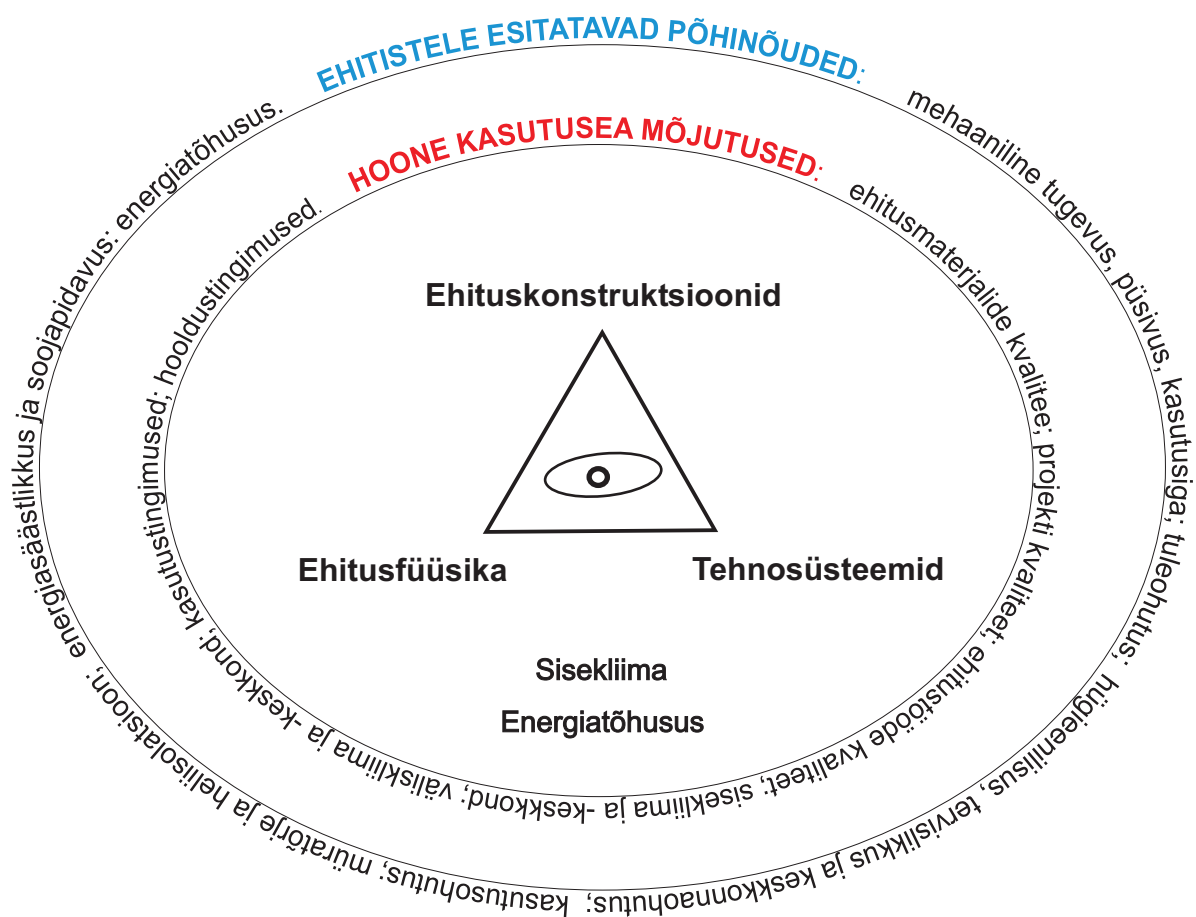


Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

Uuringu lõppraport



„Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga”

Uuringu lõppraport

Targo Kalamees, Karl Õiger, Teet-Andrus Kõiv, Roode Lias, Urve Kallavus,
Lauri Mikli, Andres Lehtla, Georg Kodi, Andre Luman, Endrik Arumägi,
Jelena Mironova, Lauri Peetrimägi, Mihkel Korpen, Lauri Männiste,
Priit Murman, Anti Hamburg, Margus Tali, Erkki Seinre

Toimetanud vanemteadur Targo Kalamees

Projekti vastutav täitja professor Roode Liias

Kaane kujundanud Targo Kalamees

Autoriõigused: autorid, 2009

ISBN 978-9985-59-947-1

Eessõna

Käesolev raport võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas ajavahemiku jaanuar 2008 kuni mai 2009 läbiviidud „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga” uuringu tulemused. Uurimistöo on tehtud Krediidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuse KredEx tellimusel ja finantseerimisel. Lisaks KredEx-ile osales uurimistöo juhtrühmas veel Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ehitus ja elamuosakonna ning Energeetikaosakonna esindajad:

Krediidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutus KredEx: Heikki Parve, Mirja Adler;

Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium: Madis Laaniste, Nele-Kai Loorits, Pille Arjakas

Tallinna Tehnikaülikooli poolt osalesid uurimistöös järgmised asutused ja isikud:

Ehitiste projekteerimise instituut (ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool, ehituskonstruksioonide õppetool): Karl Õiger, Targo Kalamees, Lennart Sasi, Lauri Mikli, Georg Kodi, Andres Lehtla, Jelena Mironova, Lauri Männiste, Andre Luman, Priit Murman, Sergei Jerofejev;

Keskonnatehnika instituut (kütte ja ventilatsiooni õppetool): Teet-Andrus Kõiv, Kaido Hääl, Endrik Arumägi, Margus Tali, Mihkel Korpen, Erkki Seinre, Anti Hamburg;

Ehitustootluse instituut (ehitusökonomika ja -juhtimise õppetool, ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratoorium): Roode Liias, Lauri Peetrimägi, Margit Rosenberg, Juri Hmelnitski;

Materjaliuuringute teaduskeskus: Urve Kallavus.

Uuringus osalesid ka Tallinna Tehnikaülikoolis õppivad Tallinna Tehnikakõrgkooli töötajad: Jelena Mironova, Anti Hamburg, Lauri Peetrimägi ning TTKK tudeng Semjon Gritsenko.

Uurimisraporti erinevate peatükkide kirjutamisel on osalenud järgmised isikud: Roode Liias: ptk. 16, 19; Karl Õiger: ptk. 2, 3, 5, 18; Teet-Andrus Kõiv: ptk. 13, 14, 15, 18; Urve Kallavus: ptk. 5, 9; Targo Kalamees: ptk. 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 18; Lauri Mikli: ptk. 10, 18; Andres Lehtla: ptk. 3, 4, 18; Georg Kodi: ptk. 3, 5, 18; Andre Luman: ptk. 3, 5, 11, 18; Jelena Mironova: ptk.: 7, 17; Lauri Männiste: 10, 18; Priit Murman: 10, 18; Mihkel Korpen: ptk: 13, 18; Margus Tali: ptk. 14, 18; Erkki Seinre: ptk: 14; Lauri Peetrimägi: ptk. 19; Anti Hamburg: ptk: 14, 15. Uurimisraporti sisulise poole on toimetanud Targo Kalamees ja keelelise poole Mari-Ann Tamme.

Täname uurimistöo rahastajaid ning uuritud elamute elanikke ja korteriühistute esimehi/naisi oma panuse eest uurimistöo õnnestumisesse. Eesti Korteriühistute Liit on tänatud abi eest uurimisobjektide leidmisel.

Tallinnas 28.06.2009

Tegijad

Sisukord

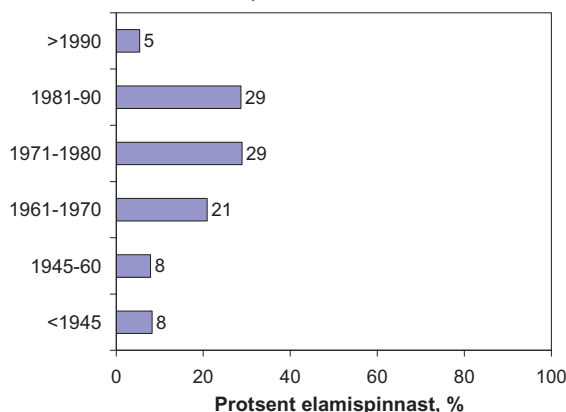
1	Sissejuhatus	7
2	Ülevaade suurpaneel lamute ehitamisest Eestis	9
3	Hoonetarindite ja kandekonstruksioonide tehniline seisund ja defektid	12
3.1	Välisseinte olukord	12
3.1.1	Välisseinte põhimõttelised renoveerimislahendused	17
3.2	Katuslagede olukord	20
3.2.1	Katuslagede põhimõttelised renoveerimislahendused	27
3.3	Rõdude ja varikatuste olukord	29
3.3.1	Rõdude ja varikatuste põhimõttelised renoveerimislahendused	32
3.4	Vundamentide ja keldripõrandate olukord ja renoveerimisettepanekud	32
3.5	Vahelagede olukord	33
3.6	Vaheseinte olukord	33
3.7	Treppide ja trepikodade olukord	34
3.8	Avatäidete olukord ja renoveerimisettepanekud	34
3.9	Tuleohutus	35
4	Vaheseintesse ja vahelagedesse avade tegemise mõju suurpaneel lamu üldstabiilsusele ja kandevõimele	36
5	Fassaadibetooni olukord	37
5.1	Betooni külmakindlus	37
5.1.1	Betooni külmakindluse uuringu meetodid	38
5.1.2	Betooni külmakindluse tulemused	38
5.2	Betooni survetugevus	39
5.2.1	Betooni survetugevuse uuringu meetodid	40
5.2.2	Tulemused	40
5.3	Välisseinapaneelide karboniseerumine	41
5.3.1	Betooni karboniseerumise uuringu meetodid	44
5.3.2	Välisseinapaneelide fassaadikihi karboniseerumise tulemused	46
5.4	Metallide korrosioon	51
5.5	Betooni soolade uurimine difraktomeetria abil	53
5.6	Fassaadibetooni põhimõttelised renoveerimislahendused	53
6	Välisseinapaneelide niiskusrežiimi arvutuslik analüüs	55
6.1	Arvutusmeetod	56
6.1.1	Materjalide omadused	56
6.1.2	Sise- ja väliskliima	57
6.2	Tulemused	59
6.3	Põhimõttelised renoveerimislahendused välisseinte niiskusrežiimi parandamiseks	60
7	Külmasillad	62
7.1	Meetodid	62
7.1.1	Külmasildade kriitiline tase	62
7.1.2	Termograafia rakendused ehituses	64
7.1.3	Külmasildade hindamine temperatuurivälja arvutusprogrammiga	66
7.2	Tulemused	68
7.2.1	Termograafia mõõtmistulemused	68
7.2.2	Arvustulemused	72
7.2.3	Külmasilla mõju analüüs seespoolisel lisasoojustamisel	75
7.2.4	Külmasilla mõju analüüs katuslae lisasoojustamisel	76

7.3	Külmasildadega arvestamine elamu soojakadude arvutamisel	77
7.4	Külmasildade põhimõttelised renoveerimislahendused	78
8	Hoonepiirete õhupidavus	79
8.1	Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine	80
8.2	Õhupidavuse hindamise meetodid	82
8.3	Tulemused	83
9	Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline uurimine	88
9.1	Ehitusmaterjalide mikrobioloogiline analüüsimine	89
9.1.1	Hallitusseentest põhjustatud tervisekahjustused toimemehhanismi järgi kvalifitseerituna	89
9.1.2	Kõige sagedamini esinenud hallitusseente kirjeldused	90
9.2	Siseõhu mikrobioloogiline uurimine ja analüüsimine	92
10	Sisepiirete helipidavus	94
10.1	Hindamismeetodid	95
10.2	Sisepiirete helipidavuse hindamise tulemused	96
10.3	Tulemuste analüüs	97
10.4	Võimalus raudbetoonist suurpaneelamute helipidavuse parandamiseks	98
11	Niiskete ja märgade ruumide olukord ja parandusettepanekud	100
12	Soojus- ja niiskuslik olukord korterites	101
12.1	Meetodid	103
12.1.1	Mõõtmised	103
12.1.2	Väliskliima	105
12.1.3	Sisetemperatuuri hindamiskriteeriumid	106
12.1.4	Siseõhu niiskuskoormuse arvutus	107
12.2	Tulemused	107
12.2.1	Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist	107
12.2.2	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel	108
12.2.3	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel	110
12.3	Sisetemperatuuri vastavus standardi sihtarvudele	112
12.4	Niiskuskoormused korterites	114
13	Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu CO₂ sisaldus	118
13.1	Ventilatsiooni lahendused	119
13.2	Ventilatsioonisüsteemide olukord	120
13.3	Tulemused	122
13.3.1	CO ₂ kontsentratsiooni põhjal arvatud õhuvahetus uuritavates suurpaneelamutes.	122
13.3.2	Õhuvahetus	124
13.4	Korterite ventilatsiooni põhimõttelised renoveerimisvõimalused	124
13.4.1	Loomuliku ventilatsiooni korrastamine	125
13.4.2	Loomuliku ventilatsiooni korrastamine ning värskeõhuklappide lisamine	126
13.4.3	Mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest, värskeõhuklappide lisamine	127
13.4.4	Mehaaniline sissepuhe/väljatõmme korteripõhise ventilatsiooniagregaadiga	128
13.4.5	Ruumi sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniagregaadid	129
14	Suurpaneelamute energiatarbe analüüs	130
14.1	Suurpaneelamute soojusbilanss, energiasääst erinevate renoveerimispakettide rakendamisel;	130
14.2	Hoone energiatarbe simulatsioonid	130
15	Hoonesiseste tehnokommunikatsioonide olukord	132
15.1	Soojusallikas	132

15.2	Küttesüsteem	132
15.3	Veevarustus	134
15.4	Kanalisatsioon.	135
15.5	Elekter	135
16	Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud	137
16.1	Kütteenergia tõhusa kasutamise ettevõtmised elamutes	137
16.2	Elamistingimused	139
16.3	Korteriomaniku strateegiline käitumine	140
16.4	Niiskuskahjustused	140
16.5	Sanitaarremont	140
16.6	Hinnang sisekliimale	141
16.7	Korteri seisund ning selle erinevad aspektid.	141
17	Ülevaade radoonist Eesti elamutes	142
17.1	Radooniga seonduvad terviseriskid	142
17.2	Radooni sattumine hoonesse	143
17.3	Radooni mõõtmismetoodika	143
17.4	Radoonialased uuringud Eestis	144
17.5	Radooniriski vähendamise põhimõttelised renoveerimislahendused	147
17.6	Kokkuvõte	147
18	Kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest	149
18.1	Piirdetarindid ja ehituskonstruksioonid	150
18.1.1	Välisseinad	150
18.1.2	Rõdud, varikatused	150
18.1.3	Katused	151
18.1.4	Vahelaed	152
18.1.5	Uksed, aknad	152
18.1.6	Trepid, trepikojad	153
18.1.7	Keldriseinad, sokkel	153
18.1.8	Niisked ja märjad ruumid	153
18.1.9	Müratõrje ja helipidavus	154
18.2	Tehnosüsteemid	154
18.2.1	Soojusvarustus	154
18.2.2	Küte	155
18.2.3	Ventilatsioon	155
18.2.4	Veevarustus	160
18.2.5	Kanalisatsioon	160
18.3	Energiatõhusus	161
19	Renoveerimistöõde maksumuse hindamine ja tehnilis-majanduslik põhjendus	164
19.1	Ehitusmajandusliku analüüsi metoodika	166
19.2	Tulemused	169
19.3	Arvutusnäide	172
20	Kokkuvõte	175
21	Viidatud kirjandus	180

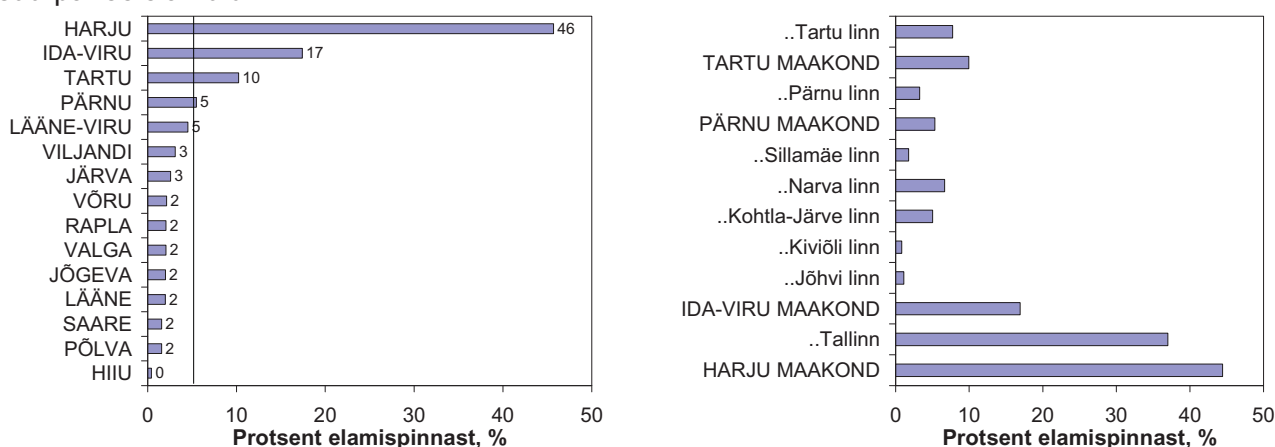
1 Sissejuhatus

Eluruumide arvult on Eesti suhteliselt hästi kindlustatud, kuid elamufondi kvaliteedilt ning energiakulukuse osas jääb Eesti võrreldes arenenud Euroopa Liidu liikmesriikidega suuresti veel madalseisu (EV MKM 2007). Suurim osa Eesti eluasemefondist on ehitatud peale 1945. aastat seejuures ning eelkõige perioodil 1961-1990, vt. Joonis 1.1.



Joonis 1.1 Eesti elamufondi (m²)vanuseline jaotus

73% Eesti elamufondist on koondunud Harju, Ida-Viru ja Tartu maakonda (vt. Joonis 1.2 paremal): Harju maakonnas Tallinnasse, Ida-Viru maakonnast Narva ja Kohtla-Järvele ning Tartu maakonnast Tartusse (vt. Joonis 1.2 vasakul). Seega on käesoleva uurimisprojekti enamus uuringuobjektidest valitud nendest kohtadest. Lisaks on kaasatud veel Pärnu linna suurpaneeliamuteid.



Joonis 1.2 Eesti elamufondi (m²)geograafiline jaotus

Hoonete valikul peab arvestama nende vanuselist jaotust. Vanuseliselt on kõige suurem osakaal 1970...1990 aastatel ehitatud hoonetel: 56 % (vt. Joonis 1.2).

Ehitise elukaare teooria kohaselt on elamu keskmiseks tööeaks ligikaudu 50-70 aastat. Sellisesse eluikka jõudnud elamu konstruktsioone ja tehnosüsteeme võib lugeda nii füüsiliselt kui moraalselt vananenuks, mistõttu hoone vajab lisaks järjepidevatele hooldustöödele suuremahulisemaid rekonstrueerimistöid. Suurem osa Eesti eluasemefondist on tänaseks oma eluea saavutanud või siis sellele lähenemas. Seega on oluline välja selgitada, millises olukorras Eesti vananenud eluasemefond on ning kas on mõistlik ning milliste meetodite ja investeeringutega oleks võimalik eluasemefondi eluiga pikendada.

Peale II Maailmasõda 1950...1960. aastatel algas suur ehitustööstuse industrialiseerimise periood kogu maailmas ja seoses sellega massiline raudbetoonarindite valmistamine ja kasutamine. Seetõttu keskendubki uuringu „Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ esimene etapp raudbetoon suurpaneeliamutele.

Uuringu eesmärk oli selgitada välja Eestis asuvate raudbetoon suurpaneel korterelamute ehitustehniline, ehitusfüüsikaline ja sisekliima seisund ning saada vastavalt uuringu andmetele hinnang elamufondi vastupidavuse ja eluea osas. Vastavalt uuringu lähteülesandele (EV MKM 2007) tuleneb uuringu vajadus järgmistest teguritest:

- saada ülevaade elamufondi ehitustehnilisest seisundist ning kasutada saadud andmeid edasiste otsuste tegemisel elamufondi arendamisel (erinevad valdkondlikud arengukavad ja arengustrateegiad) ning finantseerimisel (riiklikud toetusprogrammid, erainvesteeringud);
- uuringu tulemuste põhjal motiveerida ja suunata elanikkonda iseseisvalt tegutsema elamufondi seisukorra parandamisega ning elamufondi arendamisega;
- saada ülevaade raudbetoon suurpaneel korterelamute piirde- ja kandetarindite ehitustehniliselt seisukorrast;
- saada ülevaade raudbetoon suurpaneel korterelamute tehnosüsteemide tehnilisest seisukorrast;
- saada ülevaade raudbetoon suurpaneel korterelamute sisekliima osas;
- saada hinnang raudbetoon suurpaneel korterelamute vastupidavusele ja elueale;
- saada ülevaade raudbetoon suurpaneel korterelamute peamistest ehitustehnilistest ja tehnosüsteemidega seonduvatest probleemidest;
- pakkuda välja põhimõttelised lahendused raudbetoon suurpaneel korterelamute esinevate ehitustehniliste, ehitusfüüsikaliste ja tehnosüsteemidega seonduvate probleemide lahendamiseks.

2 Ülevaade suurpaneelilamute ehitamisest Eestis

Eestis algas suurpaneelilamute (põhiliselt seeria 1Э-464) tootmine 1960. aastal. Tollal oli see kahtlemata moodne tehnoloogia ja näiteks Soomes alustati suurpaneelilamute ehitamist alles kuuekümnendate aastate alguses.

NSVL ostis tehnoloogia Prantsusmaalt firmalt Camus. See oli mehhaniseerituse ja automatiseerituse poolest igati tänapäevase tasemega – automaatdoseerimine, betooni pumpamine, termilise töötlemise režiimide elektrooniline juhtimine jne. Negatiivse poolena tuleb märkida järgmist asjaolu: et saavutada 8 tunni jooksul betooni 70 %-list tugevust, olid sellel ajal termilise töötlemise temperatuurid kõrged (70-80°C). Kui putsolaantsemendi või põlevkivituhkportlandtsemendi puhul oli see veel kuidagi lubatav, siis portlandtsemendi puhul oli see küll liig, mis liig. Selliselt töödeldud betoon sageli ei kivilenenud lõpuni, betooni struktuur oli ebamäärane ja oli-on etringiidi tekkimise aldis. Selline termilise töötlemise režiim oli aga r/b tööstuses üldine. Teine negatiivne asjaolu oli, et näiteks välisseina välisplaadi ja sisemise kandva plaadi vahelised sarrusvardad oli tavalisest roostetavast terasest (töötavad eriti rasketes tingimustes). Ka oli probleemiks, et selle tehnoloogia puhul oli raske välisseina paneelide valmistamisel teha täpselt õige paksusega välis- ja siseplaati. Kokkuvõttes on nende hoonete töökindluse osas problemaatilisemad just kolmekihilised välisseinapaneeled.

Esimese tehase (Raudbetoonitoodete tehase tsehh Lasnamäel) võimsus oli 25000 m² elamispinda aastas. Esimese suurpaneelilamute ehitus algas 1961. aastal. 1965. aastal läks Männikul käiku teine tehase võimsusega 75000 m² elamispinda aastas ja pisut enne seda asutati Maja(Elamu) ehituskombinaat (ДСК ek.: EEK). Aastate jooksul tehnoloogiat täiustati ja selle kahel tehasel põhineva kombinaadi võimsus saavutas 200000 m² elamispinda aastas. Ümberarvestatuna 5–korruselise, 4-trepikojaga elamule tähendab see ligikaudu 1000 elamut. Tallinna Majaehituskombinaat oli üks edukamaid selletüübilisi kombinaate NSVL-is.

Vertikaalkassettides vahelae või seinapaneelede valmistamine põhjustas elemendi kõrguses (laiuses) betooni tugevuse ebaühtlust. Paneelhoonete elemente valmistasid ja neid monteerisid hiljem ka teised ettevõtted:

- Tartu EEK valmistas vähemalt kaks eri varianti – gaasbetoonist välisseina paneelide ja plokkidega (alates aastast 1975) ja hiljem kolmekihiliste välisseina paneelidega (alates 1980 algaastatest). Elamu projekt koostati Eesti Projekti Tartu osakonnas. Alates 1973. ehitas Tartusse suurpaneelmaju ka Tallinna EEK;
- lisaks mitmesugused väljastpoolt Eestit valmistatud (sh vene sõjavägi) elemendid ja siin monteeritud hooned Tallinnas (Pääskülas, Astangul 80-ndatel), Narvas (1979, Moskvast toodud elemendid), Sillamäel (1988) jne. Kolmekihilised keraamilise plaatviimistlusega välisseinad, kolmekihilised keramsiitsoojustusega välisseinad või kogu paksuses keramsiitbetoonist välisseinad). Neid paneelhoonete elemente võidi sisse tuua alates 1970. aastatest. Selliste paneelhoonete täpse arvu ja sissetoomise aja kohta puuduvad meil täpsemad andmed. Ehituskvaliteet on üsna kesine. Mõned on monteeritud lausa praakelementidest (nt. Sillamäel).

Nimetatud hoonete konstruktsioonid erinesid Tallinna EEK omadest, kuid paneelhoonete probleemid on enamasti sarnased.

Tallinna Elamuehituskombinaadi valmistatud ja ehitatud paneelilamute konstruktsioon:

- kandekonstruktsioon koosneb betoonist põik- ja keskmisest pikivaheseintest, kolmekihilistest raudbetoon-välisseintest ja raudbetoon-vahelagedest ning loomulikult vundamentidest. Põhiliselt toodeti ja ehitati 5-, 9- ja 16-korruselised elamuid;
- välisseinte paksus oli 230, 250, 280 ja 300 mm: välimine raudbetoonplaat 50, 60 mm, soojustus 110 või 125 mm (mineraalvill või fibrolitplaat või fenoplastplaat või vahtpolüstüreenplaat), sisemine kandev raudbetoonplaat sõltuvalt hoone kõrgusest 75, 80, 125, 130 mm;
- betooni mark oli 150...200.

Majaehituskombinaadis 1960.-1970. aastatel valmistatud välisseinapaneelide armatuurraua paigalduse täpsus ja betoonplaadi tegelik paksus kõikus suures ulatuses, mis oli teataval määral seletatav kasutatava tehnoloogia võimalustega. Paneeli välisplaadi paksus võis kõikuda 20-60 mm vahel. Hiljem, olenevalt hoone tüübist ja kõrgusest, suurendati välise plaadi paksust 60-lt 65 mm-ni, sisemise plaadi paksust 80-90-lt 125...130 mm-ni.

Kuni 1992. aastani on ehitatud umbes 2 mln. m² elamispinda. Kui selline toodang arvestada 5-korruselise 4-sektsioonilise elamu peale, siis see teeks umbes 1000 elamut.

Paneelhoonete osas tehti neid vigu, mis üldiselt mujalgi maailmas, siin esinesid need vead ehk suuremal määral. Konstruktsioon oli kerge, soojaisolatsioonimaterjalid kesised, välisseinapaneelide välis- ja siseplaadide vaheliste ribide betoon suhteliselt tihe – külmasillad, terassidemed tavalisest roostetavast materjalist jne.

Eestis olevate paneelhoonete seisundit on erinevatel perioodidel, eriti peale iseseisvumist kuni tänaseni uurinud erinevad Soome, Rootsi ja Eesti firmad.

1993. a tegi Õismäe linnaosas (5- ja 16-korruselised hooned) uuringuid Soome firma AIR-IX OY, mis lõppes esimese suurpaneelilamude renoveerimisega Eestis, milleks oli 5-korruseline hoone Õismäe tee 5. Projektis osales ka Ehituskonstrueerimise ja katsetuste osaühing (EKK). 1994 uuris Sütiste tee 16 suurpaneelilamut Stockholm KONSULT, kus tehti samuti ettepanekuid renoveerimiseks.

Suurema hulga hoonete uurimistulemused on esitatud 1994. a. renoveerimisega tegeleva firma EKK vastavas aruandes 14 hoonet ja projekteerimisfirma EstKONSULT aruannetes - 4 hoonet 1995 ja 12 hoonet 1996, mis esitati koos renoveerimissettepanekute ja -lahendustega. Edaspidi samuti Tallinna Tehnikaülikool (TTÜ), Tallinna Tehnikakõrgkool (TTKK) ja mitmed firmad. Näiteks EKK 21.11.1994.a dateeritud töö Tallinna Mustamäe linnaosa suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiis ning renoveerimise ettepanekud ja hilisemad uuringuid Tallinna Lasnamäe, Põhja-Tallinna ja teiste linnaosade paneelilamute alal käsitleb küll ainult hoonete kandekonstruktsioonide tugevus- ja püsivusküsimusi ning piirdekonstruktsioonide sooja-, vee- ja tuulepidavuse küsimusi. Muid probleeme puudutatakse üldises plaanis.

Eespool märgitud territooriumidel asuvate hoonete vaatluse ja linnaosade valitsuste poolt etteantud (vastavalt elanike kaebustele raskemas olukorras olevate) hoonete sügavamate uuringute alusel selgus järgnev.

Põhikandekonstruktsioonide üldine seisund võib olla ka 50 aastat vanade suurpaneelilamute puhul rahuldav, st. hoonete elementide põhiosa, nagu vundamendid, kandvad siseseinad, laepaneelid, trepimademed ja -marsid, välisseinte kandvad siseplaadid, aga käesoleval perioodil enamik välisplaate on üldiselt korras, v.a. teatavad defektid, mis on täpsemalt kirjeldatud edaspidi ja mille kõrvaldamisega tuleb tingimata tegeleda, sh eriti rõdud ja varikatused. Hoonete jäikuses kahtlusi ei ole. Seejuures tuleb nimetada järgmisi asjaolusid:

- Vaadeldavate suurpaneelilamude kandev konstruktsioon koosneb tubadevahelistest kandvatest raudbetoonplaatidest (põik- ja pikikandeseintest) ja vahelaepaneelidest koosnevatest horisontaalsetest seibidest, mis annab hoonele suure jäikuse;
- Elementide betooni survetugevuse klassid vastavad projektile ja on sageli kõrgemad;
- Betooni karboniseerumine suuremas osas elementidest ulatub ainult 5–20 mm sügavuseni. Samas on hooneid, kus välisseinast ja selle vuugist võetud proovide betoon oli küll läbi- või peaaegu läbi karboniseerunud, kuid sellest hoolimata oli käesolevalt sarrusvõrkude ja -karkasside ning ühendusankrute teras heas seisukorras (v.a rõdud, varikatused, mõned soklikorruase elemendid), korrosioon praktiliselt puudus;
- Paneelides ohtlikke pragusid ja paneelidevahelisi nihkeid, vahelagede suuri läbipaindeid jne ei täheldatud, v.a üksikud juhtumid, kus katuse läbijooksu tõttu on osaliselt korrodeerunud katuslae paneeli sarrusvõrk, lisaks eelöeldud põhjustele on intensiivse korrosiooni põhjuseks kohati lae alla paigaldatud lisa(ripp)lagi, mis võib töötada kui lisasoojustus, mille taga puudub aurutõke ja koguneb kondensaati;
- Ka oli vihmavee läbijooksu tõttu mõne suurpaneelilamude viimase korruse trepimademe sarrus korrodeerunud, mis tuleks terastalaga tugevdada. Sama keldrilagedes, kus

vannitoa läbijooksu tõttu on suur niiskus, mille tagajärjel keldrite sarrus on osaliselt korrodeerunud ja osalt kaitsekihi lahti löönud. Vahelagede tugevdamine või põikvaheseintele toetatud terastaladega ei ole eriline probleem;

- Ka leiti elanikelt tulnud avalduste põhjal nelja-viie hoone otsaseina väljanihkumist. Põhjuseks on juba montaaži ajal esinenud suured kõrvalekalded. Ka remondi ajal täidetud vuugid on osaliselt avanenud. Tegemist on lõunapoolse otsaga ja paneelide liikumist on soodustanud ka temperatuurideformatsioonid. Nimetatud otsaseinad vajavad terasankruga vahelae külge kinnitamist, mis enamasti on ka tehtud;
- Enamjaolt on rõdude raudbetonelemendid korrast, kuid – 30-40 aasta vanuste viiekorruseliste elamute rõduplaatide servades või alumisel pinnal esineb juba ohtralt sarruse korrosioonist ning betooni pudenemisest tingitud kahjustusi. Samuti on kohati tugevalt kahjustatud sissekäigu varikatused, mis vajavad tõsisemat remonti või õigemini juba väljavahetamist (näiteks koos tuuletamburi ehitamisega). Varikatuste väljavahetamist on viimasel ajal üsna paljudel hoonetel ka tehtud.

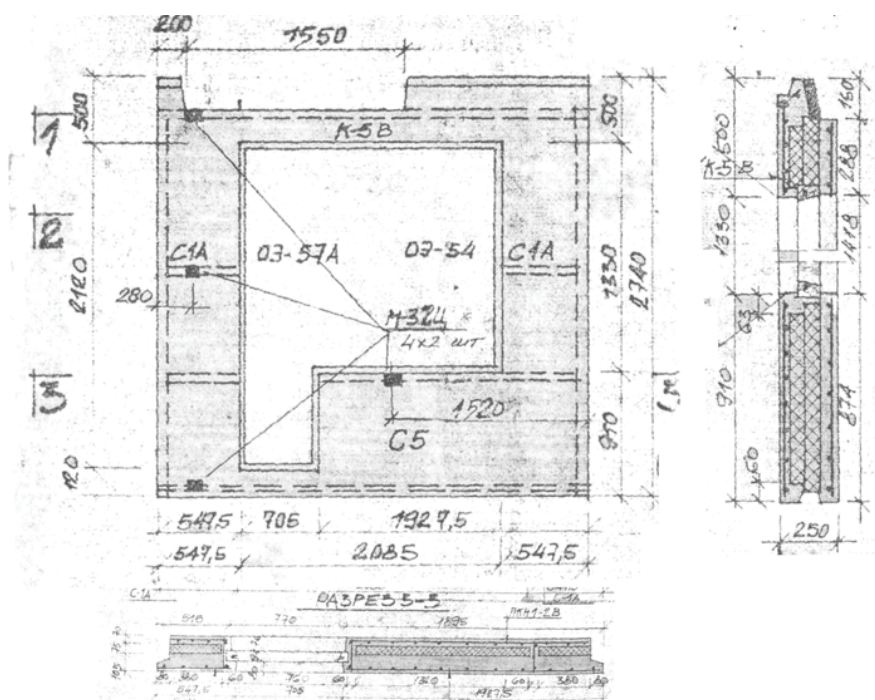
Omaette küsimus on eelmistel kümnenditel valmistatud ja ehitatud paneelhoonete probleemid ja töökindlus. Samas jätkub paneelhoonete elementide valmistamine ja ehitamine, küll pisut teise tehnoloogia järgi, kuid mõistlik oleks nende puhul arvestada varasemaid kogemusi.

3 Hoonetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid

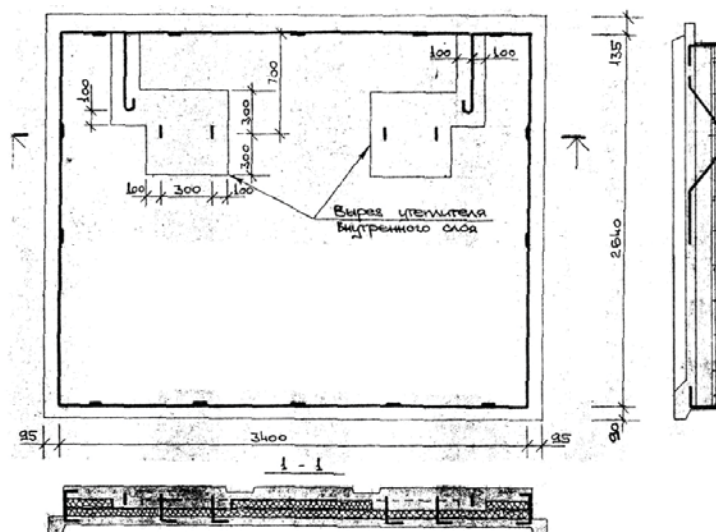
3.1 Välisseinte olukord

Välisseinapaneelide olukorda on uuritud ja hinnatud seintest võetud proovide analüüsi ja arvutusliku analüüsi põhjal. Ülevaade erinevatest välisseinte lahendustest tehti Riigiarhiivi projektide alusel ja selgitamaks välisseinte olukorda võeti välisseintest proovikehi.

Suurpaneelilamute välisseinad võivad olla lahendatud kas kolmekihiliste paneelidega (vt. Joonis 3.1) paksusega 250-300 mm (seeriad I-464, TP-111-121) või ühekihilisest kergbetoonist (gaasbetoonist, keramsiitbetoonist, põlevkivituhkbetoonist) välisseinapaneelidega. Kolmekihiline paneel koosneb kandvast raudbetoonsisepaneelidest ja väliskihipaneelidest, mis on omavahel seotud ribidega valmistatud keramsiitbetoonist vältimaks külmasilda. Soojustuseks on kasutatud mineraalvilla, TEP-plaati, fenoplasti, vahtpolüstüreeni.



Joonis 3.1 Seeria I-464A välisseinapaneel



Joonis 3.2 Tartu Elamuehituskombinaadi välisseinapaneel

Vaatamata välisseinapaneelide üldisele rahuldavale seisukorrale esineb paneelide vuukide juures tõsiseid puudusi. See oli mõnevõrra üllatavgi, sest varasemad uuringud (EKK 1994 ja EstKONSULT 1996) töid samuti välja probleemid paneeli vuukidega ja andsid töökirjeldused vuukide korrektseks renoveerimiseks (EstKONSULT 1996).

Uuritud paneelilamute juures esines paneelidevaheliste vuukide täitmist tsementmördiga (Joonis 3.3) ja montaaživahuga (Joonis 3.4). Mõlemad lahendused ei sobi vuukide täitmiseks. Tsementmört on jäik ja ei võimalda vaba deformeerumist temperatuuri mõjul. Montaaživaht laguneb päikesekiirguse käes kiiresti. Mastiksiga töödeldud vuuk on üldiselt vastupidav kliimakoormustele. Siiski oli näha probleeme, kus vuuki oli kahjustanud inimkäsi (vt. Joonis 3.5) või vuugimastiks ei olnud korralikult ühenduses paneeliga (vt. Joonis 3.6).



Joonis 3.3 Tsementmört on jäik ja ei sobi vuukide täiteks



Joonis 3.4 Päikesekiirgus lagundab vuugitäiteks kasutatud montaaživahu kiiresti ja raha on kulutatud asjata





Joonis 3.5 Lõhutud vuugihernetik



Joonis 3.6 Halva nakke tõttu on vuugihernetik vuugi serva küljest lahti tulnud

Välisseinapaneeli armatuur oli korrodeerunud vaid juhul, kui kaitsekihi paksus oli väga väike (<1 cm) nii fassaadipinna (vt. Joonis 3.7) kui soojustuse poolel. Välisfassaadipaneeli pinna kahjustusi esines üksikutel hoonetel fassaadivärvi või -krohvi mahakooremise näol.

Välisseinapaneelide ehk kõige suurem probleem on nendesse sisse projekteeritud ja ehitatud külmasillad. Sõltuvalt hoonest võivad külmasillad moodustada kolmandiku kuni seinapaneeli soojakaost. Külmasilladest täpsemalt loe osas: Külmasillad.

Uuritud suurpaneelilamutel ei esinenud välisseina välisplaadi kinnituste kahjustusi või otsaseinte paneelide väljanihkumist. Kuna seda probleemi on suurpaneelilamute juures varemgi täheldatud (EKK 1994), tuleb sellise kahjustuse võimalikku olemasolu alati kontrollida.



Joonis 3.7 Välisseina korrodeerunud armatuur



Joonis 3.8 Kahjustunud fassaadivärv (vasakul) ja krohv (paremal)

Välisseinapaneelide olukorda uuriti nendest proovikehade võtmise abil. See võimaldas saada katsekehasid materjaliuuringuteks (betooni külmakindlus, survetugevus, karboniseerumine, soolade sisaldus, armatuuri korrosioon jne), kui näha konkreetset seinapaneeli ehitust. Proovikehade valikul lähtuti järgmistest põhimõtetest:

- valiti erinevate tüüpprojektide järgi ehitatud hooned;
- valiti hooned erinevates linnades;
- proovikehad võeti erinevatest kohtadest hoone kõrguse ulatuses (vt. Joonis 3.9).

Seintest puuriti välja silindrilised (valdavalt $\varnothing 110$ mm) betoonkärnid ning augud paneelides täideti plastkorkidega ja tihendati polüuretaanmastiksiga.

Välisseinapaneelide puurimine näitas, et soojustuse paksus võib varieeruda suures ulatuses nii hoone ulatuses, kui ka sama paneeli ulatuses. Jooniselt (vt. Joonis 3.11, vasakul) on näha, et ühest ja samast paneelist puuritud katsekehade pikkuse erinevus on 10 cm. Niisugune oli erinevus ka soojustuse paksuse osas. Kuigi välisseinakooriku projekteeritud paksus on 7-8 cm ilmnes puurimisel ka paneele, mille välimise kooriku paksus oli vaid 2-3 cm. Seetõttu tuleb olla väga ettevaatlik lisasojustuse kinnitamisega vaid välimisele koorikule.



Joonis 3.9 Välisseinapaneelidest proovikehade võtmine hoone erinevatelt kõrgustelt



Joonis 3.10 Tsementlaastplaadiga (vasakul) ning fenoplasti ja vahtpolüstpreeniga (paremal) soojustatud välisseinapaneel



Joonis 3.11 Samast välisseinapaneelist puuritud kaks proovikeha: soojustust on ühes paneeli servas 10 cm vähem (vasakul). Väliskooriku paksus võib olla isegi vaid 2-3 cm.

3.1.1 Välisseinte põhimõttelised renoveerimislahendused

Enne renoveerimistöid ja lisasoojustamist tuleb alati kontrollida välisseinapaneelide üldist ehitustehnilist seisukorda:

- välisseinapaneeli välisplaadi kinnituste seisundit (kohatine lahtipuurimine: 2-3 kohta iga seina juures); nende proovikehade abil saab määrata ka betooni karboniseerumise ulatust, armatuuri korrosiooni, vajadusel betooni soolade sisaldust, külmakindlust jne;
- otsaseina paneelide väljanihkumise kontroll;
- külmasildade kontroll: hallitus, veeauru kondenseerumine sisepindadel, eriti välisseinte nurkade ja katuslae piirkonnas.

Kui välisplaadi külmakahjustused on ulatuslikud, välisplaat karboniseerunud nii palju, et ankrud roostetavad, on raske välisseina kasutusiga pikendada lihtsate ja odavate lahendustega. Seetõttu tuleb vältida nii ulatuslike kahjustuste tekkimist.

Suurpaneelilamute välisseinapaneelide liitekohad sisaldavad üldiselt tõsiseid külmasildu, mille likvideerimine on möödapääsmatu ohutu ja tervisliku sisekliima nõudeid arvestades. Vastasel korral on hallituse tekkimine liitekohtade sisepindadel loomulik. Külmasildade likvideerimiseks ja karboniseerunud betooni kaitsmiseks piisab üldjuhul 70-50 mm paksusest välimisest lisasoojustusest. Samas tuleb teada, et nii õhukese lisasoojustuse paigaldamine on majanduslikult ebaotstarbekas. Teine võimalus külmasildade mõju kõrvaldamiseks on oluliselt alandada siseõhu niiskuskooormust ja tõsta sisetemperatuuri. See lahendus on otstarbekas, kui külmasillad on vaid hoone mõnes üksikus korteris.

Paneelidevahelised vuugid tuleb korrastada. Kui fassaade ei lisasoojustata, tuleb kindlasti paneelidevahelised vuugid renoveerida. Vuukidest tuleb eemaldada vana mastiks või mört ja vajadusel ka vana tihenduskois. Vuugi laius peab olema vähemalt 1 cm, et oleks tagatud mastiksi lubatud deformatsioon. Vuugi külgpinnad tuleb puhastada ja kruntida. Paneelidevahelisse vuuki paigaldatakse uus või täiendav vuuginöör, mille ülesanne on olla mastiksile toeks ja anda talle õige ristlõikekuju. Tihendusnöör peab olema õigel sügavusel: tema välispind peab paiknema paneeli välispinnast või faasitud servade puhul faasi tagaservast poole vuugi laiuse sügavusel. Lõpuks täidetakse paneelidevaheline vuuk uretaanmastiksiga. Kui fassaadid lisasoojustatakse, piisab lahtiste vuukide montaaživahuga täitmisest. Vuukide täitmisel tsementmördiga ei ole mõtet.

Energiatõhususe seisukohalt on otstarbekas soojustuse paksus 15-20 cm. Akendega seinas võib paksem lisasoojustus põhjustada arhitektuurselt vähem sobivat akende suurt tagasiastumist. Seda saab vältida akende tõstmisega välisseina paneeli ette (arhitektuurselt eelistatum, kallim lahendus) või külgeina õhema (siiski ≥ 10 cm) soojustuse paigaldusega. Raskemaid viimistlusmaterjale ja soojustussüsteeme ei tohi kinnitada ainult seina välimise plaadi külge. Sarnaselt välisseintega tuleb soojustada ka lodža ja rõdu välissein. Külmasildade vältimiseks tuleb soojustada ka lodža külgeinad. Lodža külgeintes võib piirduda õhema, 50 mm soojustuse paksusega.

Välispiirete lisasoojustamisega peab alati kaasnema küttesüsteemi reguleerimine.

Välisseinte lisasoojustamise korral tuleb asendada kõik ääre-, serva- ja katteplekid. Juhendid ehitiste kaitseplekkide kohta vt. RT 80-10817 ja RT 80-10632.

Näide välisseinte lubamatust renoveerimislahendusest

Samaaegselt uuringu läbiviimisega teostas ühe uurimisobjektiks oleva korterelamu ühistu oma elamu renoveerimise. Seda renoveerimist võib tuua kui näidet, kuidas renoveerimistöid ei või teha. Tegemist oli seeria 111-133 osaliselt juba renoveeritud viiekorruselise viie trepikojaga 75 korteriga elamuga. Elamu välisseinad on 20 cm ja 30 cm paksustest kergbetoonpaneelidest, katusekate on eelmiste renoveerimiste käigus vahetatud koos 3 cm paksuste soojustuse ja katusekatte aluskihi paigaldamisega. Hoone küttesüsteemi vanuseks on 28 aastat, kuid suuri puudusi ei ole. Hoones on ehitusaegne loomuliku tõmbega ventilatsioon. Hoone on alaventileeritud (õhuvahetuskordsus 0,3).

Soojusenergia aastane keskmine kogukulu aastatel 2005-2006 oli 125 kWh/m². Energiaauditi käigus pakuti välja kaks renoveerimispaketti:

- Esimene pakett: küttesüsteemi täielik renoveerimine (v.a. soojussõlm) + fassaadi soojustamine: investeering ~2,5 mln, aastane sääst 25 kWh/m² ja investeeringu lihtsuvusaeg ~14 a.
- Teine pakett: küttesüsteemi täielik renoveerimine + lamekatuse ja fassaadi soojustamine + akende vahetus + ventilatsiooni korrastamine: investeering ~3,6 mln, aastane sääst 37 kWh/m² ja investeeringu lihtsuvusaeg ~13 a.

Esimene pakett on vähem investeeringuid nõudev kui teine, mis nõuab suuremat finantsilist investeeringut, annab energiasäästu ~1,5 korda rohkem ja tasuvusaeg on praktiliselt võrdne. Teise paketiga kaasneb aga oluliselt parem sisekliima, kuna tähelepanu pööratakse ka ventilatsiooni korrastamisele.

Kuid korteriühistu valis kolmanda tee. Otsaseinad soojustati 50 mm kivivillaga + 25 mm puitkiudtuuletõkkeplaati. Küljefassaadi viimistleti tsementkiudplaadiga ja akende vahel olev 5 cm tagasiaste täideti kahe kihi puitkiudplaadiga. Meetme maksumus oli ~1,9 mln. ja lihtsuvusaeg >45 aasta (lahenduse tööeks võib hinnata 30 a). Tehtavate tööde osas paraneb vaid hoone välisilme. Tehtud otsaseinte lisasoojustus ei võimalda saavutada isegi nõuetele vastavat piirde soojajuhtivuse taset. Puitkiudplaat akende vahele on paigaldatud ebakvaliteetselt. Kuna välisõhk pääseb soojustusekihtide vahele, on selle soojustuse abil saavutatav energiasääst väike. Niigi teoreetiline energiasääst osutub olematuks küttesüsteemi tasakaalustamata jätmise tõttu.

Pärast fassaadi iluravi on ühistul kaelas koormis keskmiselt >25000 krooni korteri kohta. Sellistes tingimustes on väga raske uusi renoveerimisi alustada. Kuna fassaadid on kaetud, siis nende lisasoojustamine tähendaks paigaldatud fassaadiplaatide mahavõtmist. Seega võib hinnata, et lähiajal suuremaid energiasäästu või hoone korrastamise meetmeid selles elamus ette võtta ei saa.

Toodud näitest on näha, et enne renoveerimistöid on vaja kindlasti läbi viia hoone ehitustehniline ülevaatus/ekspertiis ja energiaaudit. Alles seejärel võib hakata tegelema projekteerimisega ja ehitustöödega. Praegusel juhul eelnes ehitustöödele vaid hinnapakumiste võtmine ehitusfirmadelt. Tegemata jäi ka järelevalve professionaalne töö.

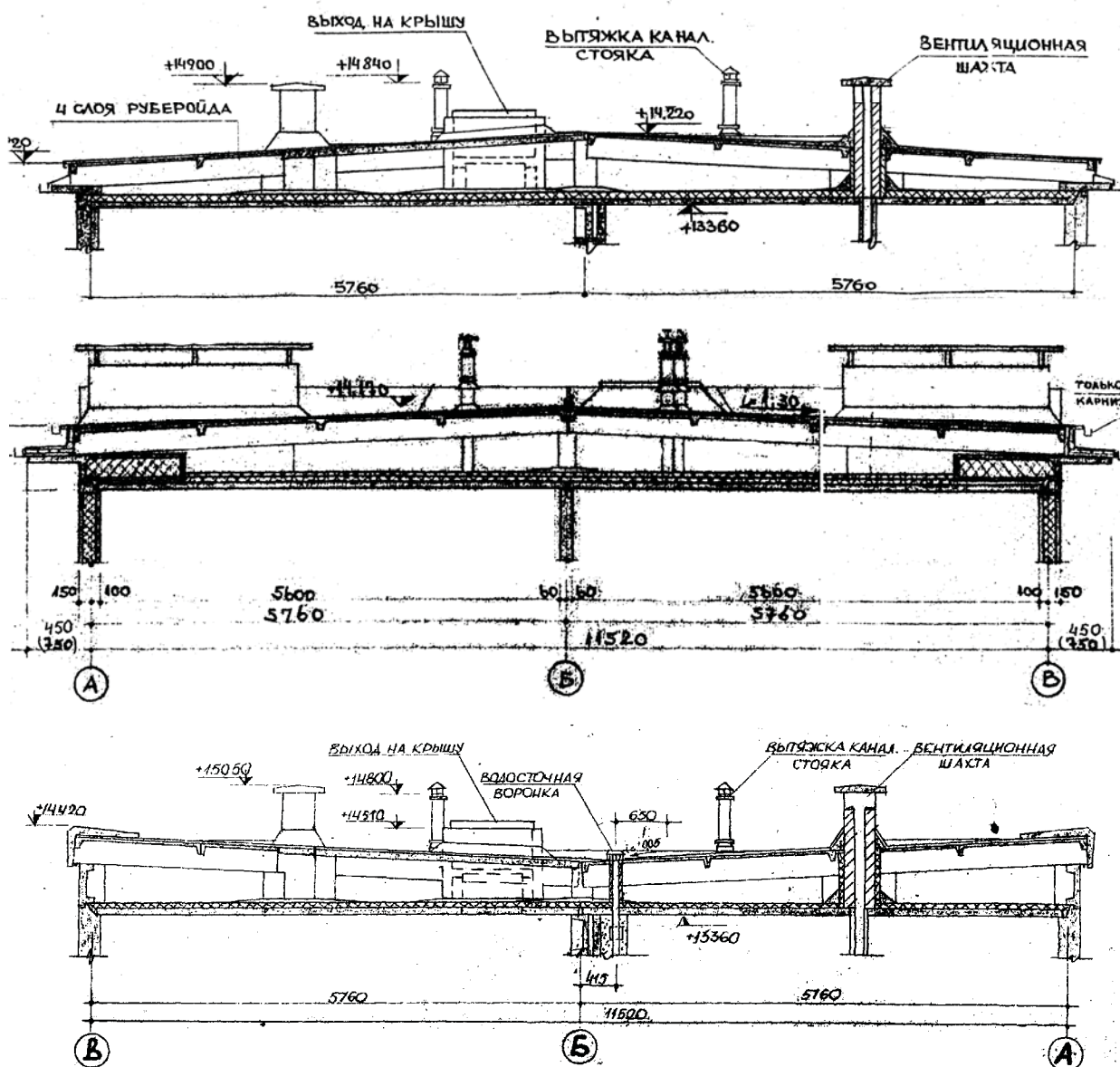


Joonis 3.12 Hoone renoveerimistööd: fassaadi katmine ilma lisasoojustamata on kalline ettevõtmine ja energiasäästu ei võimalda.

3.2 Katuslagede olukord

Suurpaneelilamute katuslaed võivad olla ehitatud nii välimise, kui ka sisemise sadevee äravooluga. Katuslagede lahendusi võib olla erinevaid:

- suletud katuslagi, kus katuslaepaneeli peale oli paigaldatud kallet moodustavad kihid ja soojustuse kihid ning katusekate (vt. Joonis 3.14 all);
- kahekihilised laepaneelid, millest alumine paneel kandis soojustust ja ülemine oli aluseks veetõkkele (vt. Joonis 3.13);
- komplekspaneelidega, mis on tehtud erineva servakõrgustega paneelidest ja nende vahel olevast soojustusest.

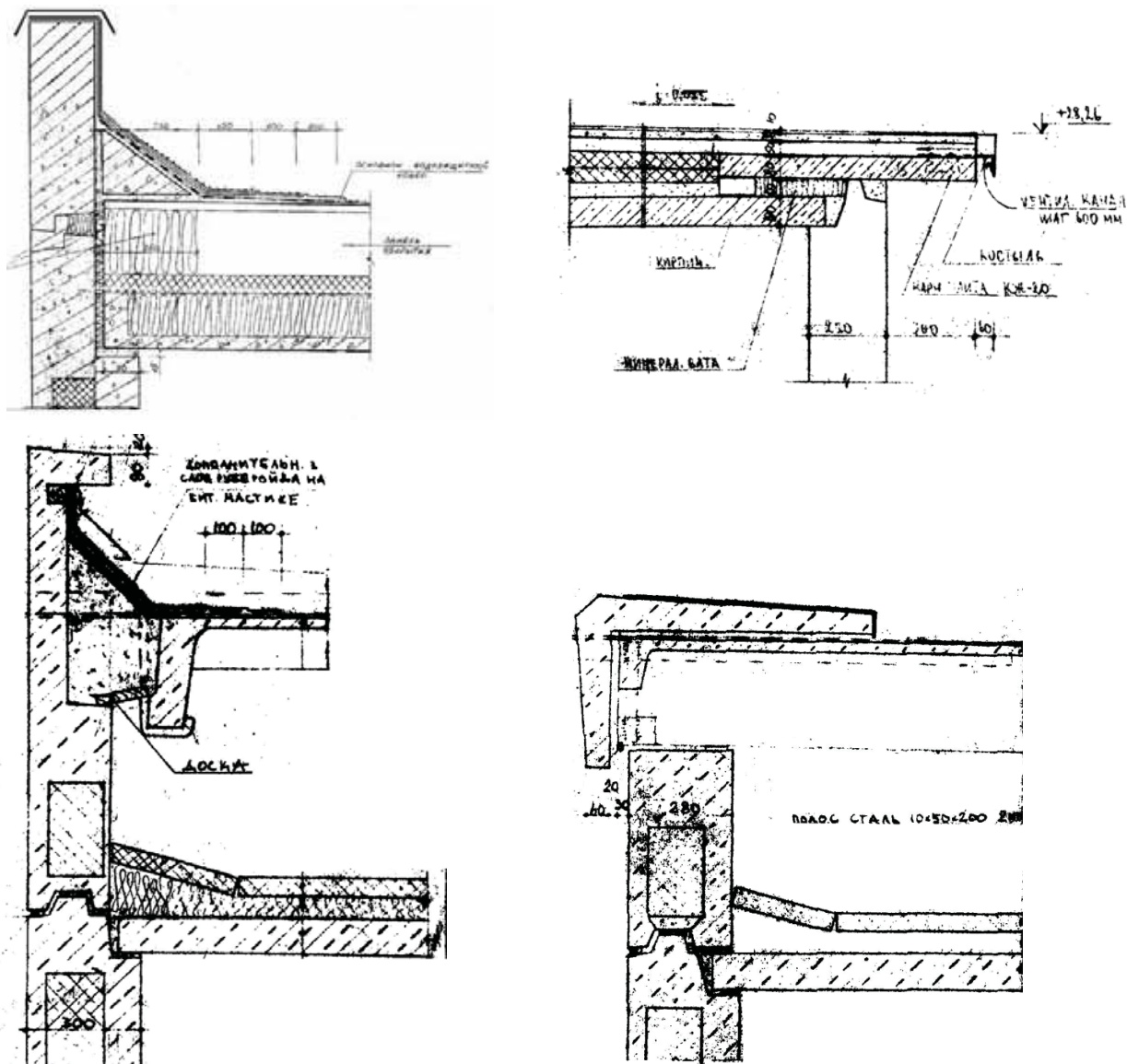


Joonis 3.13 Seeria 464A katuslagede variante aastast 1963-64: ülal: 1-464A-1KЭ, keskel: 1-464A-15, all: 1-464A-1KЭ



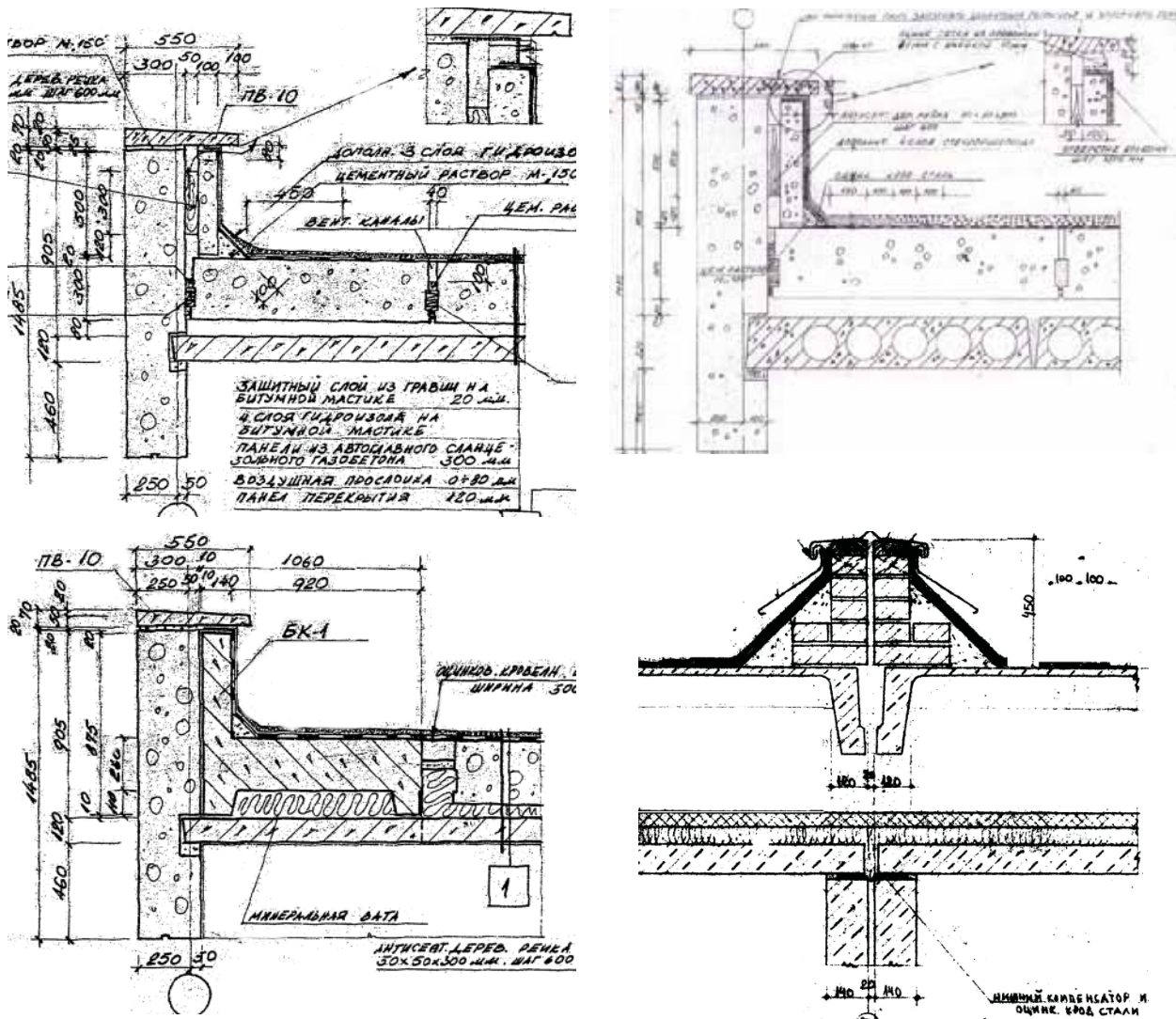
Joonis 3.14 Tallinnas asuva seeria 464A elamu kahjustunud katuslagi (ülal) on eemaldatud (all) ja ehitati uuesti monoliitbetoonist

Suurpaneelilamute katuslaed on ehitatud peamiselt tuulutatavatena. Tuulutavad asusid välisseina ääres karniisipaneelide alumises servas või parapetipaneelis. Tüübi 464 katuslae tuulutus võis olla lahendatud ka tuulutuskanalite abil, mille moodustasid kas lainelised eterniitplaadid (vt. Joonis 3.14 all) või lahendatud tuulutatava vahe ruumiga viimase korruse laeplaadi ja katusekatte alusplaadi vahel (vt. Joonis 3.15, all). Katuslae ja välisseina (eriti otsaseina) liitekohas võivad olla tõsised külmasillad (vt. Joonis 3.15, all).



Joonis 3.15 Seeria 121 ja seeria 464 katuslae ja välisseina sõlmed

Seeria 133 elamute katuslaed on valdavalt soojustatud 30 cm paksuste kergbetoonsoojustuspaneelidega. Katuslae tuulutus on lahendatud kergbetoonsoojustuse vahele jäetud õhukanalite kaudu (vt. Joonis 3.15). Katuslagedel on 30 cm paksuste kergbetoonsoojustuspaneelide ja katuslae kandva paneeli vahel õhuvähe. Soojustuspaneelide ebatiheda liitekohta korral võib tuulutusõhk sattuda kandeplaadi ja soojustuse vahele, jahutades sellega kandeplaadi maha. Samas satub siseõhk ka tuulutuskanalitesse. Kui tuulutuskanalis on temperatuur alla veeauru küllastustemperatuuri, kondenseerub veeaur tuulutuskanalis. Tagajärjeks võib olla tõsised niiskus- ja hallituskahjustused ja suurem energiakulu. Fotodel (vt. Joonis 3.17) on näha, kuidas tuulutuskanalite kohalt on lumi sulanud. Selle peapõhjuseks on tuulutuskanali kaudu väljuv soe siseõhk.



Joonis 3.16 Seeria 133 elamu katuslae ja välisseina sõlmed (vasakul ülal täisplaadist ja vasakul paremal õõnespaneelidest katuslaega). Parapetipaneeliga lahendus (vasakul all) ja seeria 464 deformatsioonivuugi lahendus katuslae juures (paremal all).



Joonis 3.17 Seeria 133 elamu katuslagi. Õhemaks sulanud kohad markeerivad tuulutuskanalid ja sulanud kohad parapeti servas markeerivad tuulutuskanalite parapetist väljatuleku kohti.

Katuslagede soojustuseks on kasutatud peamiselt TEP-plaate (vt. Joonis 3.14 all), mineraalvilla, aga ka keramsiitkruusa (Joonis 3.18) või kergbetooni. Katuslagede soojajuhtivus on vahemikus $0,7 \dots 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.



Joonis 3.18 Narvas asuva Tüüpseeria 84 keramsiitkruusaga soojustatud katuslagi



Joonis 3.19 Kahe katuslae visuaalne võrdlus: ülal vasakul lisasoojustamata katuslagi, ülal paremal lisasoojustatud katuslagi kahel naaberhoonel. Ebaühtlase soojustuse tõttu sulanud lumi katusel.

Suletud katuslae korral võib katuslagede soojuslikku olukorda hinnata hilissügisel või varakevadel ka visuaalselt (vt. Joonis 3.19). Kahe kõrvuti oleva hoone võrdluses on näha, et lisasoojustamata (vasakul) katuslae korral on toasoe katuselt lume sulatanud, kuid lisasoojustatud katuse korral on lumi sulanud vaid külmasildade juurest. Lumega kaetud ja lumevaba katusekatte pinnatemperatuurid on erinevad, mis põhjustavad lisapingeid katusekattes.

Katuse veetõkkeks on suurpaneelilamutel kasutatud peamiselt ruberoidi, mis paigaldati 3- kuni 5-kihiliselt peamiselt bituumenmastiksiga. Päikesekiirguse vähendamiseks ja kaitseks mehaaniliste vigastuste eest oli veetõke ette nähtud katta kivipuistega või värvida alumiiniumvärviga. Seda tehti harva või on see kaitsekate tänaseks kadunud. Üldistatult ei täida algupärane katuse kattmaterjal enam oma ülesandeid ja tuleb asendada. Katuse läbijooksudest ja läbivettimisest tulenev kahju on alati suurem katusekatte hilisemast vahetamisest ja sellest võidetud pikemast kasutuseast. Katusekatte lagunemist kiirendavad ummistunud sadevee äravoolulehtrid ja veeloigud katusel (vt. Joonis 3.20). Loikudes olev vesi põhjustab jäätudes katusekattes lisapingeid ja väiksemagi katusekatte ebatiheduse korral voolab kogu vesi katusesse.



Joonis 3.20 Veeloike katuslael põhjustavad ummistunud sadevee äravoolu lehtrid ja ebapiisavad kalded (ülal). Loigud korstnate juures on potentsiaalseks lekkekohaks. All: katuse läbijooksu tagajärg korstna juures.

Uuritud hoonetel katusekatte suuri läbijookse ei esinenud. Katusekate oli valdavalt vahetatud või parandatud. Siiski esines mõningaid katusekatte ebatihedusi näiteks parapettide juures (vt. Joonis 3.21).



Joonis 3.21 Veeloike katuslael põhjustavad ummistunud sadevee äravoolu lehtrid ja ebapiisavad kalded.

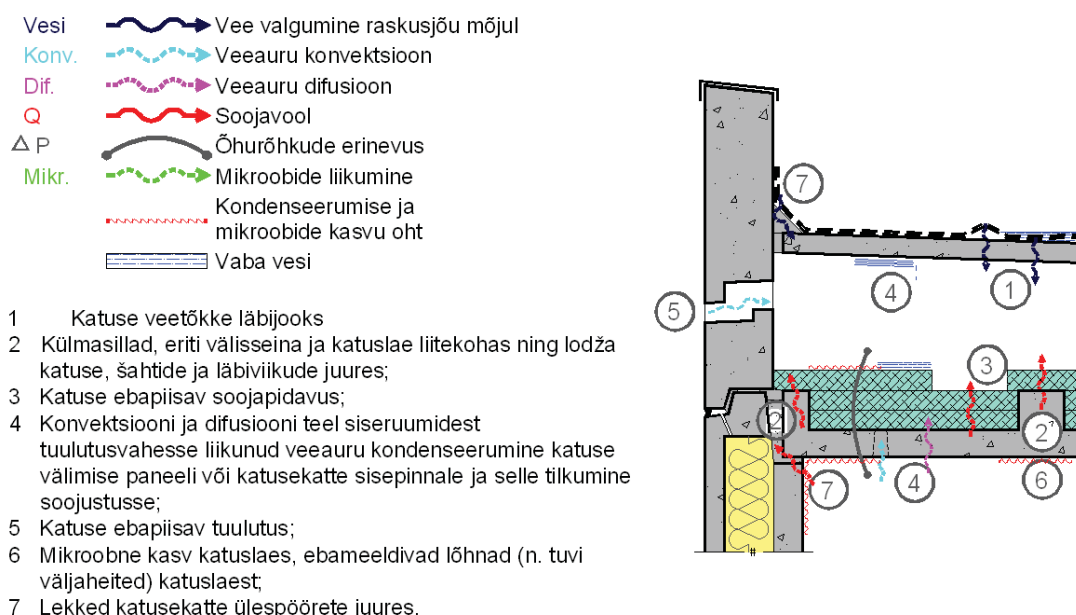
Varikatuste juures esines olukordi, kus katuse sadevesi valgus seinale (vt. Joonis 3.22 vasakul) või vihmavee torustiku liitekohad lekkisid ja sadevesi valgus seetõttu seinale (vt. Joonis 3.22 paremal).



Joonis 3.22 Sadevee probleemid varikatuste juures

Suurpaneelilamute katuste peamised probleemid on (vt. ka Joonis 3.23):

- katusekatte ebatihedus;
- külmasillad, eriti välisseina ja katuslae liitekohas ning lodžade, šahtide ja läbiviikude juures;
- ebapiisav soojapidavus;
- konvektsiooni ja difusiooni teel siseruumidest tuulutusvahesse sattunud veeauru kondenseerumine välimise betoonpaneeli või katusekatte sisepinnal ja selle tilkumine tagasi soojustusse;
- katuse ebapiisav tuulutus;
- lekked katusekatte ülespöörete juures;
- veeloigud katusel, ebapiisavad kalded (eriti korstnate ja muude läbiviikude juures), ummistunud sadevee äravoolud;
- lagunened ja remonti vajavad korstnad.



Joonis 3.23 Katuse peamiste soojusliku ja niiskusliku probleemide põhimõtteline skeem

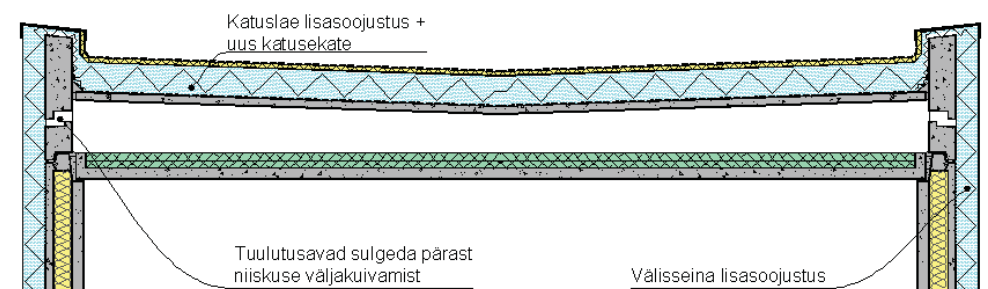
3.2.1 Katuslagede põhimõttelised renoveerimislahendused

Katuste olukord on praegusel ajal, võrreldes varasemates uuringutes väljatooduga oluliselt paranenud. Katusekatted on pea kõigil uuritud suurpaneelilamutel uuendatud ning märkimisväärseid probleeme veepidavusega ei esine.

Suurpaneelilamute katuslagede soojajuhtivus on nii suur, et on põhjust neid lisasoojustada. Lisasoojustamise põhjus tuleneb ennekõike aga vajadusest vähendada suuri külmasildasid katuse ja välisseina liitekohas ning katuse paneelide toetuskohtade juures. Väga õigesti on talitatud elamutes, kus katus on ka lisasoojustatud, kuna see aitab kõrvaldada katuslaepaneelide ning välisseinapaneeleide ühendussõlmes muidu paratamatult esinevat külmasilda. Lisaks on sel moel võimalik kokku hoida soojusenergiat. Just külmasildade likvideerimise seisukohast oleks mõistlik hallituseprobleemidega hoonetes katused lisasoojustada isegi kui katusekatte on korralik. Seejuures peaks lisasoojustus katma ka parapeti, vastasel juhul säilib külmasild läbi parapetipaneeli.

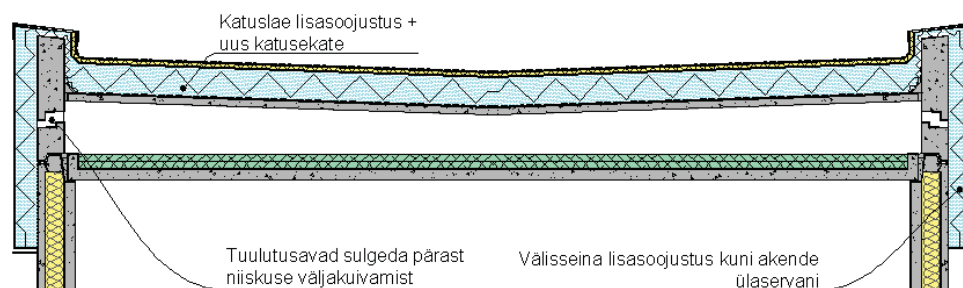
Uue katusekatte tegemise puhul on äärmiselt oluline ka katus lisasoojustada, seda võib lugeda lausa kohustuslikuks. Hiljem ei ole korraliku katusekatte korral selle eemaldamine ja katuse lisasoojustamine enam majanduslikult just väga tasuv tegevus. Paraku on praeguseks see etapp paljude elamute juures juba läbitud, sest endiseaegse ruberoidiga kaetud katuseid on vähe alles. Kahjuks on katuse remont sageli piirdunud vaid katte vahetusega, ilma lisasoojustust paigaldamata. Katuse lisasoojustamist tuleb igal juhul ette võtta siis, kui võetakse ette katusekatte vahetus.

Katuslae lisasoojustamist on realselt võimalik teha vaid lisasoojustuse paigaldamisega olemasoleva katuse peale, vana katusekatte eemaldamisega või ilma. Pärast lisasoojustamist tuleb vanad tuulutuseavad sulgeda, kuna vastasel korral satub välisõhk soojustusse alla ja soojustus efektiivsus langeb. Lisasoojustamine ja tuulutuse sulgemine muudab katuslae niiskustehnilist toimivust: katusesse tekib mitu veeaurutihedat kihti ja kahe soojustus vahelaual suur õhuruum. Katuse lisasoojustamine on mõistlik teha koos fassaadide lisasoojustamisega (vt. Joonis 3.25). Selline lahendus tagab parima lõpptulemuse.



Joonis 3.24 Katuse ja välisseina kompleksne lahendus tagab parima lõpptulemuse

Väiksemate rahaliste võimaluste juures on variant soojustada esialgu hoonel ainult otsaseinad ja katus ning külgliseintel piirduda katuse ja välisseina liitekohta soojustamisega (vt. Joonis 3.25 ja Joonis 3.26 vasakul).



Joonis 3.25 Katuslae ja külgliseinte liitekohta soojustamine, kui külgliseinte lisasoojustus toimub teises etapis.

Lisasoojustuse vajaliku paksuse määravad energiatõhususarvutus, katuslae niiskusrežiim ja ehitustehniliselt optimaalne lahendus. Ehitustehniliselt võib soojustuse paksuse piiriks pidada 20-25 cm.

Lisasoojustuse paksus ja tuulutuse sulgemise lahendus peavad tagama katuse niiskustehnilise toimivuse. Kui jäetakse vana katusekate alles ja lisasoojustus tuleb selle peale, peab lisasoojustuse paksus olema selline, et vana katusekate alla ei tekiks niiskustehniliselt kriitilisi keskkonnatingimusi: ei teki veeauru kondenseerumise või hallituse kasvu ohtu. Tuulutused sulgemisel tuleb olla kindel, et liigniiskus (põhjustatud näiteks katuse läbijooksust) on katusest välja kuivanud. Seetõttu on soovitatav sulgeda tuulutused ligikaudu aasta pärast soojustustööde tegemist, kui liigne niiskus on välja kuivanud. Katusele tehtud tuulutused on lihtsam sulgeda, kuna ei pea muutma fassaadi viimistlust ja tööd saab teha katusest.

Katuse tasapinna tõstmise korral tuleb tagada, et veetõkke ülespöörded korstnatele ja teistele katusest läbiviikudele oleksid vähemalt 30 cm. Katusel paiknevaid ventilatsioonikorstnaid on võimalik laduda kõrgemaks. Madala parapeti korral võib tekkida vajadus rajada katusel liikujate, tulekustutus- ja päästemeeskonna turvalisuse tagamiseks 600 mm kõrgune räästabarjäär (vt. Joonis 3.26 paremal).



Joonis 3.26 Katuslae ja välisseina liitekohta ning otsaseina lisasoojustamine (vasakul). Madala parapeti korral tuleb katuse serva ehitada piire (paremal).

Kui katusekate lekib, tuleb tegutseda kiiresti ja pole alati aega otsustada kogu hoone soojustamise peale. Kui rahalised võimalused ei luba katust lisasoojustada tuleb vana ja uus katusekate omavahel eraldada 20-30 mm paksuse jäiga või pooljäiga mineraalvillast plaadiga, mis tagab uuele katile ühtlase aluse ja vana katte deformatsioonid ei mõjuta uut katet. Pikemas perspektiivis võib uue katusekatte paigaldamist ilma katust lisasoojustamata lugeda ebaotstarbekaks.

Lisaks olemasoleva lamekatuse lisasoojustamisele on olemas veel kaks üldtunnustatud renoveerimislahendust: madala kaldkatuse ehitamine ning lisakorruse pealeehitamine.

Madalat kaldkatust võib küll lamekatusest mõnevõrra töökindlamaks lugeda, kuid samas on see lahendus kallim. Kuna korralikult tehtud lamekatuse täidab oma ülesannet hästi, siis tasub põhjalikult kaaluda madala kaldkatuse ehitamise majanduslikku otstarbekust. Madala kaldkatusega on võimalik parandada ka ventilatsiooni lahendust: pikendada korstnalõõre, mis on oluline just viimase korruse ventilatsiooni silmas pidades, ja paigaldada katuse alla ventilatsiooniseadmeid. Ventilatsioonilõõre ei tohi mingil juhul lõpetada kaldkatuse all, vaid korstnad tuleb pikendada nii, et oleks nõuetekohane üleulatus uue katuse pinnast.

Lisakorruse ehitamise majanduslik otstarbekus sõltub suuresti olukorrast kinnisvaraturul ning praegusel hetkel ilmselt otstarbekas ei ole, mis aga ei tähenda, et olukord muutuda ei või. Lisaks sõltub lisakorruse mõttekus kindlasti hoone asukohast ning akendest avanevatest vaadetest. Loomulikult tuleb lisakorruse ehitamisel silmas pidada tuleohutusnõudeid.

Ventilatsioonilõõride otsad on enamasti korras, kohati puuduvad tuulutuskorstnate katted. Veeäravoolud on enamasti vabad, puuduvad küll tihti prahi äravoolutorudesse sattumist vältivad katted. Ummistunud veeäravoolude korral tuleks need loomulikult kohe puhastada.

3.3 Rõdude ja varikatuste olukord

Rõdusid on suurpaneelilamutel kolme tüüpi:

- tõmbidega rõdud;
- konsoolised rõdud;
- lodžad.

Rõduplaatidel esines tõsiseid kahjustusi, mis olid põhjustatud peamiselt rõdude veetõkke puudumisest või katkisest veetõkkest (rõduplaat on pidevalt märg) ning armatuuri või rõdu piirdepostide korrosioonist.

Rõduplaate on edukalt renoveeritud, kaitstes sellega armatuuri korrosiooni vastu ning taastades kaitsekihti. Piirded on originaalselt enamasti puidust, eterniidist või raudbetoonist. Puitpiirded on tihti pehkinud ning eterniitplaadid on tänaseks pea kõikjal välja vahetatud. Uued piirded on enamasti tehtud profiilplekist. Esineb omavolilisi rõdude kinniehitamisi, mis rikub hoone arhitektuurset ilmet (Joonis 3.27 paremal) ning vale tehnilise teostuse korral võib rikkuda korterite sisekliima.



Joonis 3.27 Rõduplaatide ja varikatuste kahjustused (vasakul). Rõdude meelevaldne kinniehitamine rikub hoone arhitektuurset välimust (paremal)

Halva näitena rõdu või lodža kinniehitamise tagajärjedest võib tuua ühest käesolevas projektis uuritud hoonest. Viienda korruse ühetoalise korteri välissein piirnes kinniehitatud lodžaga. Hoones oli loomulik ventilatsioon, mis ei toiminud korralikult ja eriti probleemne oli see viimastel korrustel. Ruumide tuulutamiseks kasutati ka akende avamist. Lodža seinaks, laeks ja põrandaks on 10 cm betooni. Lodža pinnatemperatuur on seetõttu väga madal. Kuna kinniehitamisega on lodža kasutus muutunud sarnaseks teiste siseruumidega, on õhu veeaurusisaldus lodžal ligilähedane siseruumide veeaurusisaldusega. Õhu madala temperatuuri ja kõrge veeaurusisalduse tõttu on lodža tarindite sisepinna suhteline niiskus väga kõrge, võimaldades hallitus ulatuslikku kasvu. Hoone välisseinad lisasoojustati 10 cm soojustusega. Samas jäeti lodža seinad soojustamata. Kuna lisasoojustamata jäeti välissein lodža osas, siis jäeti lisasoojustamata kõikide ühetoaliste korterite välisseinad. Pärast kallist remonti tekkis hallitus uuesti lodža sisepindadele. See on näide sellest, kui renoveerimise käigus ei kõrvaldata kahjustuse tekke põhjust, vaid tegeletakse ainult tagajärgede likvideerimisega. Probleem on eriti tõsine ka seetõttu, et selle korteri tuulutamine toimub lodža kaudu, mistõttu kantakse õhuvooluga siseruumidesse ka hallituseosed. Korrektsel renoveerimislahendusel korral tulnuks lodžade kinniehitamise korral soojustada ka lodža seinad, põrand ja lagi ning renoveerida hoone ventilatsioonisüsteem.



Joonis 3.28 Näide, kuidas lodža kinniehitamine on põhjustanud hallituse vohamise lodža sisepindadel. Üleval: vaade kinniehitatud rõdust. All vasakul: kinniehitatud rõdu enne remonti, all paremal: kinniehitatud rõdu pärast remonti. Kuna hallituse tekke põhjust ei ole likvideeritud on lodža seintele tekkinud uuesti hallitus.

Rõdude ja lodžade kinniehitamise positiivne pool on, et väheneb ilmastikukoormus nendele.

3.3.1 Rõdude ja varikatuste põhimõttelised renoveerimislahendused

Enne renoveerimistöid tuleb alati kontrollida rõdude ja varikatuste üldist ehitustehnilist seisukorda. Sõltumata tüübist esinevad neil sarnased probleemid:

- rõdu- või varikatuselaadi armatuuri kaitsekihi irdumine;
- rõdu- või varikatuselaadi niiskuse-, külma- ja soolakahjustused;
- armatuuri korrosioon;
- rõdupiirete irdumine;
- lodžavaheliste seinte olukord (võimalikud pikipraod või tarindielementide lahtirebenemine).

Rõdude ja varikatuste raudbetonelemendid on alati vähemal või suuremal määral kahjustunud. Seetõttu sõltub nende renoveerimislahendus otseselt kahjustuste ulatusest. Esmatähtis on konstruktsioonide kahjustuste arengu peatamine ja konstruktsioonide kandevõime tagamine. Olemasolevate elementide säilitamisel tuleb murenenud betoon eemaldada, armatuur puhastada korrosioonist ja kaitsta, mille järel tuleb taastada betoonosad (vajadusel tuleb armatuuri tugevdada).

Rõdude ja lodžade piirete kinnitus peab vältima piirete allakukkumise ja tagama rõdul olijate turvalisuse. Sageli võib piisata kahjustunud piirdeosade ja/või kahjustunud kinnituste asendamisest.

Suurpaneelilamud ei ole projekteeritud kinniehitatud rõdudega või lodžadega. Linnakeskkonda saastavad lahendused, kus iga rõdu on kinni ehitatud erineva lahendusega (vt. Joonis 3.27). Tehniliselt võib kinniehitamine olla põhjendatud, kuna see vähendab sademete poolt tekitatavat niiskuskooormust rõdudele ja lodžadele. Rõdude ja lodžade kinniehitamine on mõeldav vaid ühtse lahenduse alusel tervikuna kogu hoonel. Eelistatavaim on lahendus, kus kasutatakse ilma raamideta rõduklaasisüsteeme (klaasidevaheliste pragude kaudu tuulutatakse rõdu) ja rõdu/lodža jääb külmaks ruumiks. Kui rõdud või lodžad ehitatakse kinni ja ühendatakse tekkiv pind siseruumiga, peavad rõdupiirded vastama välispiiretele esitatavatele nõuetele st peavad sarnaselt välisseintega olema kindlasti väljastpoolt lisasoojustatud. Lodža külgseinad on tavaliselt ~10-15 cm paksused betoonpaneelid, mis ei sobi köetava ruumi välispiirdeks.

Vanad ja lagunened rasked raudbetoonist varikatused on mõistlik asendada uue kergema lahendusega, mitte hakata vana varikatust renoveerima.

3.4 Vundamentide ja keldripõrandate olukord ja renoveerimisettepanekud

Vundamentide silmnähtavaid vajumeid ega kerkeid üldiselt ei esinenud. Ühes hoones (3020) oli aluspinnas vajunud ~7 cm, millega koos ka pinnasele toetatud vahesein ja korstnalõõrid (vt. Joonis 3.29).



Joonis 3.29 Aluspinnas on vajunud, millega koos ka pinnasele toetatud vahesein ja korstnalõõrid.

Hoone ümbruse vajumist võis täheldada mitme hoone juures. Sellisel juhul ei valgu hoone ümbert vesi eemale, vaid just hoone suunas, vundamendi äärde. Kui sellega kaasneb vundamendi puudulik hüdroisolatsioon, on tagajärjeks märjad keldriseinad ja põrandad.



Joonis 3.30 Vajunud hoone ümbrus.

Sokli renoveerimisel kehtivad põhimõtteliselt samad lahendused mis välisseinte puhul. Kui on probleeme keldriseinte niiskusega, siis tuleks seinad lahti kaevata ja nende välisküljele paigaldada hüdroisolatsioon ning pinnasesisene soojustus.

3.5 Vahelagede olukord

Vahelagede kandevõime seisukohast olulisi puudusi enamasti ei esinenud. Peamiseks probleemiks on nende vähene heli- ja löögimüra pidavus. Selle probleemiga oleks ilmselt mõistlik korteriomanikel ise remondi käigus tegeleda. Seejuures tuleb muidugi silmas pidada, et koormused hoone kandekonstruktsioonidele lubatust suuremaks ei läheks. Täpsemalt vt peatükk: 10 Sisepiirete helipidavus.

3.6 Vaheseinte olukord

Siseseintel kandevõime seisukohast olulisi puudusi üldiselt ei esinenud. Kuid seda ei saa üldistada, sest näiteks ühel 1962 a. ehitatud hoonel (1010) avastati põikiseinas pikk kaldpragu, mis lõppes just rõdu tõmbi juures.



Joonis 3.31 Kaldpragu põikikandeseinas, mis lõppes rõdu tõmbi juures.

Tõsine probleem on aga vaheseinte helipidavus. Tihti on selle põhjuseks augud seintes: vt. Joonis 3.32 kus on näha kohakuti pistikupesad kahe korteri vahelises seinas.



Joonis 3.32 Kohakuti pistikupesad kahe korteri vahelises seinas.

3.7 Treppide ja trepikodade olukord

Elamute trepikojad peavad vastama evakuatsioonitrepikoja nõuetele tarindite tulepüsivusaja, suitsu eemaldamise, valgustuse, tulekustutus- ja päästetööde tegemise jms. osas. Trepi äär peab olema piiratud käsipuu või barjääriga. Käsipuu või barjääri ülaseriv peab olema vähemalt 1000 mm kõrgusel mademe põrandast või astme esiservast. Kui kukkumisvõimaluse sügavus on maksimaalselt 3,5m või trepikäikudevahelise ava laius kuni 400 mm, võib käsipuu ülaseriv olla 900 mm kõrgune. Käsipuu peab olema igal trepil, millel on üle kolme astme. Trepivõre või barjääri pulkade maksimaalne vahekaugus on 110 mm.

Sisetreppidel vaadeldud elamutes olulisi puudusi ei esinenud. Kohati oli treppiirete käsipuud katki või puudusid need sootuks.

Trepikodade seinad on osal elamutel määrdunud, kohati on pudenenud krohvi. Hoone toimimisele see küll mõju ei avalda, kuid esteetiliselt nauditavama elukeskkonna nimel võiks ka need probleemid kõrvaldada.

Probleeme esineb välistreppidega, mis on kohati ära vajunud, puudub armatuuri kaitsekiht ja esineb armatuuri korrosiooni. Sellised probleemid tuleks loomulikult kõrvaldada. Armatuuri kaitsekihi puudumisel tuleb armatuuri korrosiooni vastu kaitsta ning taastada kaitsekiht. Vajadusel tuleb treppi tugevdada tsingitud terasprofiiliga. Äravajunud treppiplatide korral tuleks taastada nende algne asend. Kallim variant on ehitada elamule uued pääslad koos uute treppidega.

3.8 Avatäidete olukord ja renoveerimisettepanekud

Varasemates uuringutes on välja toodud trepikodade uste ja akende halb seisukord. Tänapäevaks on pea kõigil elamutel trepikodade välisüksed vahetatud korrallike metalluste vastu ja samuti on vahetatud või korrastatud trepikodade aknad. Kus seda tehtud ei ole, tuleks nimetatud tööd loomulikult võimalikult kiiresti ette võtta.

Korterite uksi on enamikus elamutes vahetanud korteriomaniikud ise ja reeglina ei ole korterite välisüksed tuletõkkeüksed. Originaalüksed on enamasti välja vahetatud.

Korterite akende ja rõduuste vahetamine on samuti olnud enamasti korteriomaniike enda teha, seetõttu leidub emalutel väga erinevaid aknaid mis kahjustab hoonete arhitektuurset ilmet. Ilma

ventilatsioonipiluta tihedalt sulguvad või üldse mitte avatavad aknad halvendavad oluliselt korteri sisekliimat, suurendades õhuniiskust ning vähendades sissehingatava õhu kvaliteeti.

Vanade ja remontimata akendega korteri puhul on kaks erinevat lahendust. Esiteks võib vanad aknad remontida. Juhised selleks on toodud EstKONSULT 1996. aasta uuringus „Mustamäe suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud“. Teine võimalus on aknad asendada, kuid sellisel juhul peavad uued aknad kindlasti olema tuulutuspiluga või tuleb seina teha reguleeritavad tuulutused. Koos akende vahetamisega peab alati kaasnema ventilatsiooni renoveerimine. Samuti peab igas eluruumis olema vähemalt üks avatav aken.

Akende vahetamisega peab alati kaasnema ventilatsioonisüsteemi renoveerimine.

Tuleohutuse seisukohalt peavad korterite välisüksed vastama tuletõkkeukse EI30 nõuetele (TP-1). Korteriuste laius peab olema vähemalt 900 mm ja trepikodade välisuste laius peab üldjuhul olema vähemalt 1200 mm (evakuatsioonialalt, kus inimeste arv on kuni 60, võib ühe evakuatsioonipääsu laius olla 900 mm). Trepikoja poole avanev uks ei tohi kitsendada liikumisvoolu teed.

Tulekahju ajal juhitakse suitsu ja kuumad põlemisgaasid trepikojast välja peamiselt läbi avatavate akende. Kuni kaheksakorruselise hoone trepikojast peab olema võimalus suitsu eemaldamiseks kas iga korruse tasandilt vähemalt 0,5 m² suuruse kergesti avatavate akende kaudu või trepikoja katuses oleva 1 m² suuruse kasuliku pindalaga, hoone esimeselt korruselt käsitsi kergesti avatava, suitsuluugi või katuseakna kaudu.

Turvalisuse põhjustel olid uuritud korterelamute trepikodade välisüksed valdavalt asendatud uute ustega ja enamus elamutes oli paigaldatud ka fonoluku süsteem.

3.9 Tuleohutus

Olulised tuleohutusnõuded (VVm 315) on enamus punktides täidetud.

Peamiste puudustena võiks välja tuua: tule ja suitsu leviku takistamisega seotud probleemid:

- korterite välisüksed ei ole tuletõkkeuksed;
- vaheseinte ja -lagede madal õhupidavus ei takista suitsu levikut läbi tuletõkkepiirete;
- torustike vahetamisel ei ole tuletõkkeseksioonidest läbiviikude juures tagatud tuletõkkepiirde tulepüsimisnõuded (EI60).

Enamikul korteritel (90%) puudus autonoomne tulekahjusignalisatsioonandur. Kuigi uuringu tegemise ajal ei olnud veel autonoomne tulekahjusignalisatsioonandur korterite vähemalt ühes ruumis kohustuslik, oli inimeste valdav hoiak, et kuna seadus seda veel ei nõua, pole seda ka vaja. Tuleohtlikkust suurendab ka keldritesse kuhjatud ja ladustatud vara.

4 Vaheseintesse ja vahelagedesse avade tegemise mõju suurpaneelilamule üldstabiilsusele ja kandevõimele

Paneelilamute üheks puuduseks on paneelilamute plaaniline üldlahendus. Peaaegu kõik sise- ja välisseinad on kandvad ning see ei võimalda vaba ümberplaneeringut. Kui on teada, kui palju on võimalik kandvaid seinasid vähendada või nendesse teha avasid, siis on võimalik suurendada ka nende hoonete kasutusotstarvet. Näiteks tavaliste paneelilamute esimesel korrusel võiks paikneda raamatukogu, lasteaed, bürooruumid jne.

Elamispiindade seisukohalt on paneelilamute miinuseks väikesed toad ja ühesugune ruumijaotus. Seda samuti on võimalik parandada korterite sisemise ümberehituse teel, liites näiteks naaberruume ja naaberkortereid. Liitmiseks on vaja rajada läbi kandvate siseseinapaneelide uusi avasid. Rajatavaid avasid ei või paigutada suvaliselt, et hoone konstruktsiooni mitte nõrgestada.

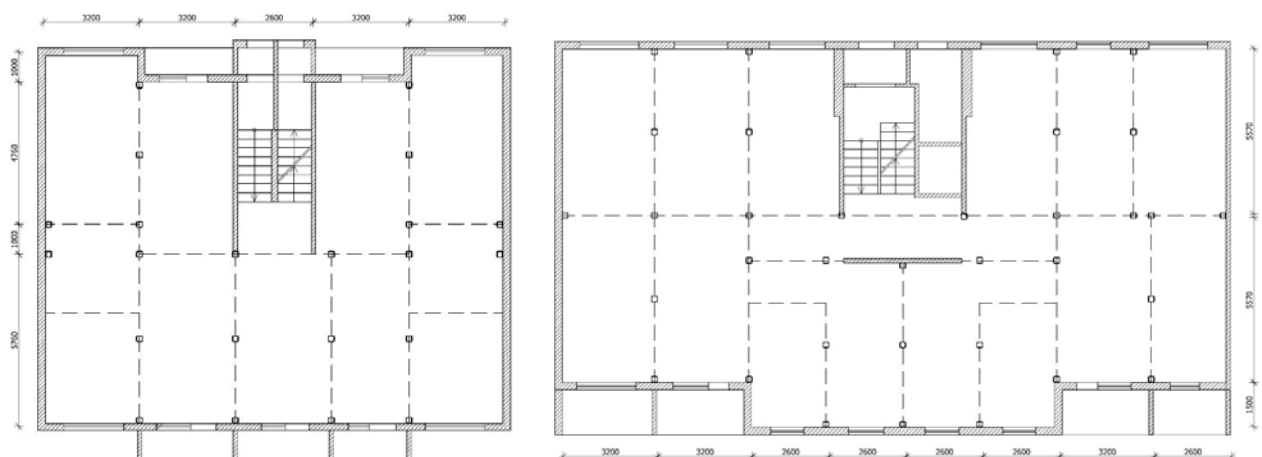
Töös analüüsiti erinevaid variante tüüpilamute siseseinte maksimaalseks eemaldamiseks ning asendamiseks teraspostide- ja postidega nii, et seejuures oleks tagatud hoonete üldstabiilsus ja kandevõime. Eesmärk oli alles jätta minimaalselt kandeseinu, ning nendeks olid hoone välisseinad, trepikodasid ümbritsevad seinad ning sektsioonidevahelised seinad. Vaadeldi kahte varianti, esiteks eemaldati vaheseinad hoone kõikidelt korrustelt ning teise variandina eemaldati vaheseinad vaid esimeselt korruselt. Tulemuseks saadi võimalikud kandeelementide asetused.

Vaatluse all oli kaks tüüpiprojekti: viiekorruseline hoone, tüüpiprojekt 121 ja üheksakorruseline hoone 1-464.

Hoone kandvate vaheseinte asendamisel teraspostide ja -taladega (vt. Joonis 4.1) jääb tagatuks hoone üldstabiilsus. Viiekorruselisel hoonel on kandevõime varu üldstabiilsuse seisukohast seejuures ~40%, üheksakorruselisel ~10%. Sellest võib järeldada, et ka väiksemate avade tegemine vaheseintesse on üldstabiilsuse sisukohast lubatav ning jäikusseinte olulise vähendamisega hoone kui terviku üldstabiilsus jääb tagatuks. Kindlasti ja hoolikalt tuleb siiski kontrollida avade paiknemisi üksteise suhtes (arvestada juba rajatud avadega) ning tagada ka vertikaalkoormuste nõuetekohane ülekandmine vundamentidele.

Hoonete vahelagedesse avade tegemine on aga oluliselt komplitseeritum vahelagede väikese kandevõime varu tõttu. Avade tegemine on siiski võimalik, kuid neil juhtudel tuleb avade ümber rajada kas betoon- või terasraam ja vahelagede tugevdada.

Kindlasti tuleb igakordse avade tegemisel tellida selleks otstarbeks eraldi projekt.



Joonis 4.1 Võimalike kandeelementide skeem, kui sektsioon sisemised vaheseinad asendada teraspostidega ja -taladega hoone esimesel korrusel. Vasakul viiekorruseline tüüpiprojekt 121, paremal üheksakorruseline tüüpiprojekt 1-464.

5 Fassaadibetooni olukord

5.1 Betooni külmakindlus

Kuna Eesti kliimas vahelduvad talveperioodil sageli külma- ja soojakraadid, tuleb välisseintel hoone kasutusea jooksul läbi teha arvukaid külmumis-sulamistsükleid. Seetõttu on just suurpaneelilamute välisfassaadi säilivuse tagamiseks väga tähtis betooni külmakindlus. Vähesel külmakindluse tõttu on vanemate hoonete fassaadid hakanud juba lagunema (vt. Joonis 5.1).



Joonis 5.1 1962. aastal ehitatud seeria I-464 elamu välisfassaad on hakanud lagunema

Betooni külmakindlus on betooni vastupidavus vahelduvatele külmutamise ja sulatamise tsüklitele, kui külmutusaineks (katsetamiskeskonnaks) on vesi. Külmumis-sulamistsüklite tagajärjel tekib betooni pealispinna koorumine (murenemine), mis fikseeritakse massikaona. Võivad esineda ka sisestruktuuri kahjustused, ehk praod betooni sisemuses, mis pole pealispinnal nähtavad, ja mille tulemuseks on betooni füüsikalise-mehaaniliste omaduste muutumine, näiteks tugevusnäitajate ja elastsusmooduli vähenemine.

Betooni külmakahjustuste põhjuseks on lahtistesse pooridesse imbuv vesi, mille maht jäätudes suureneb ning purustab tasapisi betooni struktuuri. Vesi imub pooridesse näiteks vihmajärgu või lumesulamise tõttu. Talvisel ajal on fassaadibetooni kuivamine madala õhutemperatuuri, kõrge õhuniiskuse ja vähesel päikesekiirguse tõttu aeglane. Veelgi halvem on betooni jaoks soolalahus, mis võib betooni sattuda libedusetõrjeks kasutatavate kloriidide tõttu.

Betooni külmakindlust vähendavad avatud poorid mida mööda saab vesi kapillaarjõudude mõjul betooni imenduda. Suletud poorid seevastu suurendavad külmakindlust, sest nende arvult võivad veega täitunud poorid jäätudes paisuda ilma betooni struktuuri lõhkumata.

Igal betoonil on nn. kriitiline veega küllastatuse aste, mis näitab, kui suur osa betooni pooridest võib olla veega täidetud, et betoon kehtaks jäätumise kahjustumata. Sellest kriitilisest piirist allpool kannatab betoon külma hästi. Külmakindluse seisukohast peaks hea betooni kriitiline veega küllastatuse aste olema selgelt kõrgem veega küllastatuse astmest, mida betoon konstruktsioonis töötades saavutab.

Betooni külmakindlust mõjutavad:

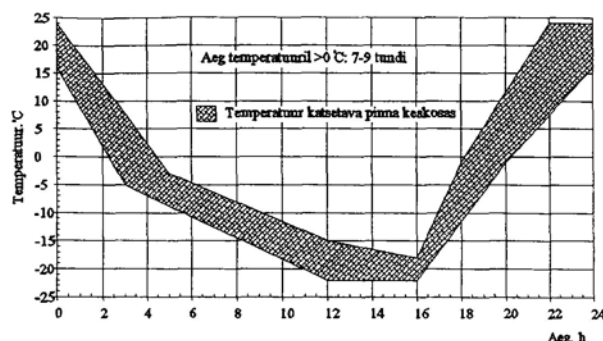
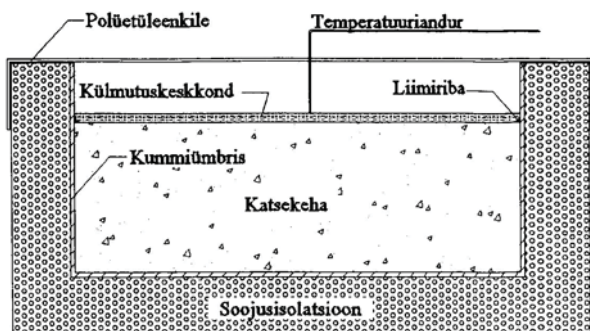
- vesi-tsementtegur – mida väiksem seda suurem külmakindlus, sest tekib vähem kapillaarpoore;
- survetugevusklass – mida kõrgem survetugevusklass, seda külmakindlam betoon;
- segamisaeg – mida pikemalt betooni segatakse, seda ühtlasemalt jaotuvad kinnised poorid ning paraneb külmakindlus;
- kivinemistingimused;
- täitematerjal – poorne täitematerjal võib olla külmakindlusele kahjulik, sest pooridest väljuv vesi tekitab betoonis lisapingeid;
- sideaine tüüp;
- manustatud õhk – enamasti pindaktiivsete ainete betoonisegusse lisamise kaudu tekitatud poorsuse suurenemine, mis lisab külmakindlust.

5.1.1 Betooni külmakindluse uuringu meetodid

Betooni külmakindluse uuringu eesmärk on selgitada välja, kui kaua säilitab betoon looduslike külmumis-sulamistsüklite käigus nõutavad omadused.

Betooni külmakindlust mõõdeti samadelt proovikehadelt, mida kasutati ka karboniseerumise ja survetugevuse uuringutel. See võimaldas teha betooni erinevate omaduste võrdlust. Kõik proovikehad puuriti elamu välisseinapaneelidest (peamiselt otsaseintest).

Betoonkärnidest saeti laboris välja à 1 katsekeha-silinder paksusega 50 mm risti seinapaneeli välispinnaks olnud pinnaga. Katsekehade katsetatavaks pinnaks külmutus-sulatuskatsetel oli lõigatud betooni pind. Pärast 7, 14, 28, 42 ja 56 tsüklit määrati katsekeha katsetatavalt pinnalt murenenud materjali kogus.



Joonis 5.2 Külmutamis-sulatamiskatse korraldamise põhimõtteline skeem (EVS 814:2003) (vasakul). Külmutuskeskkonna temperatuuri-ajatsükel katsetatava katsekeha pinna keskel (paremal) (EVS 814:2003)



Joonis 5.3 Pärast 56 külmutus-sulatustsüklit väga väikese massikaoga proovikeha (vasakul) ja täielikult murenenud proovikeha (paremal)

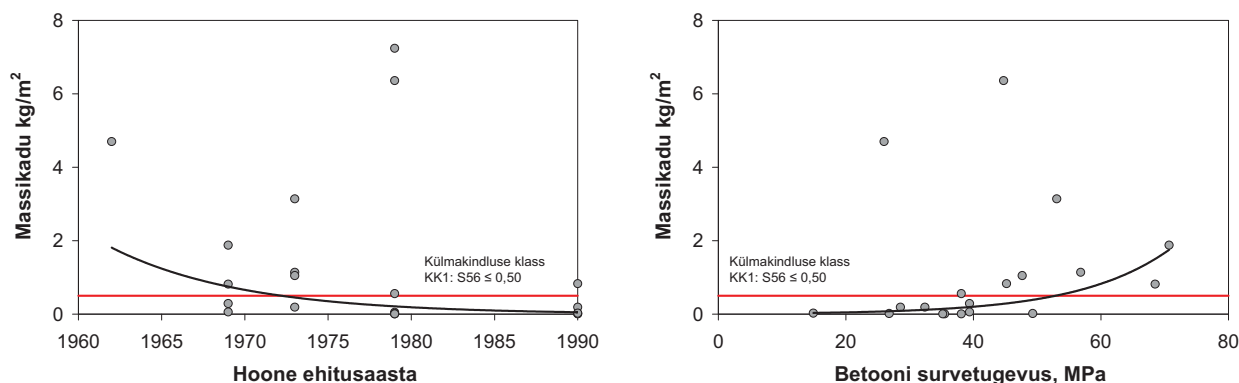
5.1.2 Betooni külmakindluse tulemused

Välisseinapaneelide fassaadikihi külmakindluse uuringud tehti kokku 24 proovikehale (7 korterelamul).

EVS 814:2003 kohaselt asuvad hooned, mille betoonpaneelidest katsekehad võeti, keskkonnaklassis XF1. See tähendab mõõdukalt veega küllastunud, ilma jäitevastase aineta. Sellises keskkonnas töötav betoon peab vastama külmakindluse klassile KK1. Seega $S_{56} \leq 0,50$ ehk koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit on väiksem kui $0,50 \text{ kg/m}^2$ või kui S_{56}/S_{28} on väiksem, siis $2S_{56} \leq 1,00$ ehk koorunud (murenenud) materjali mass pärast 56 tsüklit on väiksem kui $1,00 \text{ kg/m}^2$.

Katsetulemustest selgub, et katsetatud hoonete raudbetoonpaneelide seisukord külmakindluse seisukohast ei ole hea. 24-st proovikehast vastas külmakindluse klassi KK1 nõuetele 11 (46%). Kolm proovikeha lagunesid täielikult. Seejuures ei esinenud valimis ühtegi hoonet, millest võetud kõik proovikehad oleksid vastanud keskkonnaklassi XF 1 külmakindluse KK1 nõuetele.

Erineva vanusega elamute välisseinapaneelide massikadu vt. Joonis 5.4 vasakul. Iga üksteise kohal olevate punktide kogum tähistab konkreetse ehitusaastaga elamu(te) mõõtetulemusi. Külmakindlus vaheldub sama hoone erinevate välisseinapaneelide ja sama paneeli erinevate proovide vahel. Punase joonega on tähistatud maksimaalne lubatud massikadu pärast 56 külmutus-sulatustsüklit, $0,50 \text{ kg/m}^2$. Suurema survetugevusega proovikehade külmakindlus on üldiselt madalam, kuid korrelatsioon oli väike (vt. Joonis 5.4 paremal).



Joonis 5.4 Erineva vanusega elamute välisseinapaneelide külmakindlus (vasakul). Samade proovikehade survetugevuste ja massikadude, pärast 56 külmutus-sulatustsüklit, sõltuvus (paremal). Punase horisontaaljoonega on tähistatud maksimaalne lubatud massikadu $0,50 \text{ kg/m}^2$.

5.2 Betooni survetugevus

Kuna betooni kasutatakse eelkõige survejõudude vastuvõtmiseks, on survetugevus üks betooni tähtsamaid omadusi. Survetugevuse alusel jaotatakse betoonid tugevusklassidesse (näiteks C25/30), kus kaldjoone ees olev arv tähistab silindrilise proovikeha survetugevust f_{ck} (silinder diameetriga $\varnothing 150 \text{ mm}$ ja kõrgusega 300 mm) ning kaldjoone taga olev arv tähistab kuubilise katsekeha survetugevust $f_{c,cube}$ (kuup küljepikkustega 150 mm). Kuubiline survetugevus on suurem kui silindriline survetugevus: $f_{c,cube} > f_{ck}$. See tugevuste suhe ei ole püsiv, vaid $f_{ck}/f_{c,cube}$ kasvab betooni tugevuse kasvades ning võib esitada valemiga (5.1, Leskelä 2008):

$$f_{c,cube} = 1,172 \cdot (f_{ck} + 2) \quad (5.1)$$

Erinevate kuju ja mõõtmetega katsekehade katsetamisega saadakse erinevad survetugevused. Katsekeha mahu suurenedes saadav survetugevuse näitaja väheneb, kuigi uuritava betooni omadused püsivad samad. Katsekeha purustav jõud sõltub ka koormamiskiirusest, katsekeha ristlõike ja kõrguse suhtest, katsekeha niiskusest, temperatuurist, vanusest. Seetõttu tuleb erinevad katsed taandada samale näitajale. Betooni kuubilise ja silindrilise survetugevuse suhe vt. Tabel 5.1. Vastavalt EVS-EN 13369:2006 standardile võib pidada $\varnothing 100 \dots 150 \text{ mm}$ läbimõõduga ja sama kõrgusega puuritud katsekehade survetugevust võrdseks 150 mm küljepikkusega kuubi survetugevusele $f_{c,cube}$.

Teatud suuruse ja kujuga katsekeha survetugevuse $f_{c,spect}$ suhe 150 mm kuubikulise $f_{c,cube}$ survetugevusse võib arvutada valemi 5.2 abil (Neville 1973):

$$f_{c,cube} = f_{c,spect} \left/ 0,56 + \frac{0,697}{\frac{V}{150 \cdot h \cdot d} + \frac{h}{d}} \right. \quad (5.2)$$

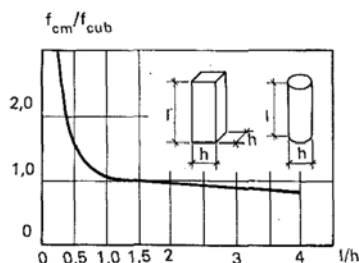
kus:

- V katsekeha maht, mm;
 h katsekeha kõrgus, mm;
 d katsekeha läbimõõt või külje mõõt, mm;

Tabel 5.1 Betooni kuubilise ja silindrilise survetugevuse suhe (Möller et.al. 1980, Jokela et.al. 1980, GOST 10180-90)

Kuubiline survetugevus $f_{c,cube}$		Silindriline survetugevus f_{ck}		
Kuubi külg, mm	Suhteline tugevus, %	Silindri läbimõõt, mm	Silindri kõrgus, mm	Suhteline tugevus, %
70	106...118	50	100	109
100	104...105	75	150	106
150	100	100	200	103
200	95	150	300	100
250	92	200	400	97
300	91	300	600	91

Välisseinapaneelidest proovikehade puurimisel on raske tagada, et proovikeha läbimõõt oleks tema kõrgusega võrdne. See mõõtude erinevus aga mõjutab tulemusi (vt. Joonis 5.5).



Joonis 5.5 Proovikeha kuju mõju tema survetugevusele

5.2.1 Betooni survetugevuse uuringu meetodid

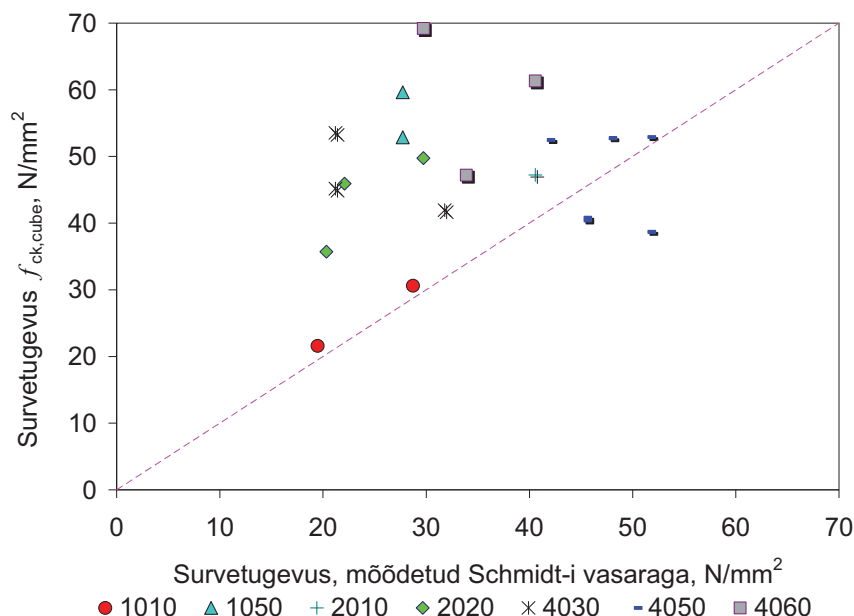
Betooni survetugevus määrati välisseina väliskoorikust ja vundamendist puuritud (EVS-EN 12504-1:2003) katsekehade alusel kahel meetodil:

- Purustav katsetamine: hoonetelt võetud betoonkärnidest saeti laboris välja katsekehad – silindrid ja kuubid, mis purustati TTÜ ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratooriumis pressi all (EVS-EN 12390:2002): 25 katsetust. Enne pressi all purustamist saeti katsekehade kõrgus vastama läbimõõtu või katsekehade saeti välja kuubikud.
- Mittepurustav katsetamine: Schmidti vasaraga pörkearvu määramine (EVS-EN 12504-2:2003): 54 katsetust. Katseseadmeks on terasest vedruvasar, mida surutakse vastu testitavat pinda. Varda täielikul sukeldumisel kivimihaamrisse vabastatakse automaatselt sisevasar, mis pörkub vastu varda sisemist otsa ja annab selle kaudu löögi kivimi pinnale. Varras reageerib ja edastab tagasipörke vasarale. Tagasilöögi käigus liigutab vasar osutit, mis näitab tagasilöögi maksimaalset ulatust ja lugemist skaalal. Iga katsekeha testiti kuni 10 löögiga. Terasvasara tagasipörget terasotsikult mõõdetakse seadme raami külge kinnitatud lineaarskaalal.

5.2.2 Tulemused

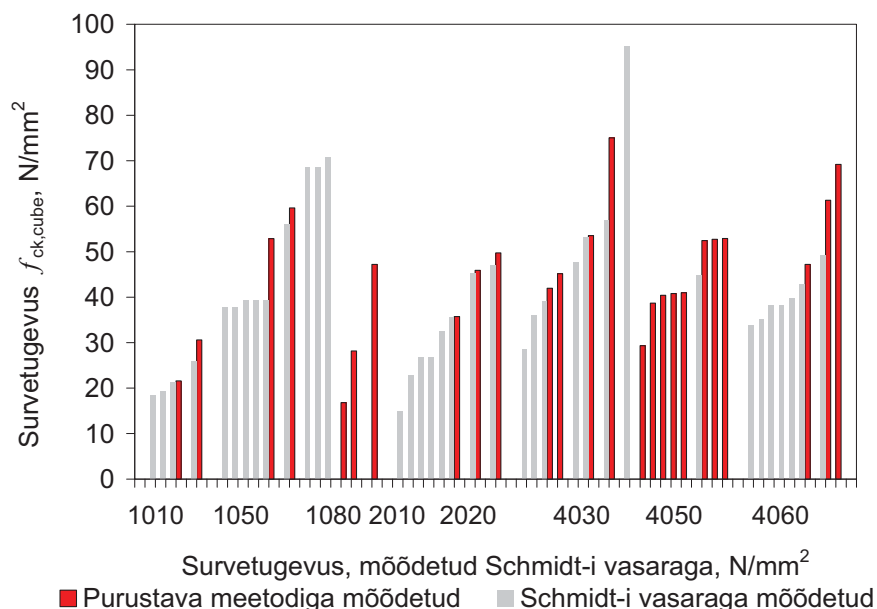
Hoonete välisseintest väljapuuritud silindrite ja kuupide katsetulemused taandati 150 mm servapikkusega kuubi survetugevusele. Schmidti vasaraga mõõdetud pörkearvu alusel arvutati 150 mm servapikkusega kuubi survetugevus mõõteriista skaalalt.

Osad katsekehadel tehti mõlemad mõõtmised (vt Joonis 5.6).



Joonis 5.6 Purustava meetodi ja Schmidt'i vasaraga mõõdetud betooni survetugevuse võrdlus.

Schmidt'i vasaraga mõõdetud betooni survetugevuse suurused on mõnevõrra väiksemad, mis võib olla põhjustatud sellest, et mõõtmisel oli katsekeha toetatud põrandale, mille kate võis vasara lööki summutada. Iga hoone purustava meetodi ja Schmidt'i vasaraga mõõdetud betooni survetugevuste suhte keskmine suurus oli parandusteguriks, mille alusel arvutati Schmidt'i vasaraga mõõtetulemustest betooni survetugevus, $f_{c,cube}$ (vt. Joonis 5.7). Nende paralleelmõõtmiste korrelatsiooni alusel määrati ka Schmidt'i vasaraga katsetatud kehadele kuubiline survetugevus $f_{c,cube}$ (vt. Joonis 5.7).



Joonis 5.7 Betooni survetugevuse mõõtetulemused

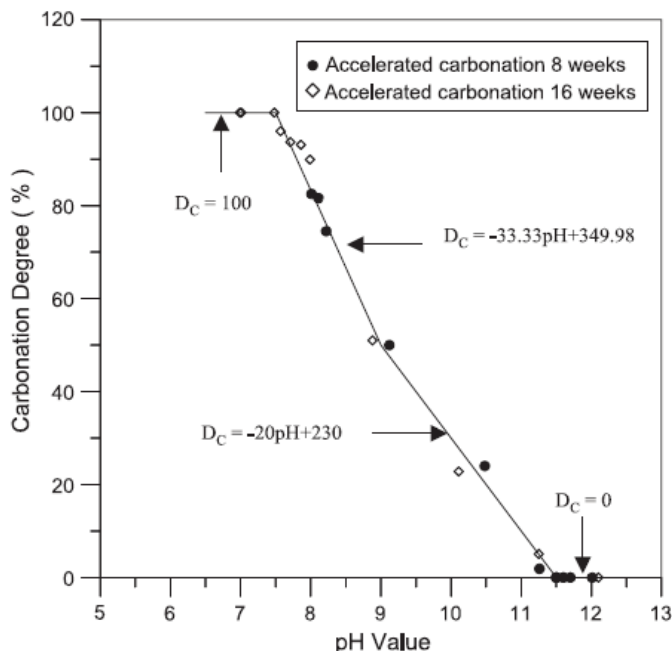
5.3 Välisseinapaneelide karboniseerumine

Karboniseerumine on õhus oleva süsihappegaasi (CO_2) reaktsioon betooni aluseliste hüdroksiididega. Reaktsiooni käigus kaltsiumhüdroksiid ($Ca(OH)_2$) muutub kaltsiumkarbonaadiks ($CaCO_3$) (vt. valem 5.3).



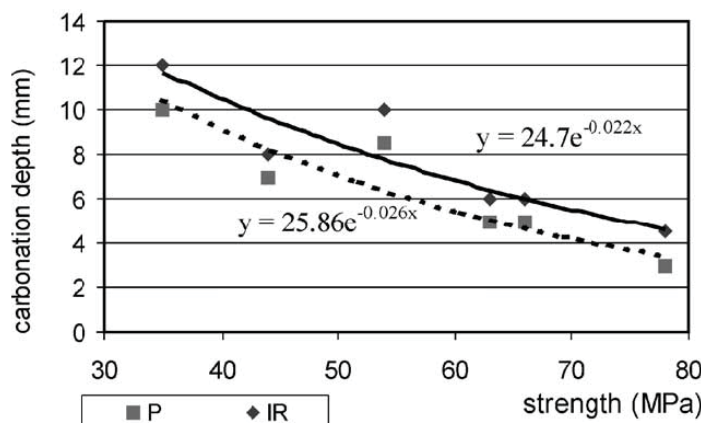
Selle reaktsiooni käigus muutub betooni aluseline keskkond ($\text{pH} > 12$) nõrgalt aluseliseks või neutraalseks ($\text{pH} < 8$).

Kui betooni aluselisus on $\text{pH} < 7,5$, siis on betoon 100 % karboniseerunud; kui pH on $7,5 \dots 9,0$, siis on karboniseerumisaste $50 \dots 100$ %; kui pH on $9,0 \dots 11,5$, siis on karboniseerumisaste $0 \dots 50$ %; kui $\text{pH} > 11,5$, siis betoon ei ole karboniseerunud (vt. Joonis 5.8).



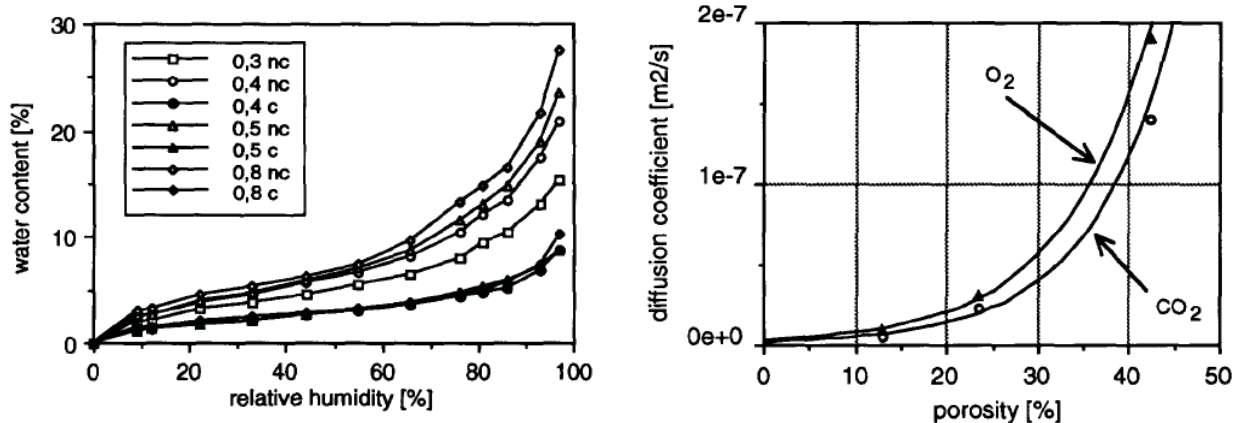
Joonis 5.8 Karboniseerumisastme ja betooni leeliselisuse suhe 8- ja 16-nädalasel kiirendatud katsel (Chang&Chen 2006)

Suurem vesitsementtegur ja väiksem tugevus suurendavad betooni karboniseerumist (vt. Joonis 5.9).



Joonis 5.9 Betooni karboniseerumise ja tugevuse vaheline sõltuvus (Lo&Lee 2002)

Karboniseerumine mõjutab betooni niiskussuhtuvust (vt. Joonis 5.10 vasakul). Sama suhtelise niiskuse juures on karboniseerunud betooni niiskussisaldus väiksem. Karboniseerumise kiirus sõltub õhu CO_2 sisaldusest, betooni omadustest sh. poorsusest (vt. Joonis 5.10 paremal), tsemendi tüübist, vesitsementtegurist), niiskusest, pragudest betoonis, betooni tugevusest. Kuiv betoon ei reageeri süsihappegaasiga, sest ei ole süsihappe (H_2CO_3) moodustumiseks piisavalt vett. Teisalt on CO_2 difusioon väga niiskesse betooni aeglane. Kuna betoonis olev niiskus takistab CO_2 difusiooni, on 90% suhtelise niiskuse juures karboniseerumine väga aeglane.



Joonis 5.10 Mittekarboniseerunud betooni (nc) ja karboniseerunud betooni (c) sorptsioonigraafikud (vasakul); CO₂ ja O₂ difusioonikiirus sõltuvalt betooni poorsusest suhtelise niiskuse 50% juures (paremal) (Houst&Wittmann 1994)

Optimaalne niiskuslik keskkond karboniseerumiseks on suhtelise niiskuse vahemikus 50...70% (Lo&Lee 2002). Välisseinapaneeli välimises koorikus on suhteline niiskus kõrge: aasta ringi >75...80%. Kui betooni leeliselisus ei paku armatuurile kaitset, on selline niiskustase piisav terasarmatuuri korrodeerumiseks. Terasarmatuuri korrodeerumine mõjutab välisseinapaneeli toimimist mitmel viisil:

- Teras korrosiooni maht on kordi suurem terase algsest mahust. Suurenev maht betooni sees tekitab pingeid armatuuri ümbritsevas betoonis, mille tagajärjel võib betoon puruneda;
- Korrosiooni tagajärjel väheneb armatuuri ja betooni vaheline nake, mis vähendab elemendi kandevõimet. Kandevõimet vähendab ka armatuuri puudumine;
- Betooni kaitsekihi eemaldumine vähendab ka raudbetonelemendi tulekaitset.

Murenenud betoonis suurenevad ka teiste betooni lagundavate tegurite mõju: temperatuur, sademed, temperatuuri ja sademete koosmõju jne.

Karboniseerumiskiirust võib teoreetiliselt kirjeldada ruutjuurfunktsioonina, vt. valem 5.4 ja Joonis 5.11 (Pentti et.al.1998):

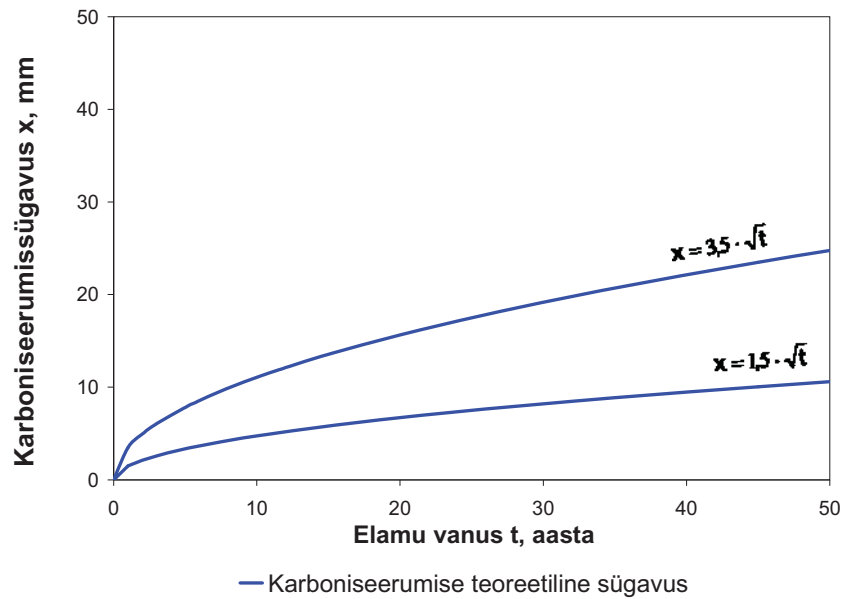
$$x = k \cdot \sqrt{t} \quad (5.4)$$

kus:

x karboniseerumissügavus, mm;

k karboniseerumistegur, mis võib olla tüüpiliselt vahemikus 1,5...3,5 mm/√aasta ;

t betooni vanus aastates.



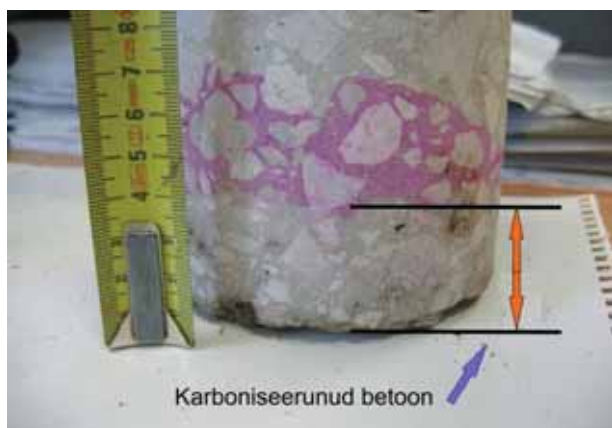
Joonis 5.11 Betoonfassaadi karboniseerumiskiirus ruutfunktsiooni järgi.

5.3.1 Betooni karboniseerumise uuringu meetodid

Betooni karboniseerumissügavuse mõõtmise eesmärk on selgitada, kui sügavale välisseina pinnast on betoon neutraliseerunud ehk on kaotanud armatuuri korrosioonikaitse betooni poolt.

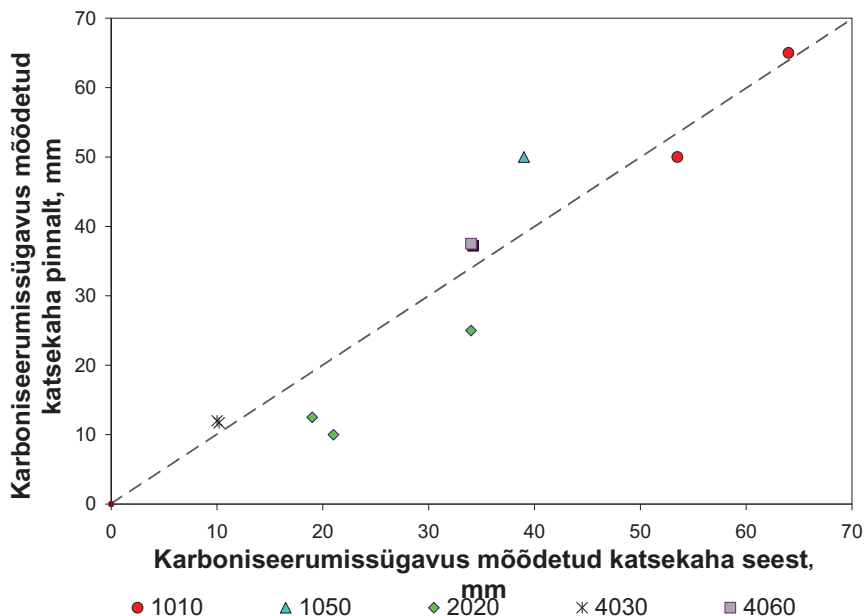
Betooni karboniseerumissügavuse mõõtmiseks kasutati fenoolftaleiini lahust. Sellega on võimalik eraldada karboniseerunud ($\text{pH} < 8,2 \dots 9,8$) ja karboniseerumata betoon ($\text{pH} \approx 13 \dots 14$). Fenoolftaleiini lahusega kaetud betooni pind muutub punakaslillaks, kui betooni $\text{pH} > 9$, mis tähistab kaltsiumhüdroksiidi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ olemasolu betoonis.

Karboniseerumissügavust mõõdeti katsekeha kuni neljast kohast nihikuga, arvestamata fassaadil oleva kivipuiste paksust.



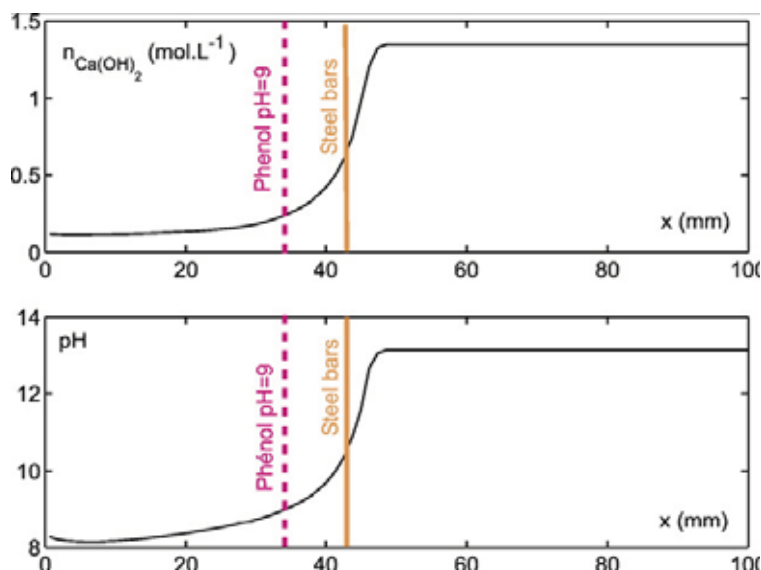
Joonis 5.12 Betooni karboniseerumissügavuse hindamine

Betooni karboniseerumist mõõdeti samadelt proovikehadelt, mida kasutati ka külmakindluse ja survetugevuse uuringutel. Kõik proovikehad puuriti elamu välisseinapaneelidest (peamiselt otsaseintest). Betooni karboniseerumissügavus mõõdeti katsekeha seest ja pinnalt, ning tulemused olid sarnased, vt. Joonis 5.13.



Joonis 5.13 Betooni karboniseerumissügavus mõõdetuna katsekeha seest ja pinnalt

Tuleb aga teadvustada, et teoreetiliselt eksisteerib ka osaliselt karboniseerunud tsoon, kus betooni aluselisisust fenoolftaleiiniga täpselt määrata ei saa (vt. Joonis 5.14). Käesoleva uuringu käigus TTÜ materjaliuuringute teaduskeskuses elektronmikroskoobi all tehtud uuringud tuvastasid CaCO_3 kristalle ka alas, mis fenoolftaleiiniga mõõtes ei olnud karboniseerunud.

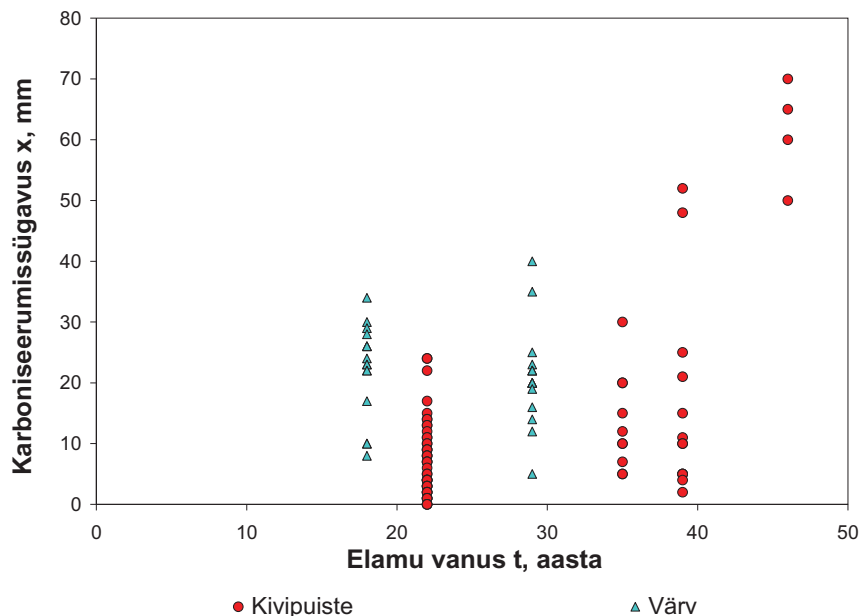


Joonis 5.14 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sisalduse (ülemine) ja happelisuse jaotus betoonis, kui betoon on teatud ulatuses karboniseerunud (Thiery et.al. 2007)

Valitud proovidele tehti lisaks ka röntgendifraktsioonanalüüs (XRD) röntgendifraktomeetriga Bruker D5005, mille abil on võimalik määrata teatud kohast võetud proovides $\text{Ca}(\text{OH})$ ja CaCO_3 suhtelist sisaldust. Fenoolftaleiiniga värvimisel ei ole võimalik visualiseerida terade sees olevat karboniseerimata kaltsiumiühendit. Röntgendifraktomeetria XRD proovide valmistamiseks jahvatatakse uuritavast kohast võetud tükk pulbriks, millega avatakse ka terade sisemus. Selle tõttu võib karboniseerumise aste nende kahe meetodiga määramisel olla erinev. Uuritavateks kohtadeks olid väljapuuritud kerni sisemine ja välimine kiht. Krohvikihiga kaetud kernidest võeti proovid betoonikihist.

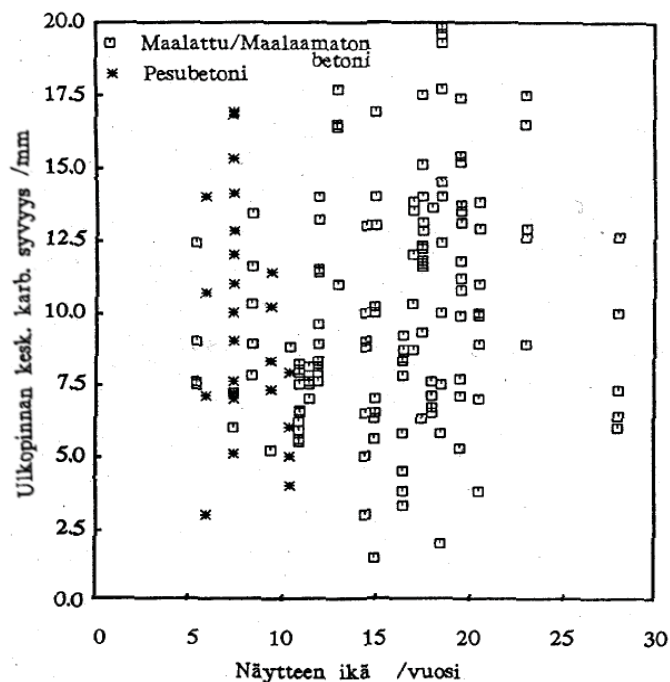
5.3.2 Välisseinapaneelide fassaadikihi karboniseerumise tulemused

Välisseinapaneelide fassaadikihi karboniseerumist mõõdeti ja uuriti kuuel erineva vanusega korterelamul kokku 112 kohast. Erineva vanusega elamute välisseinapaneelide karboniseerumissügavus vt. Joonis 5.15.



Joonis 5.15 Erineva vanusega elamute välisseinapaneelide karboniseerumissügavus Eestis (vasakul). Iga üksteise kohal olev punktide kogum tähistab ühe elamu mõõtetulemust. Karboniseerumissügavus vaheldub sama hoone erinevate välisseinapaneelide ja sama paneeli erinevate proovide vahel.

Analoogne uuring on tehtud ka Soomes (Pentti et.al.1998), vt. Joonis 5.15

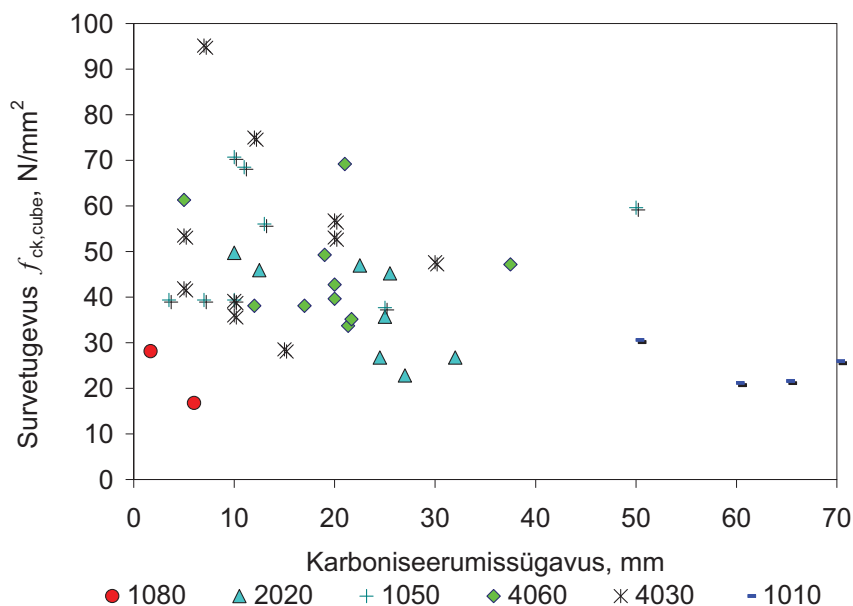


Joonis 5.16 Soomes uuritud raudbetoonist välisseinapaneelide karboniseerumissügavus

Tulemustest on näha karboniseerumissügavuse suur hajuvus nii ühe elamu kui ka erineva vanusega elamute osas. Värvkattega fassaadide karboniseerumine oli oluliselt kiirem, kui kivipuistega fassaadide karboniseerumine ($p < 0,002$). Fassaadivärv ei pruugi oluliselt takistada

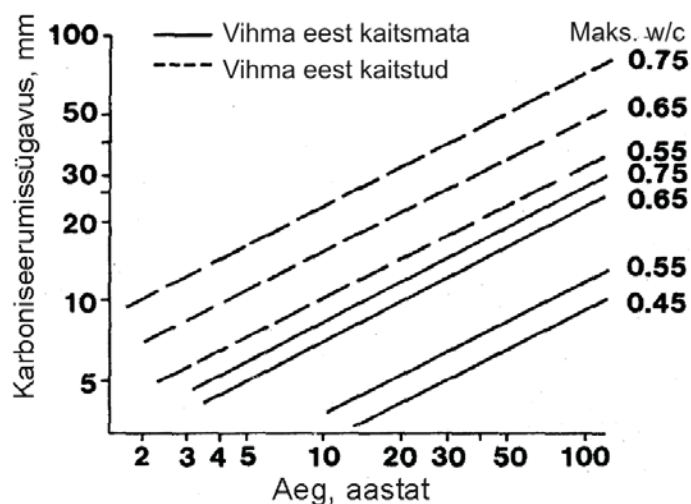
betooni kuivamist ega CO₂ difusiooni, kuid võib takistada kaldvihma imendumist betooni. See hoiab betooni keskmiselt kuivema, mis võib karboniseerumisprotsessi kiirendada.

Tugevama betooni karboniseerumise sügavus on keskmiselt väiksem, vt. Joonis 5.17.



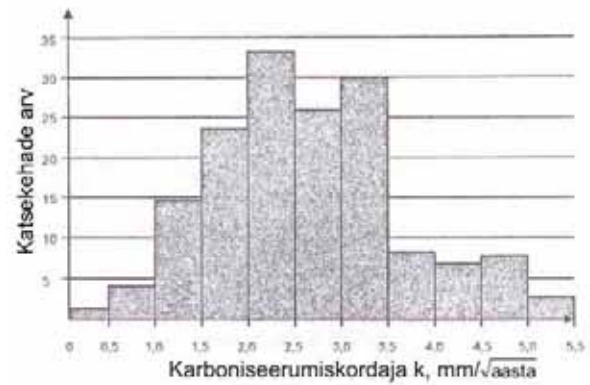
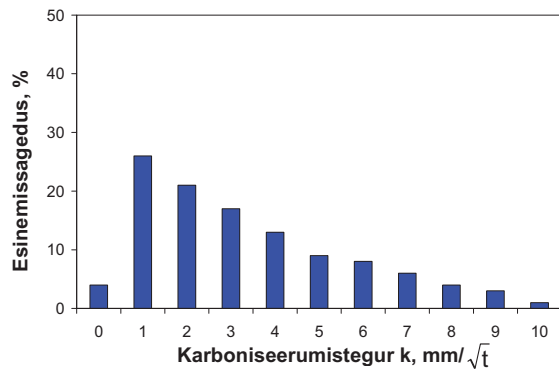
Joonis 5.17 Betooni survetugevuse ja karboniseerumise vaheline seos

Karboniseerumiskiirust võib teoreetiliselt kirjeldada ruutjuurfunktsioonina (vt. valem 5.4 ja Joonis 5.11). Nende alusel on koostatud karboniseerumissügavuse hindamise graafik (vt. Joonis 5.18)



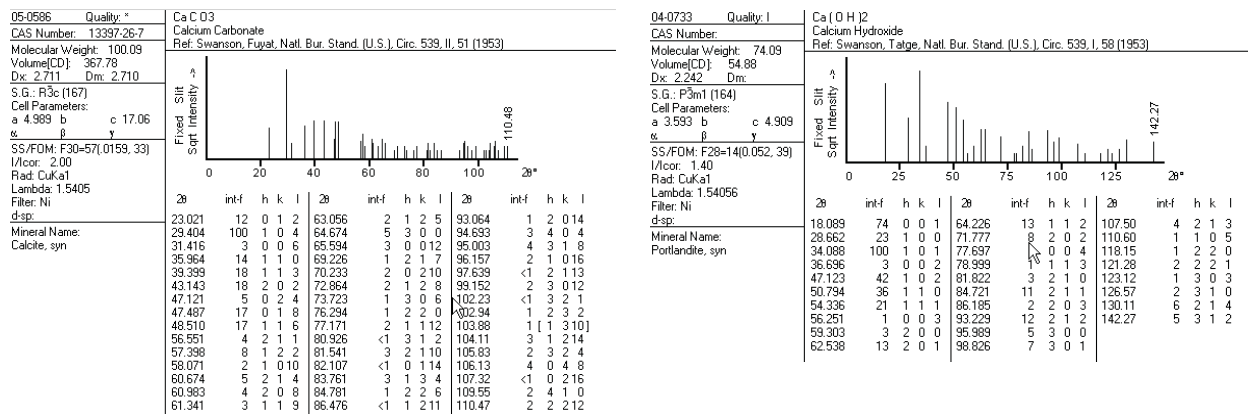
Joonis 5.18 Karboniseerumissügavuse hindamise graafik

Võrreldes käesolevaid tulemusi Soomes, Tamperes (Pentti jt.1998) tehtud betoonist suurpaneelilamute fassaadide karboniseerumise uuringutega, on Eestis suurem karboniseerumistegur (vt. Joonis 5.19). Seetõttu karboniseerumissügavuse hindamise graafik (Joonis 5.18) kindlasti ei ülehinda karboniseerumissügavust, vaid pigem alahindab seda.



Joonis 5.19 Ruutjuurejärgse karboniseerumismudeli kordaja jaotus Eestis (vasakul) ja Soomes (Pentti et.al.1998) (paremal) uuritud välisseinapaneelidel.

CaOH ja CaCO₃ karakterised jooned röntgenspektris suhtelistes ühikutes vt. Joonis 5.20.



Joonis 5.20 CaCO₃ (vasakul) ja CaOH (paremal) karakteristlikud jooned röntgenspektris

Siit on näha, et CaCO₃ kõige suurema intentsiivsusega joon asub 2θ väärtuse juures 29,404 ja CaOH vastav joon 2θ väärtuse juures 34,088. Seega uurides proovide spektreid, tuleb võrrelda ülalnimetatud joonte esinemist.

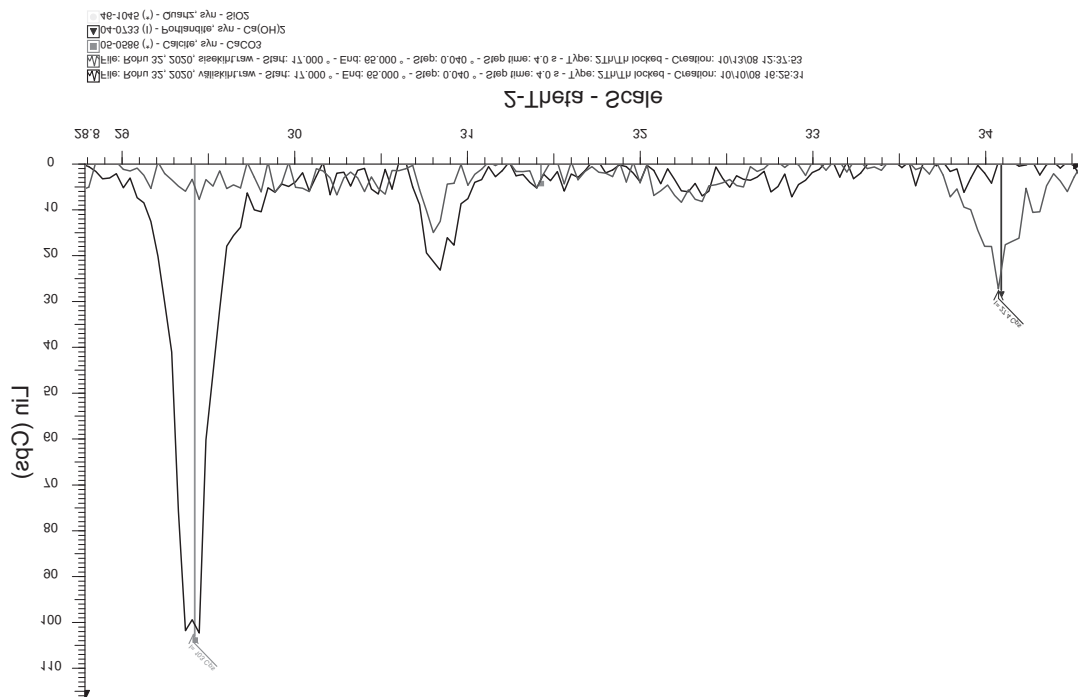
Võrreldes XRD mõõtmistulemusi (vt. Tabel 5.2, Joonis 5.21, Joonis 5.22, Joonis 5.23, Joonis 5.24, Joonis 5.25) fenoolftaleiiniga mõõdetud karboniseerumise sügavuse tulemustega, oli fenoolftaleiiniga mõõdetud karboniseerumise sügavus tagavara kahjuks. See tähendab, et CaCO₃ kristalle esines ka alas, mis fenoolftaleiiniga mõõtes ei olnud karboniseerunud. Proovid 3, 4 ja 5 olid läbinisti karboniseerunud, proovis 2 esines CaOH ka välimises kihis, proovis 1 ei olnud karboniseerumine sisepinnale jõudnud. Graafikute võrdlemisel ei tohi aluseks võtta piikide kõrgust, vaid ainult asukohta.

Tabel 5.2 XRD mõõtmistulemused

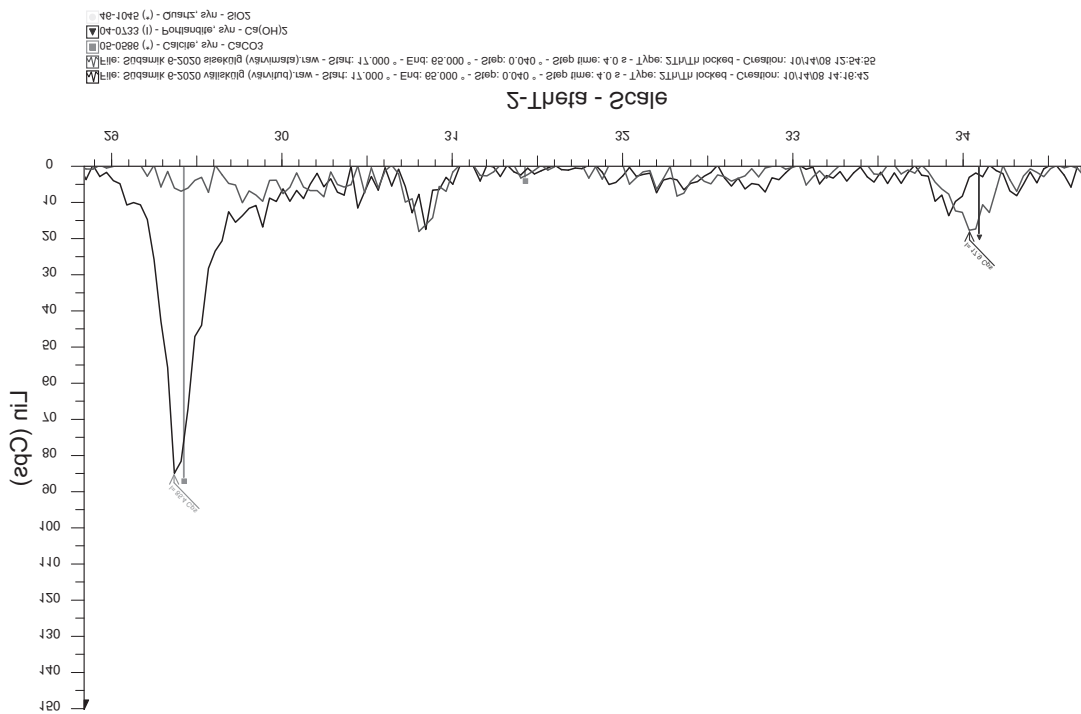
Jrk. nr.	Kood (hoone-proov)	Sisemine		Välimine	
		CaCO ₃	CaOH	CaCO ₃	CaOH
1	2020	-	+	+	-
2	2020-6	-	+	+	+
3	4060-1	+	-	+	-
4	4030-2	+	-	+	-
5	1050-6	+	-	+	-

Betooni soolade sisaldust uuriti röntgendifraktomeetrilise analüüsi meetodil. Betoonist armatuuri korrosiooni põhjustavaid sooli (kloriidid, sulfaadid) ei avastatud.

Eesti eluasemefondi suurpaneelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

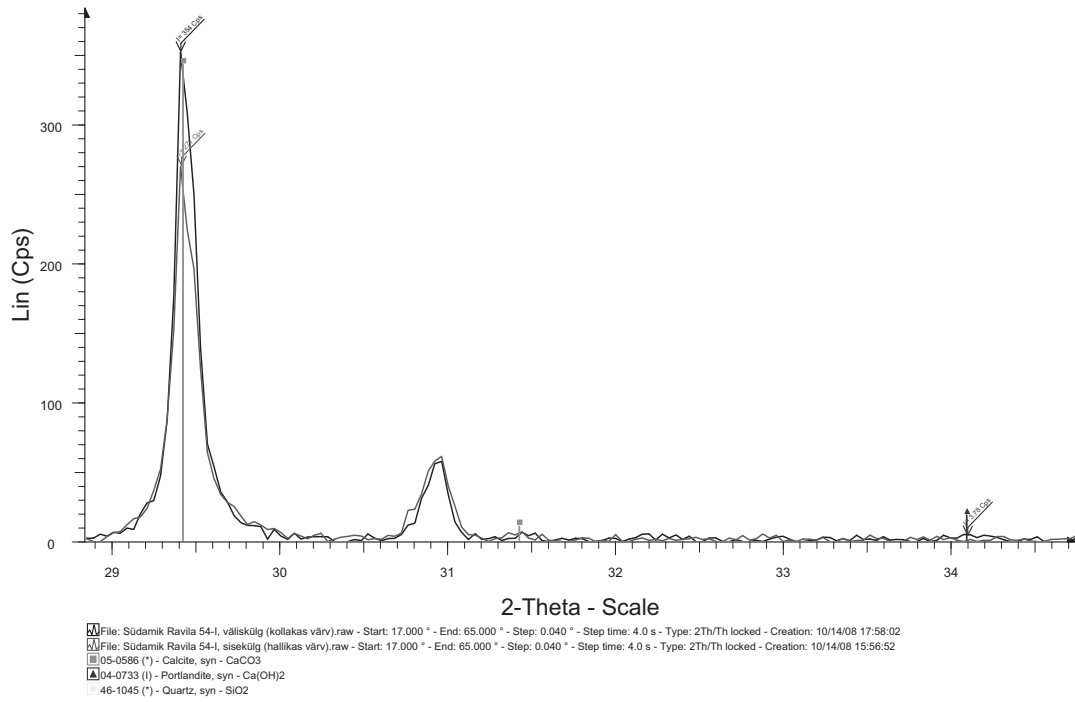


Joonis 5.21 Proovi 2020 spekter

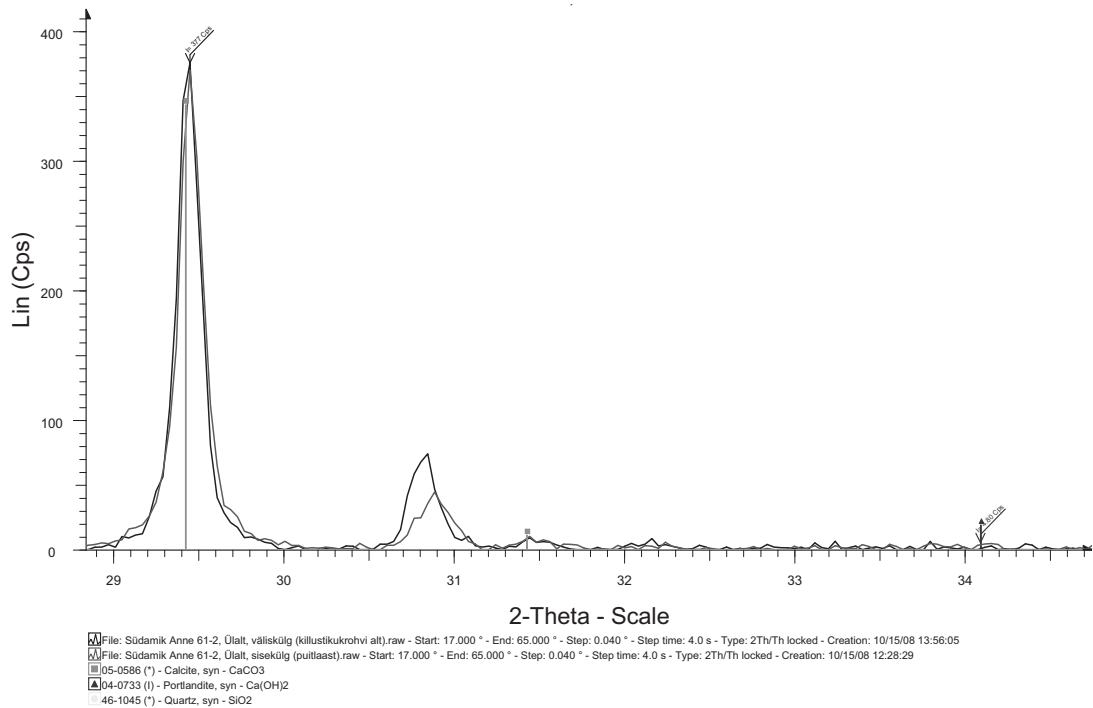


Joonis 5.22 Proovi 2020-6 spekter

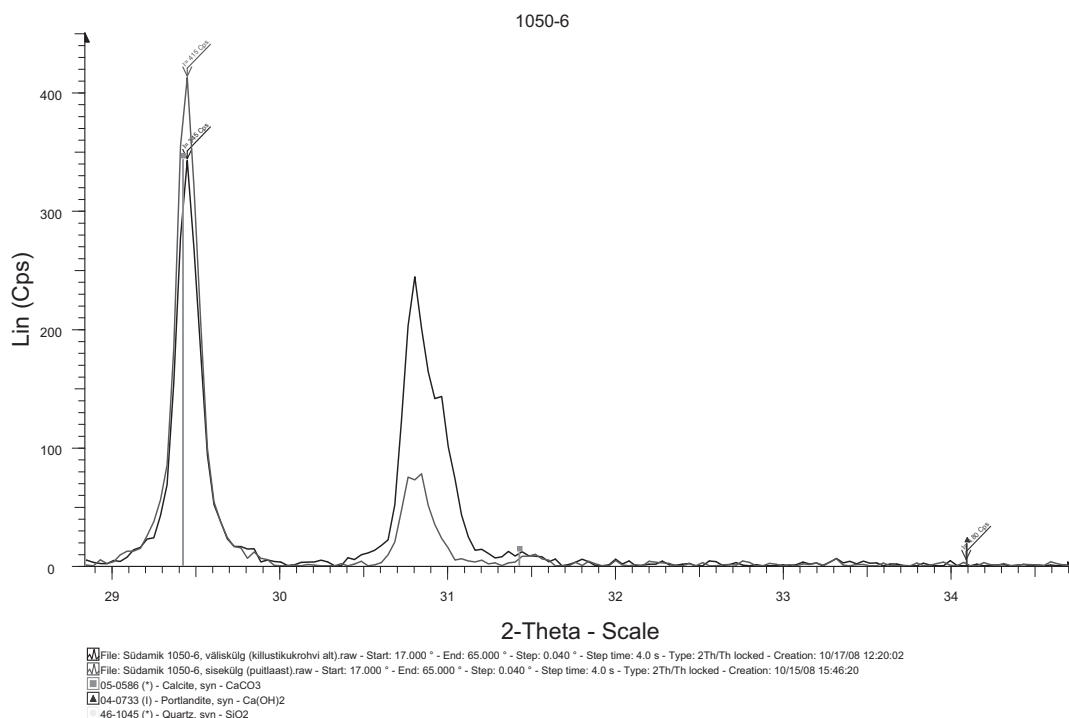
Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga



Joonis 5.23 Proovi 4060-1 spekter



Joonis 5.24 Proovi 4030-2 spekter



Joonis 5.25 Proovi 1050-6 spekter

5.4 Metallide korrosioon

Raudbetoon on materjal, mis on pidevas keemilises muutumises ja asub tihti rasketes ilmastiku- ning koormustingimustes. Raudbetooni sarruse korrosioon algab hoone ekspluatatsiooni käigus välis- ja sisemõjutuste toimel (Clifton, 1980):

- betoonist kaitsekihi kahjustumine ja sellele järgnev sarruse korrosioon;
- betooni karboniseerumine ja sellele järgnev sarruse korrosioon;
- kloriidide sissetungimine ja sellele järgnev sarruse korrosioon.

Peale betooni kivinemist on selles keskkond tugevalt aluseline (pH>12). Süsihappegaasi mõjul toimub aja jooksul betooni karboniseerumine (kaltsiumkarbonaadi moodustumine kaltsiumhüdroksiidist) ning keskkonna aluseliskus väheneb. Aluselises keskkonnas terase korrosiooni ei toimu. Kui keskkonna pH langeb alla 8, siis kaotab betoon sarruseterese kaitsva omaduse ning edaspidi sõltub terase korrosioon keskkonna niiskusest, temperatuurist ja hapniku difusiooni kiirusest. Need omakorda on sõltuvad betoonist kaitsekihi tihedusest, paksusest ning terviklikkusest (pinnakihi pragunemine). Kui terase korrosioon on juba alanud, siis tekib juurde uus nähtus – terase korrosiooniproduktide maht on kordi suurem terase enda mahust ning tekkinud rooste hakkab selle peal olevat betoonikihti lagundama. See avab tee uutele kahjustustele, mille tulemuseks võib olla betoonikihtide täielik pragunemine ja mahatulemine ning sarrusvarraste läbiroostetamine ning konstruktsiooni purunemine.

Armatuurraua korrosiooni uuriti visuaalse vaatluse abil kõikidelt ja valgusmikroskoobi abil valitud betoonist väljalõigatud proovidelt. Armatuuri korrosioon välisseina sidemetes ja välisseina välimises kihis on väheldane või praktiliselt puudub. Armatuuri korrosiooni esineb varikatuste ja rõdude juures ning välisseinas, kui armatuur paiknes sisemise või välimise pinna lähedal, st. kaitsekiht on väga väike (vt. Joonis 5.26).



Joonis 5.26 Välisvoodri väliseses kihis olev armatuur roostetab vaid väikese kaitsekihi korral.



Joonis 5.27 Korrosioonita armatuur (ülal), betooni armatuurraud korrodeerunud üksikute peade kaupa (keskel), armatuuriraud valdavalt korrodeerunud (all).

5.5 Betooni soolade uurimine difraktomeetria abil

Betoon võib ehitiste kasutamisel olla koormatud mitmesuguste keemiliste mõjutustega:

- välised - CO₂, SO₂(3), soolad, kemikaalid – happed, alused
- sisemised – ebapuhas täitematerjal - S, Fe, Al₂O₃ jne).

Betoonkonstruktsioone kahjustavad välised mõjurid:

- erosioon (tuule mehaaniline mõju, kulutamine);
- niiskus ja temperatuur;
- deformatsioonid temperatuuri- ja niiskusevaheldusest;
- õhu süsinikdioksiid CO₂ ja selle difundeerumisel karboniseerumine;
- õhu reostus, muuhulgas väevliühendid (SO₂) ja sellest põhjustatud etringiidi tekkimine ning mitmesugused muud väliskeskkonnast põhjustatud muud soolad (soolmineraalid);
- kohalikud keemilised mõjurid;

Betoonkonstruktsioone kahjustavad sisemised mõjurid:

- betoonis olevad ebapuhtad side- või inertained, muu hulgas väävel, rauaühendid, alumiiniumoksiidid; reaktiivne täitematerjal;

Nende mõjude tulemina võib tekkida betooni lagunemine. Kõige agressiivsemalt mõjub kivimaterjali struktuurile naatriumsulfaat, millel on faasiüleminekul kõige suurem mahu suurenemine. Seda tüüpi kahjustust esineb ka kõige sagedamini (Uustalu 2001). Järgmises tabelis on esitatud levinumad soolad, mis betooni võivad kahjustada:

Tabel 5.3 Levinumad betooni korrosiooni põhjustavad soolad

			Faasi muutuse temp °C	Mahu suurenemine %
NaCl	→	NaCl · 2H ₂ O	0,15	130
Na ₂ SO ₄	→	Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	32,3	311
MgSO ₄ · H ₂ O	→	MgSO ₄ · 6 H ₂ O	73	145
MgSO ₄ · 6 H ₂ O	→	MgSO ₄ · 7 H ₂ O	47	11
Na ₂ CO ₃	→	Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O	33	148

Üheks uurimisobjektis selles projektis oli soolade esinemine betooni poorides.

Soolade võimalikku esinemist uuriti betooniproovides, mida võeti karboniseerumise uurimiseks valitud hoonetest. Proove uuriti röntgendifraktsiooni meetodil seadmega BRUKER AXS D5005.

5.6 Fassaadibetooni põhimõttelised renoveerimislahendused

Kuna täielikult ei vasta nõuetele ühegi elamu fassaadipaneelide külmakindlus, tuleks kõigi elamute puhul võtta tarvitusele meetmeid betooni kaitsmiseks keskkonnamõjude eest. Sõltuvalt kahjustuste ulatusest võiks olla kaks põhimõttelist lahendust:

- Hoonete puhul, mille paneelid ei ole veel olulisel määral murenenud, tuleks fassaad katta veekindla fassaadikattega, mis on tagant tuulutatav. Soovitav on ühtlasi teha fassaadi lisasoojustamine, sest see väldib betooni külmumist ning suurendab fassaadi remondi maksumust vaid paarikümne protsendi võrra, vähendades samas oluliselt kulusid kütte-energiele.
- Tõsiselt murenenud paneelidega hoonete puhul tuleks eemaldada pudedaks muutunud betoon (kas veesurvega või liivapritsiiga) ning parandada seejärel paneelide kahjustatud kohad. Seejärel talitada nagu eelmises punktis.

Soomes on katsetatud ka betooni katmist erinevate mineraalsete või orgaaniliste kaitsekihtidega ning betooni impregneerimist, kuid on leitud, et märkimisväärset kasu sellest ei ole.

Käesolevate mõõtmiste alusel ei ole betooni väike survetugevus suurpaneel lamute renoveerimist põhjustav probleem.

Kui karboniseerumissügavus ei ulatu armatuurini, ei ole täiendavaid renoveerimistöid vaja läbi viia. Kui karboniseerumissügavus ulatub armatuurini, kuid armatuur ei ole korrodeerunud, on kaks põhimõttelist renoveerimislahendust:

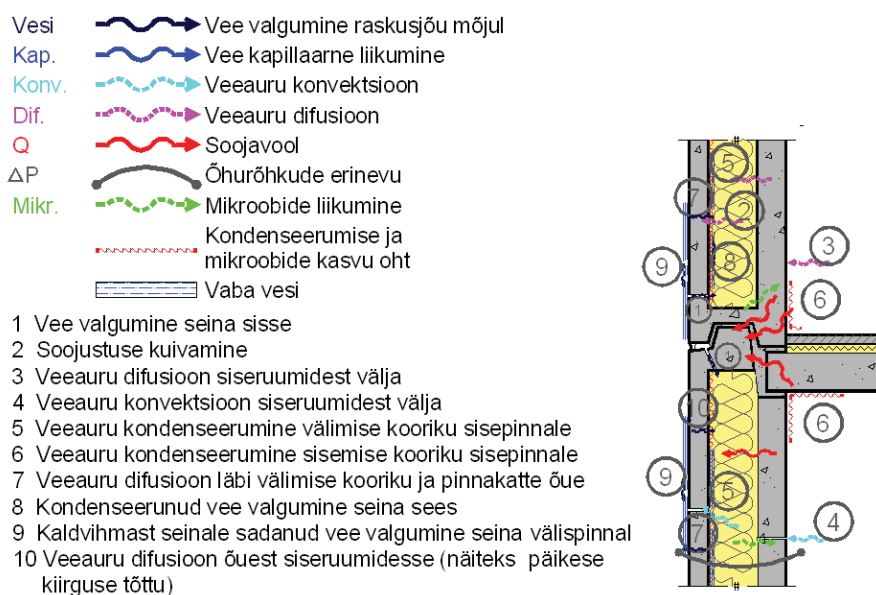
- Elamu välisseinte lisasoojustamine, mille tulemusena tõuseb betooni temperatuur ja langeb suhteline niiskus. Kuivemas keskkonnas peatub või aeglustub oluliselt armatuuri korrosioon;
- Karboniseerunud betooni uuesti leelistamine (tõenäoliselt ebaotstarbekas).

Eelistatavam on välisseinte lisasoojustamine, kuna selle tulemusena on võimalik parandada ka elamu energiatõhusust, vähendada külmasildade mõju jne. Betooni uuesti leelistamisel viiakse betooni elektrismoosi abil leeliselist vedelikku, mis leelistab uuesti neutraalse (või happelise) betooni. Uuesti leelistamist võib kasutada, kui on tegemist unikaalse fassaadiga, mida lisasoojustada ei või. Kuid tuleb arvestada, et see meetod on kallim ja mitte nii töökindel lahendus (leelistub ainult sarruse kaitsekiht, raskused on tööde kvaliteedi kontrollimisel ning mõnedel juhtudel võib leelistatud betooni külmakindlus langeda).

6 Välisseinapaneelide niiskusrežiimi arvutuslik analüüs

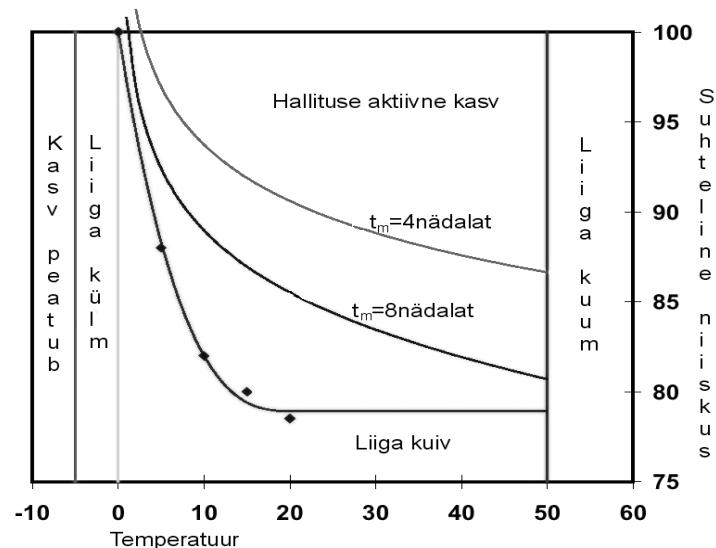
Suurpaneelilamute välissein koosneb sisemisest ja välimisest betoonist koorikplaadist ja nende vahel olevast soojustusest. Soojustuseks kasutati TEP-plaati, klaasvatti, vahtpolüstüreeni, fenoplasti jms. Sisemine ja välimine betoonkoorik olid omavahel ühendatud keramsiitbetooni valatud armatuurkarkassiga, tsementmörti valatud üksikute armatuurterasvarrastega või soojustust läbivate terassidemetega. Välisseinte kahjustuste (külmakahjustused, karboniseerumine, armatuuri korrosioon, betooni pragunemine, soojustuse märgumine jne) üheks põhjustajaks on vesi (kas auru, vee või jää kujul). Välisseinapaneelid olid valmistatud ilma tuulutavaheta, vaid vuukide juures oli tehtud avad vee väljavooluks.

Välisseinapaneelide niiskuskoormuse võib jagada ajaliselt kaheks: ehitusaegse niiskuse väljakuivamisest põhjustatud niiskuskoormus ja hoone kasutamise ajal sise- ja väliskeskonnast põhjustatud niiskuskoormus. Hoone kasutamise ajal võib niiskus välisseinapaneelis liikuda veeauruna (peamiselt õhu veeauru osarõhkudest põhjustatuna difusiooni teel, õhurõhkude erinevusest põhjustatuna koos õhu liikumisega ehk konvektsiooni teel) või veena (peamiselt kapillaarsel teel, raskusjõu mõjul), vt. Joonis 3.23. Veeauru difusiooni teel liikuvad niiskuse kogused on üldiselt väikesed, võrreldes näiteks õhu leketest põhjustatud veeauru konvektsiooni teel liikuva niiskuse hulgaga või kaldvihmast fassaadile sadanud ja seina voolanud veekogustega. Samas on tihendamisega võimalik konvektsiooni ja vee valgumist ära hoida, samas kui difusiooni protsess on püsiv.



Joonis 6.1 Välisseinapaneeli soojusliku ja niiskusliku toimivuse põhimõtteline skeem

Kaks peamist probleemi hoonepiirete niiskustehnilisel projekteerimisel on veeauru kondenseerumise ja hallituse tekke vältimine. Välisseina võib lugeda niiskuslikult toimivaiks, kui ei teki veeauru kondenseerumist, ei looda hallituse tekkeks sobivaid tingimusi või muid piiret niiskustehniliselt kahjustavaid tingimusi (näiteks materjaliomaduste oluline muutumine vms.). Veeauru kondenseerumisel on suhteline niiskus 100%. Hallituse kasvuks on soodsad tingimused, kui suhteline niiskus on üle 75...80%. Hallituse kasvuks kriitiline suhteline niiskus sõltub temperatuurist, vt. Joonis 6.2.



Joonis 6.2 Hallituse kasvuks soodsad keskkonnatingimused puidul

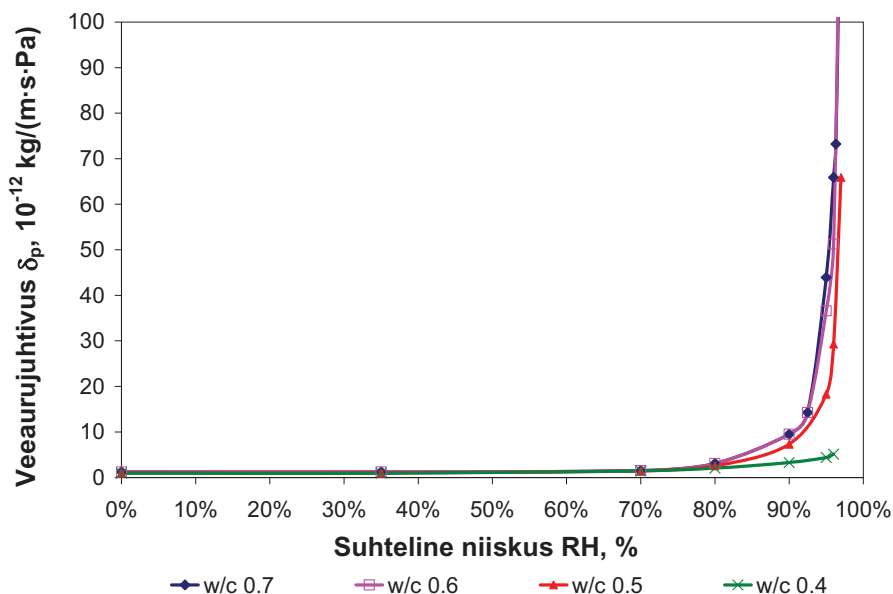
6.1 Arvutusmeetod

Välisseinapaneeli niiskusrežiimi analüüsis on kasutatud standardis EVS-EN ISO 13788:2001 "Hygrothermal performance of building components and building elements -- Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods" esitatud nn kastepunkti meetodit. See meetod on lihtsustatud välispiirde niiskusliku toimivuse analüüs, milles arvestatakse ainult niiskuse difuusse liikumisega ja selle põhimõtted on järgmised:

- väliskliimana kasutatakse niiskustehnilise baasaasta kliimaandmeid (mitte keskmisi suurus);
- vastavalt sisetemperatuuri sõltuvusele välistemperatuurist leitakse arvutuslikud sisetemperatuurid;
- vastavalt ruumide niiskuskoormusele leitakse niiskuslisa abil siseõhu veeaurusisaldus või veeauru osarõhk;
- arvutatakse piirde erinevate kihtide pinnatemperatuurid; temperatuurid arvutatakse lähtuvalt temperatuurierinevusest kahel pool piiret ja materjalide soojajuhtivustest;
- vastavalt temperatuuridele leitakse veeauru küllastussisaldused või küllastusrõhud;
- lähtuvalt aururõhkude erinevusest kahel pool piiret ja materjalide niiskusjuhtivustest arvutatakse piirde erinevate kihtide veeaurusisaldus või veeauru osarõhud;
- kui veeauru osarõhk ületab küllastusrõhu graafiku, hakkab veeaur piirdesse kondenseeruma.

6.1.1 Materjalide omadused

Niiskuse difusiooni läbi välisseinapaneeli mõjutab eelkõige betooni veeaurujuhtivus, aga ka sise- ja välispinna töötlus ja soojustuse omadused. Betooni niiskuslikud omadused, sh. veeaurujuhtivus, sõltuvad keskkonnatingimustest, vt. Joonis 6.3. Võttes väliskooriku keskmiseks suhteliseks niiskuseks 90% ja sisekooriku keskmiseks suhteliseks niiskuseks 35% näeme veeaurujuhtivuses kolmekordset (w/c 0,4) kuni seitsmekordset (w/c 0,5) erinevust, vt. Tabel 6.1. Seinä sisepinnas aurutõkkena toimivat värvi ei ole arvestatud, kuna sageli on seinad kaetud vaid tapeediga.



Joonis 6.3 Betooni veeaurujuhtivuse sõltuvus suhtelisest niiskusest ja betooni vesitsementtegurist, Hedenblad 1996

Tabel 6.1 Arvutustes kasutatud materjalide omadused (Hedenblad 1996, SNiP II-3-79)

Materjal	Soojaerijuhtivus λ , W/(m·K)	Veeaurujuhtivus δ_p , kg/(m·s·Pa).
Väliskooriku betoon	2,0	$3,3 \cdot 10^{-12}$ (w/c 0,4)... $7,3 \cdot 10^{-12}$ (w/c 0,5)
Sisekooriku betoon	2,0	$1,0 \cdot 10^{-12}$
Vahtpolüstüreen	0,04	$20 \dots 30 \cdot 10^{-12}$
Fenoplast	0,043	$64 \cdot 10^{-12}$
Klaasvatt	0,05	$150 \cdot 10^{-12}$
TEP-plaat	0,16	$75 \cdot 10^{-12}$
Lisasoojustus	0,045	$20 \dots 150 \cdot 10^{-12}$
Siseviimistlusplaat	0,2	$22 \cdot 10^{-12}$
PE-kile	-	$0,01 \cdot 10^{-12}$

6.1.2 Sise- ja väliskliima

Niiskustehnilisteks arvutusteks ei sobi keskmised kliimaandmed, vaid tuleb kasutada teatud kriteeriumi alusel valitud niiskustehniliselt kriitilisi kliimakoormusi. Seetõttu ei saa niiskustehnilisteks arvutusteks kasutada energiaarvutuste baasaastat.

Veeauru kondenseerumise ja hallituse tekke riski kontrollimiseks hoonete välispiiretes niiskustehniliste arvutuste abil on küllastusvajaku ja hallituse kasvu mudeli abil valitud kaks niiskustehniliselt kriitilist baasaastat: Väike-Maarja 1995–96 ja Väike-Maarja 1989–90 (Kalamees & Vinha 2004), vt. Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Kuu keskmised kliimaparameetrid: Väike-Maarja 1995-96 (niiskuse kondenseerumise kontrollimiseks) ja Väike-Maarja 1989-90 (hallituse tekke kontrollimiseks)

	Juuli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dets.	Jaan.	Veebr.	Märts	Aprill	Mai	Juuni
Õhutemperatuur 1995-	+15,4	+15,1	+10,4	+7,6	-1,8	-7,9	-8,3	-11,8	-3,9	+3,4	+9,4	+13,3
1996	+16,7	+14,2	+11,2	+5,2	0,0	-4,7	-3,1	+1,4	+1,4	+6,9	+9,5	+13,8
Suhteline niiskus 1989-	72	77	85	88	86	87	90	83	72	69	73	75
1990	71	84	89	89	92	89	90	91	79	65	65	70

Elamutes siseõhu niiskust tavaliselt aktiivselt ei reguleerita. Sõltuvalt ruumi kasutusotstarbest võib õhuniiskus kõikuda küllalt suurtes piirides. Siseõhu suhteline niiskus sõltub

niiskustootlusest ruumides (inimese elutegevus, toidu valmistamine, pesemine, taimede kastmine jne), ventilatsiooni toimimisest ja õhuvahetusest ning välisõhu veeaurusisaldusest, mis statsionaarsetel tingimustel:

$$v_i = v_e + \frac{g}{n \cdot V} = v_e + \Delta v, \text{ g/m}^3 \quad (6.1)$$

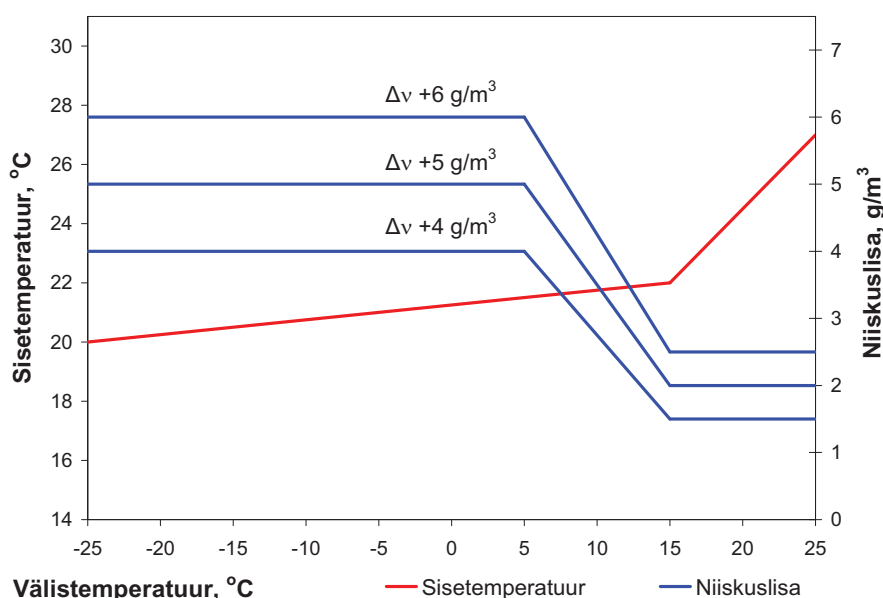
kus:

v_i	siseõhu veeaurusisaldus, g/m^3 ;
v_e	välisõhu veeaurusisaldus, g/m^3 ;
g	niiskustootlus siseruumis, g/h ;
n	ruumi õhuvahetus, $1/\text{h}$;
V	ruumi maht, m^3 ;
Δv	niiskuslisa, g/m^3 .

Läbi välispiirde toimuvale veeauru difusioonile on potentsiaalsiks sise- ja välisõhu veeauru osarõhkude või õhu veeaurusisalduste erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks, $\Delta v, \text{g/m}^3$:

$$\Delta v = v_{in} - v_{out}, \text{ g/m}^3 \quad (6.2)$$

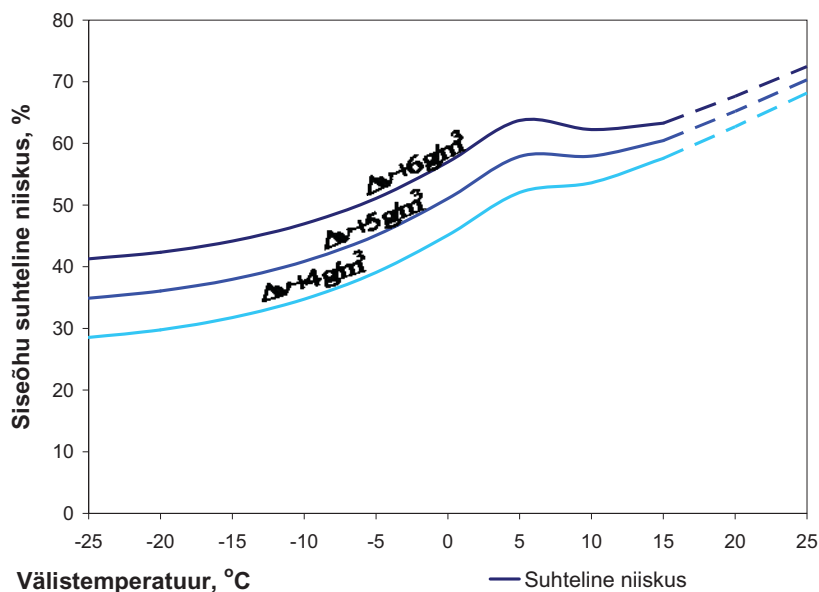
Sise- ja välisõhu veeaurusisalduste või veeaururõhkude erinevus näitab, kui palju on siseõhus rohkem niiskust kui välisõhus või kui palju on siseõhu veeauru osarõhk kõrgem kui välisõhu veeauru osarõhk. Kui hoones on suur niiskustootlus (kasutatakse palju vett, õhu niisutus, tihe asustus jne.) ja väike õhuvahetus (halb ventilatsioon), on niiskuskoormus e. niiskuslisa suur. Arvutustes on kasutatud kolme erinevat niiskuskoormuse profiili ja keskmist sisetemperatuuri profiili (vt. Joonis 6.4). Vastavalt keskmisele väliskliimale, niiskuslisa ja temperatuuri profiilidele on arvatud siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist (Joonis 6.5). Kuna sama välistemperatuuri juures võib olla erinev välisõhu suhteline niiskus, võib ka siseõhu suhteline niiskus muutuda. Vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2001 on kasutatud niiskuslisa ülekoormustegurit 1,1.



Niiskuslisa normväärtuste näited külmal perioodil:

- 4 g/m^3 : madala asustustihedusega elamud, hea ventilatsioon;
- 5 g/m^3 : suure asustustihedusega elamud, madala asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga elamud;
- 6 g/m^3 : suure asustustihedusega elamud ja halva ventilatsiooniga elamud.

Joonis 6.4 Niiskuslisa $\Delta v, \text{g/m}^3$, jaotus vastavalt erinevatele niiskuskoormuse klassidele (Kalamees 2006)



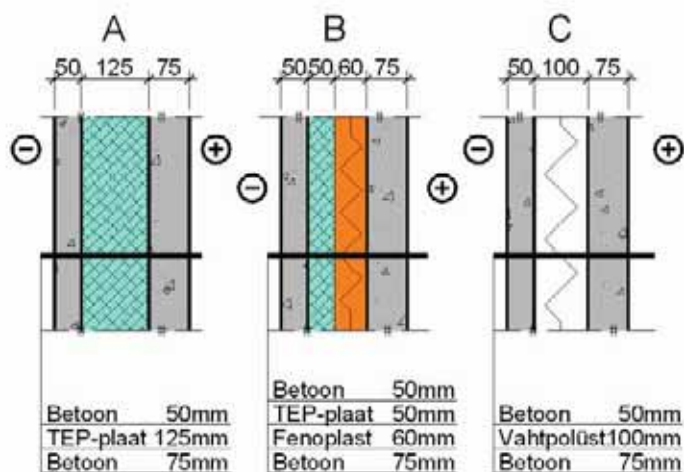
Niiskuslisa normväärtuste näited külmal perioodil:

- 4 g/m³: madala asustustihedusega elamud, hea ventilatsioon;
- 5 g/m³: suure asustustihedusega elamud, madala asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga elamud;
- 6 g/m³: suure asustustihedusega elamud ja halva ventilatsiooniga elamud.

Joonis 6.5 Keskmise siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus väliskliimast erinevatel niiskuskoormuse klassidel

6.2 Tulemused

Välisseinte niiskusrežiim on arvatud kolmele erineva soojustuse lahenduse korral: vt. Joonis 6.6.



Joonis 6.6 Analüüsitud välisseina lahendused

Arvutuslikult on kontrollitud kondenseerumise võimalikkust ja hallituse kasvuks kriitilise suhtelise niiskuse ületamist (vt. Joonis 6.2) statsioonarulukorras välise betoonkooriku sisepinnas, vt. Tabel 6.3. Tabelis on toodud kondenseerumisperioodi pikkus (sinine ruut), iga kuu kohta kuu aja jooksul kondenseerunud veeauru kogus (number sinises ruudus), kondensaadi väljakuivamise perioodi pikkus (helesinine ruut) ja ära märgitud, kas kuu keskmine suhteline niiskus ületas hallituse kasvuks soodsad tingimused (roheline ruut).

Tabel 6.3 Välisseina niiskusrežiimi arvutustulemused (sinised ruudud koos numbriga märgivad kondenseerumise perioodi ja kondenseerunud veeauru hulka, helesinised ruudud märgivad perioodi, kui kondenseerunud veeaur kuivab välja, rohelised ruudud märgivad hallituse kasvuks soodsat perioodi)

Kuu	$\Delta v = 4 \text{ g/m}^3$			$\Delta v = 5 \text{ g/m}^3$			$\Delta v = 6 \text{ g/m}^3$											
	Kondensaat g/m^2			Hallitus $\text{RH} > \text{RH}_{\text{crit}}$			Kondensaat g/m^2			Hallitus $\text{RH} > \text{RH}_{\text{crit}}$								
	Seina tüüp																	
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
Juuli																		
August				+	+	+				+	+	+						
September				+	+	+				+	+	+			+	+	+	
Oktoober				+	+	+				+	+	+			+	+	+	
November			0,8	+	+	+		4,5	5,6	+	+	+	2,6	9,6	10,5	+	+	+
Detsember	1,9	7,6	8,5				7,1	12,9	13,5				12,4	18,1	18,5			
Jaanuar	4,2	9,8	10,6				9,4	15,0	15,6				14,7	20,3	20,7			
Veebruar	3,8	8,1	8,7	+	+	+	8,5	12,8	13,2	+	+	+	13,3	17,6	17,7	+	+	+
Märts															0,4	+	+	+
Aprill																		
Mai																		
Juuni																		

Arvutustulemustest on näha, et veeauru kondenseerumist on oodata 3-4 kuul aastas. Kondensaadi väljakuivamine kestab 2-3 kuud. Siiski on kondenseerunud veeauru kogused väikesed. Erinevalt puittarinditest on betoontarindid veeauru kondenseerumise suhtes tolerantsemad. Saksa standard DIN 4108-3 aktsepteerib kondensaati kuni $0,5 \text{ kg/m}^2$ ja eeldab kondensaadi kiiret väljakuivamist. Tuleb siiski arvestada, et materjalide kõrge niiskussisaldus muudab materjalide omadusi (soojajuhtivust, tugevus, niiskusjuhtivus jne.), suurendab materjalide mahumuutust, vähendab materjalide kestvust ja hoone tervislikkust (mädanik, hallitus, korrosioon). Kondensaadi tekke korral suurenevad need mõjud hüppeliselt. Kondenseerumisel võib niiske betoon niisutada teisi temaga kontaktis olevaid materjale. Seetõttu tuleb tarindite juures igati vältida kondensaadi või liiga kõrge niiskustaseme teket.

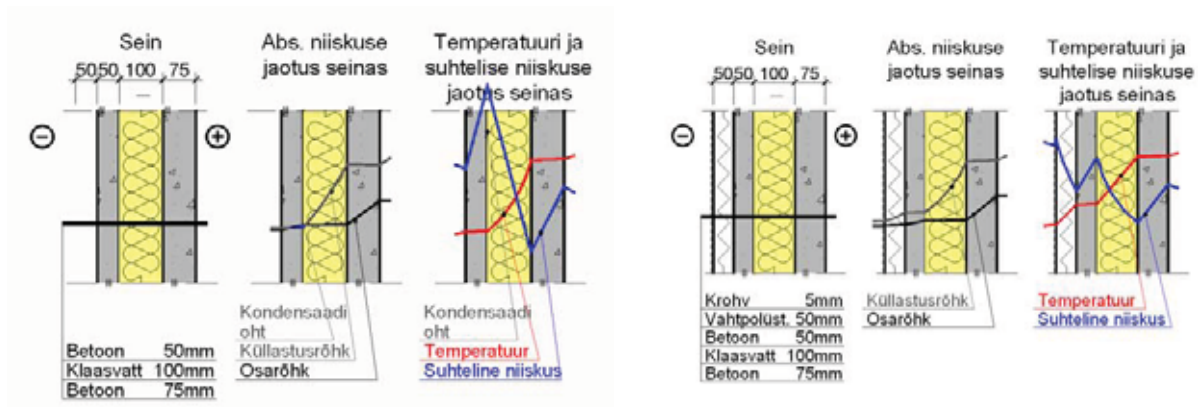
Kuigi vahtpolüstüreen on analüüsitud soojustusmaterjalidest kõige veeaurutihedam, on ta ka kõige soojapidavam. See langetab temperatuuri väliskooriku sisepinnal ja suurendab kondensaadi riski. Kui läbi seinu liikuv soojavool on väike, siis see pikendab ka niiskuse väljakuivamise perioodi.

Mida suurem on ruumide niiskuskoormus, seda suurem on kondensaadi või hallituse tekke risk. Sama niiskustootluse juures on siseruumide niiskuskoormust võimalik vähendada ruumide parema ventileerimisega.

6.3 Põhimõttelised renoveerimislahendused välisseinte niiskusrežiimi parandamiseks

Seinasisese kondensaadi tekke riski vähendamiseks, vt. Joonis 6.7 (vasakul), on otstarbekaim lahendus seinte lisasoojustamine. Kõige kriitilisemas olukorras (seinasisene soojustus 100 mm klaasvatti (suur veeaurujuhtivus ja soojatakistus), lisasoojustuseks vahtpolüstüreen (suur veeaurutakistus)), aitab 50 mm paksune lisasoojustus seinasisese kondensaadi tekke riski vähendada, vt. Joonis 6.7 (paremal). Joonisel on näha, et lisasoojustamise tagajärjel tõuseb seinapaneeli temperatuur, mis toob kaasa küllastusrõhu tõusu ja suhtelise niiskuse languse. Joonisel on kujutatud kuu keskmine statsionaarolukord. Kuu külmematel päevadel on veeauru kondenseerumine võimalik, kas või juba temperatuuri languse tõttu. Seetõttu on turvalisem kasutada $\geq 10 \dots 15 \text{ cm}$ paksust soojustust.

Lisasoojustamise korral langeb väliskooriku suhteline niiskus keskmiselt 55% tasemele see toob endaga kaasa betooni väljakuivamise. Betooni niiskussisaldus langeb ~70...140 kg/m³ juurest ~45 kg/m³ juurde. 5 cm paksuse betoonplaadi juures tähendab see, et iga ruutmeetri seina kohta kuivab välja ~1,3...5 kg vett. Vee kogus on suurem, kui sein on märgunud näiteks kaldvihma mõjul. Võrdluseks võib tuua, et külmimal kuul liigub läbi sein kuni 0,5 kg veeauru. Seega tuleb arvestada, et pärast lisasoojustamist satub sein kõrgema niiskuskoormuse alla. Suurpaneelilamute välisseinte lisasoojustamisega seotud niiskuslikud riskid ongi seotud eelkõige soojustamisjärgsel perioodil vana seina niiskuse väljakuivamisega.



Joonis 6.7 Temperatuuri ja niiskuse jaotus lisasoojustamata (vasakul) ja lisasoojustatud välisseinas (paremal)

Seina ja katuslage seestpoolt lisasoojustada ei või.

7 Külmasillad

Külmasildu st kohti, mille soojajuhtivus on lokaalselt suurem, võib leida igast hoonest. Külmasillad võivad olla geomeetrilised (välisseina nurk, põrand ja välisseina liitumine, katuslae ja välisseina liitumine jne) või ehitustehnilised (välisvoodri sidemed, läbiviigud tarinditest jne). Sisetemperatuuri lokaalset alanemist võivad põhjustada ka vead soojustuse paigalduses, soojustuse puudumine, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhutõkke lekked ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus. Külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis mitmel põhjusel:

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

Kuna välispiirete (välisseinte, põrandate ja katuste) soojakaod arvutatakse vastavalt välispiirdeosa soojajuhtivusele ja sisemõõtudega arvutatud pindalale, tuleb nurkade (välissein-välissein, põrand-välissein ja katuslagi-välissein) lisasoojakaod võtta eraldi arvesse geomeetriliste joonkülmasildade lisakonduktantsidega. Lisakonduktants on soojakadu vattides läbi külmasilla, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. Ka muud võimalikud tarinditest tulenevad külmasillad (nt. akna seinakinnituse sõlm, jäigastussidemed, müüriankrud) võetakse arvesse vastava külmasilla lisakonduktantsiga. Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne konduktants keskmiseks välispiirde soojajuhtivuseks, jagades välispiirde summaarse konduktantsi vastavalt kasutatava arvutustarkvara reeglitele määratud välispiirde pindalaga.

7.1 Meetodid

7.1.1 Külmasildade kriitiline tase

Külmasillast põhjustatud madalama sisepinna temperatuuri kriitilisuse määrab sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavaheline suhe, e. temperatuuriindeks, f_{Rsi} : (Hens 1990, EVS-EN ISO 13788:2001, vt. valem 7.1)

$$f_{Rsi} = \frac{t_{sin} - t_{out}}{t_{in} - t_{out}} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (7.1)$$

kus:

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

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

Temperatuuriindeksi piirarvu kriitilisuse määravad eelkõige:

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

Sõltuvalt piirdetarindi toimivuse kriteeriumist, väliskliimast ja niiskuskroomusest on erinevates riikides kehtestatud erinevad piirsuurused temperatuuriindeksile (vt. Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Erinevate maade temperatuuriindeksi piirväärtusi

Maa	Temperatuuriindeksi piirsuurus f_{Rsi} -	Toimivuse kriteerium
Soome	$\geq 0,87$ (sein)	Hea tase (uued hooned, kondensaadi vältimine)
	$\geq 0,97$ (põrand)	
	$\geq 0,65$ (lokaalsed külmasillad)	
	$\geq 0,81$ (sein)	
	$\geq 0,87$ (põrand)	
Belgia	≥ 61 (lokaalsed külmasillad)	Rahuldav tase (min. tase olemasolevatele hoonetele, kondensaadi vältimine)
	$\geq 0,70$ (norm. elamistihedus)	Pinnakondensaadi vältimine
Prantsusmaa	$> 0,52$ (Δv 2.5...5g/m ³)	Pinnakondensaadi vältimine
Saksa	$> 0,70$ ($t_{in}+20^{\circ}\text{C}$, RH_{in} 50 %, t_{out} -5 °C)	Hallituse vältimine
Holland	$\geq 0,65$ (uued hooned)	Hallituse vältimine
	$>0,73$	
Rootsi	$\geq 0,63$ (norm. elamistihedus)	Hallituse vältimine
	$\geq 0,80$ (suur elamistihedus)	
Šveits	$\geq 0,75$	
Poola	$> 0,77...0,81$ (elamud)	
Portugal	$> 0,64...0,83$ (keskmise niiskuskroomus)	
Inglismaa	$\geq 0,75$ (elamud)	Hallituse ja pinnakondensaadi vältimine
	$\geq 0,80$ (köögid)	

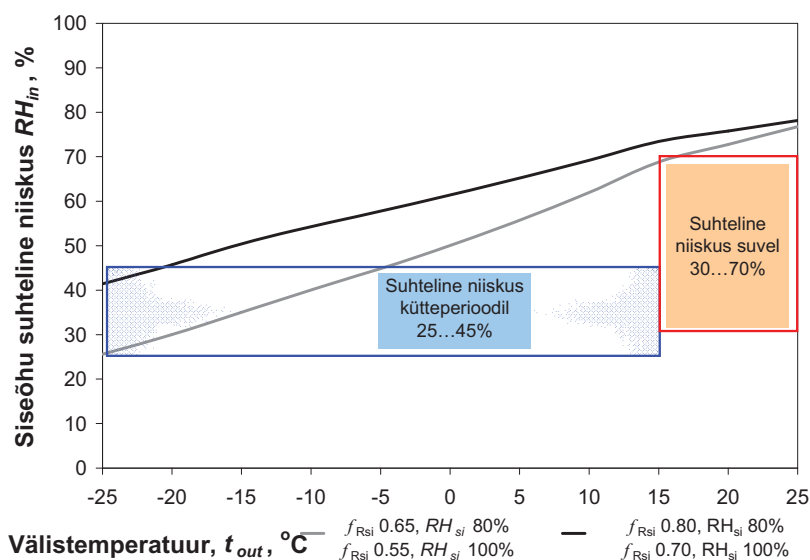
Eestis on elamute külmasildade hindamiseks kasutatava temperatuuriindeksi piirväärtused välja arvatud kuue linna (Tallinn, Pärnu, Kuressaare, Väike-Maarja, Tartu ja Võru) väliskliima, ajavahemikus 1970...2000, ja elamutes mõõdetud niiskuskroomuste põhjal (Kalamees 2006). Toimivuse kriteeriumiks on seatud hallituse tekke (pinna suhteline niiskus pikaajaliselt üle 80%) ja veeauru kondenseerumise vältimine (pinna suhteline niiskus lühiajaliselt 100%).

Kui ruumides on niiskuskroomus suurem, peavad hoonepiirde ja külmasillad olema paremini soojustatud (vt. Tabel 7.2). Valdavalt tuleb kasutada hallituse tekke vältimise kriteeriumit. Kui näiteks akendel aktsepteeritakse lühiajaliselt veeauru kondenseerumist, võib kasutada ka kondenseerumise vältimise kriteeriumit. 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 väljatõmbeventilatsioon + ebapiisav arv värskeõhuklappe), siis näeb õhulekkekohtade mõju pinnatemperatuurile ka ilma täiendava alarõhu tekitamiseta.

Tabel 7.2 Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused

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

Piirdetarindite ja külmasildade temperatuuriindeks määrab ka selle, kui kõrgeks võib tõusta siseõhu suhteline niiskus, ilma et veeaur kondenseeruks külmasillale või sinna tekiks soodus keskkond hallituse kasvuks (vt. Joonis 7.1). Jooniselt on näha, et kui ei ole selgelt tõestatud madalam niiskukoormus, või kui siseõhu suhteline niiskus võib talvel tõusta kuni 45%, tuleb kasutada temperatuuriindeksi piirväärtust $f_{Rsi} \geq 0,8$.



Joonis 7.1 Siseõhu suhtelise niiskuse ja temperatuuriindeksi vaheline sõltuvus erinevatel välisõhu temperatuuridel

7.1.2 Termograafia rakendused ehituses

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

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

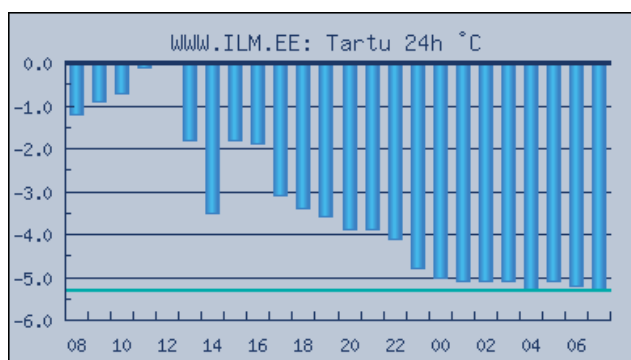
- määrata hoonepiirete pinnatemperatuuride ebaühtlust, mis viitab soojajuhtivuse ja niiskussisalduse ebaühtlusele;
- hinnata erinevate pinnatemperatuuride alusel, kui palju erineb hoonepiirete soojajuhtivus;
- leida õhulekkekohti ja hinnata nende suurust, tehes termograafilised mõõtmised normaaltingimustes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

Termograafia abil ei saa määrata hoonepiirete soojajuhtivust.

Keskkonnatingimuste mõju mõõtetulemustele ning sisepinnatakistuse hindamise ebatäpsus on selleks liiga suur. Termokaamera abil mõõdetakse vaid hetkelist pinnatemperatuuri. Termograafilise mõõtmise õnnestumise eeldus on:

- kvaliteetsed mõõteriistad,
- kogenud mõõtja,
- termopiltide korrektne tõlgendus.

Uurimistöös kasutati FLIR Systems E320 – termokaamerat (mõõtevahemik $-20\text{ °C} \dots +500\text{ °C}$, tundlikkus: $0,10\text{ °C}$, mõõtmistäpsus: $\pm 2\text{ °C}$, $+2\%$ (kordusmõõtmisel: $\pm 1\text{ °C}$, $+1\%$), sensor: 320×240 pikslit). Termograafilised mõõtmised tehti kahes etapis: esmalt elamu tavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekke mõju normaalingimustes) ja seejärel samadest kohtadest uuesti, kui elamu on min. 30 minutit olnud 50 Pa alarõhu tingimustes (et leida õhulekked). Läbi õhulekkekohtade hoonesse sisenenud külm välisõhk jahutas piirde sisepinda. Temperatuuride erinevus kahe termopildi vahel viitab õhulekkele. Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri taotluslik erinevus $>20\text{ °C}$. Lisaks mõõtmisaegsele sise- ja välistemperatuurile on ka äärmiselt oluline, et mõõtmisele eelnevalt oleks selline temperatuuride vahe ühtlaselt püsinud. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi või ilm.ee kodulehelt saab kerge vaevaga ülevaate eelmise ööpäeva välistemperatuuridest.



Joonis 7.2 Mõõtmisperiodile eelneva ööpäeva välistemperatuuri suurused.

Paremini soojustatud piirete sisetemperatuur on kõrgem ja seetõttu on kõrgem ka temperatuurindeks. Külmasilla juures on sisepinna temperatuur madalam, mistõttu on seal suhteline niiskus kõrgem. Kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada mikroorganismide kasvu (vt. Joonis 7.3).



		Sisepinnatemperatuur	Temperatuurindeks
Välistemperatuur	$+3\text{ °C}$	Sp1 $15,9\text{ °C}$	$f_{Rsi\ Sp1}$ 0,86
Sisetemperatuur	$+18\text{ °C}$	Sp2 $10,1\text{ °C}$	$f_{Rsi\ Sp2}$ 0,47
		Sp3 $11,8\text{ °C}$	$f_{Rsi\ Sp3}$ 0,59

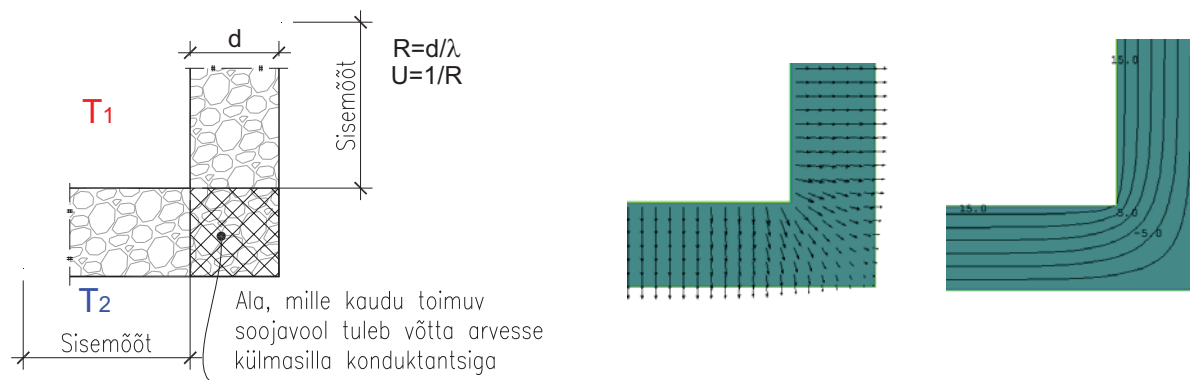
Joonis 7.3 Termograafia kasutamine pinnatemperatuuride mõõtmisel ja nende kriitilisuse hindamisel.

7.1.3 Külmasildade hindamine temperatuurivälja arvutusprogrammiga

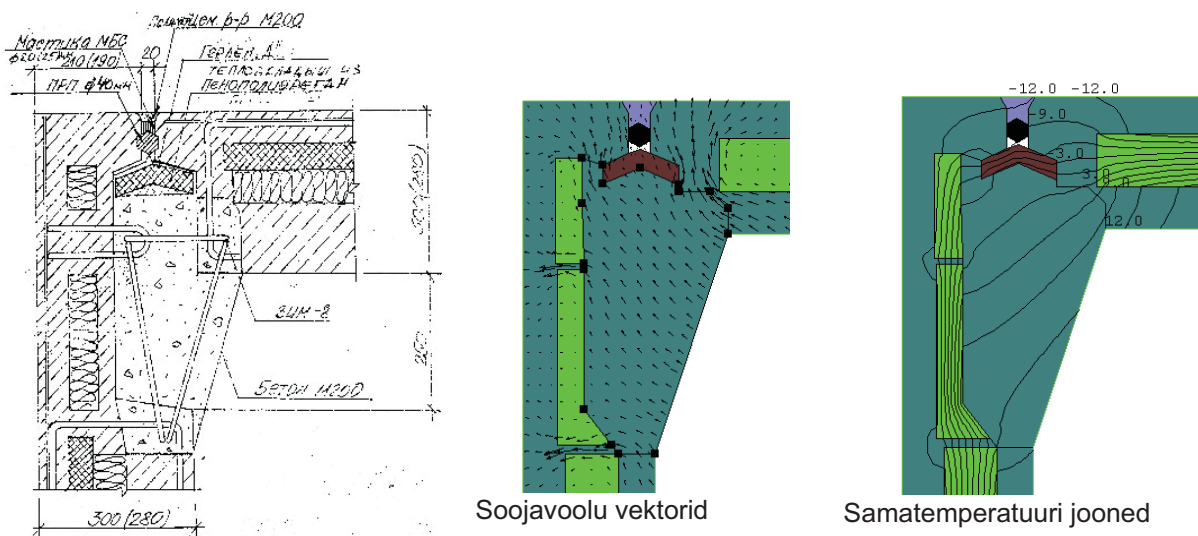
Külmasilla temperatuurivälja arvutuse abil saab:

- hinnata külmasilla kriitilisust;
- määrata külmasilla konduktantsi suurust, mis on oluline ;

Külmasilla kriitilisust saab hinnata arvutusliku temperatuurindeksi abil. Külmasilla konduktants on oluline info hoone soojakadude hindamiseks. Kuna soojakadusid hinnatakse piirdetarindite sisemõõtude järgi, ei saa soojakadusid hinnata näiteks ilma välisnurkade külmasildasid arvestamata (vt. Joonis 7.4). Lisaks geomeetrilisele külmasillale võib külmasild olla põhjustatud ka tarindit läbivatest sidemetest (vt. Joonis 7.5).



Joonis 7.4 Geomeetriline külmasild välisseina välisnurgas



Joonis 7.5 Suurpaneelilamute välisseinanurga konstruktsioonist tingitud külmasild

Käesolevas uuringus on kasutatud temperatuurivälja programmi THERM 6.1. Arvutustes määrati kõikidele pindadele temperatuurid ja soojatakistused (vt. Tabel 7.3) ning materjalidele soojaerijuhtivused (vt. Tabel 7.4). Liitekohta genereeritud võrgustiku abil arvutati sooja vool läbi tarindite liitekohtade, arvestades erinevate materjalide omadusi ning nende materjalide paiknemist nendes liitekohtades.

Tabel 7.3 Arvutustes kasutatud sisepinnatakistuste suurused

	Soojavoolu suund		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein)	Alla (põrand)
R_{si} , (m ² ·K)/W (külmasilla konduktantsi 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 üladas)	0,25
R_{se} , (m ² ·K)/W	0,04	0,04	0,04

Külmasilla konduktantsi arvutustes ja külmasilla temperatuuriindeksi arvutustes on kasutatud erinevaid sisepinnatakistuste suuruseid, sest energiaarvutus (külmasilla konduktants) 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 soovib kasutada järgmisi sisepinna takistusi:

- aknaklaas 0,13 (m²·K)/W;
- ruumi ülemine osa 0,25 (m²·K)/W;
- ruumi alumine osa 0,35 (m²·K)/W;
- piirde pind, mis on kapi taga 0,5 (m²·K)/W.

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

- aknaklaas 0,13 (m²·K)/W;
- ruumi ülejäanud osad 0,25 (m²·K)/W.

Tabel 7.4 Arvutustes kasutatud materjalomadused

Materjal	Soojajuhtivus λ , W/(m·K)
Raudbetoon (tihedalt armeeritud)	2
Tasandusvalu	1,8
Puit	0,14
Vahtpolüstüreen	0,04
TEP-plaat	0,16
Fenoplast	0,043
Klaasvatt	0,07
Lisasoojustus	0,04
Mastiks	0,25

7.2 Tulemused

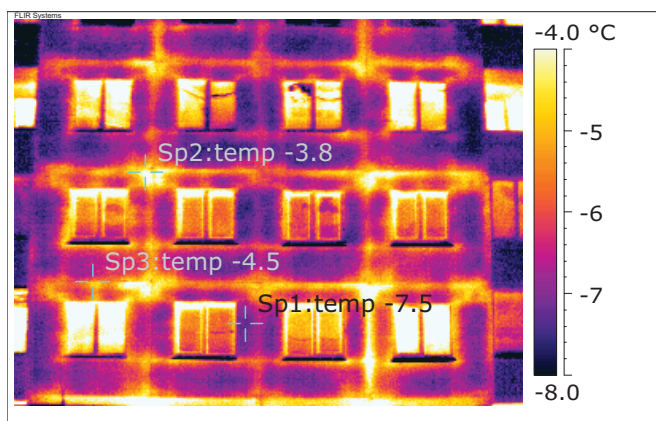
7.2.1 Termograafia mõõtmistulemused

Termografeerimine viidi läbi 13 uuritavas elamus. Termografeerimised viidi läbi nii hoone seestpoolt, kui väljastpoolt. Seestpoolt termografeerimine võimaldab hinnata külmasildade kriitilisust. Väljastpoolt termografeerimine võimaldab visualiseerida külmasildade ulatust ja peamisi paiknemiskohti. Termografeerimise tulemused näitasid, et põhilised soojalekkekohad raudbetoonpaneelilamutel on:

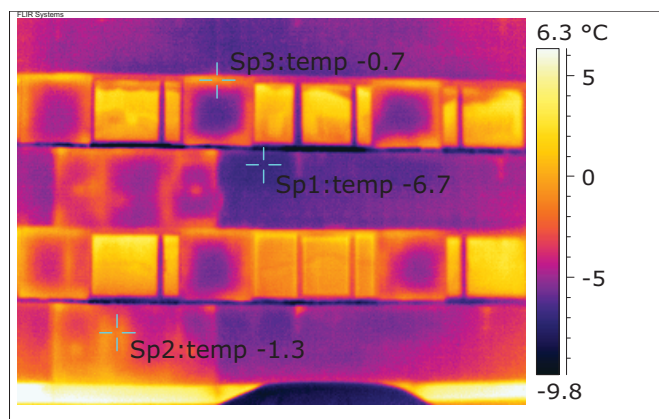
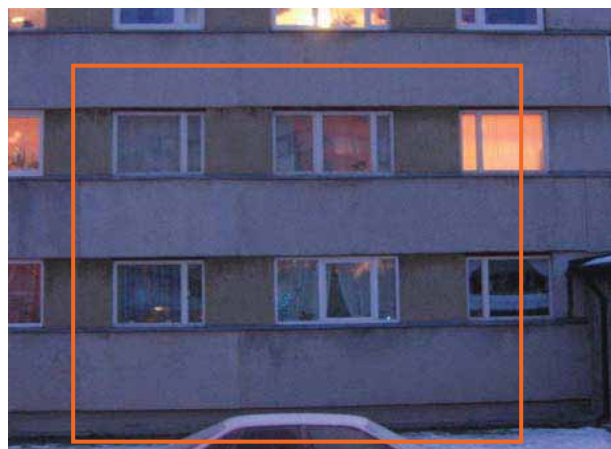
- välisseinapaneelide omavahelised liitekohad (nii vertikaalsed kui horisontaalsed vuugid);
- rõdu või lodža liitekoht välisseinaga;
- välisseina (eriti otsaseina) ja katuslae liitekoht;
- välisseinapaneelide sisemise ja välimise kihi sidemed;
- soklipaneelid.

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

Väljastpoolt tehtud termopilte erinevatel hoonetüüpidel vt. Joonis 7.6, Joonis 7.7, Joonis 7.8, Joonis 7.9. Külmasillad on põhjustatud peamiselt suurpaneelilamute konstruktsioonilistest iseärasustest. Välisseina välimise ja sisemise paneeli omavaheline kinnitus tüüpseeriade 111-133 ja 464 korral on esitatud Joonis 7.10-l.

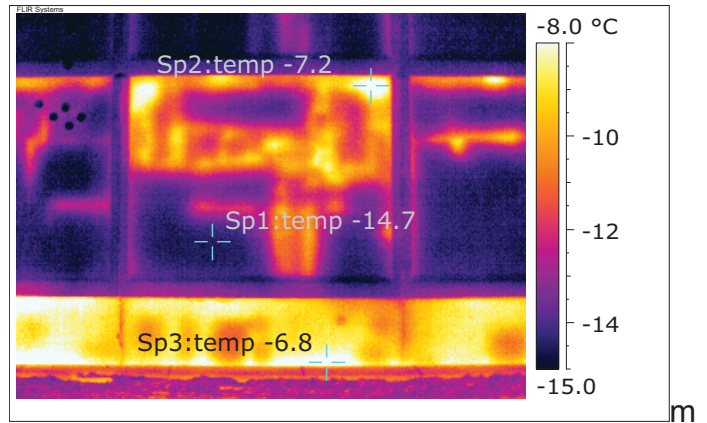
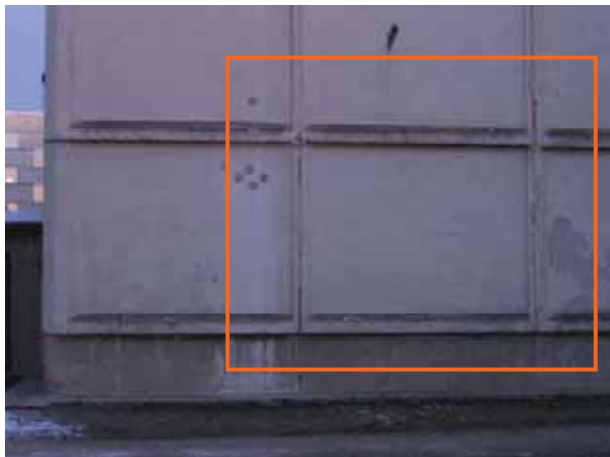


Joonis 7.6 Suurpaneelilamute tüüpseeria 121 pikisein

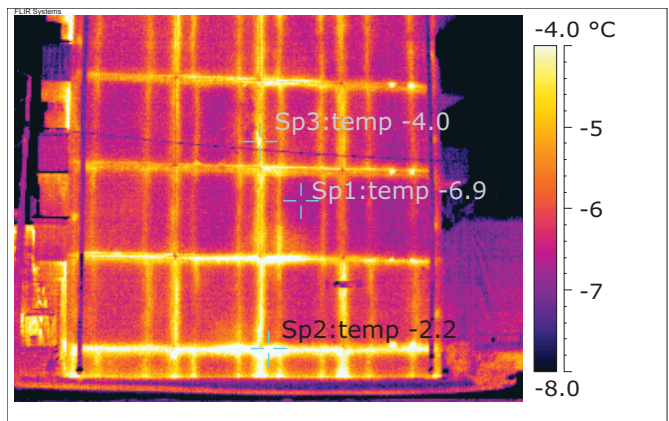


Joonis 7.7 Suurpaneelilamute tüüpseeria 111-133 pikisein

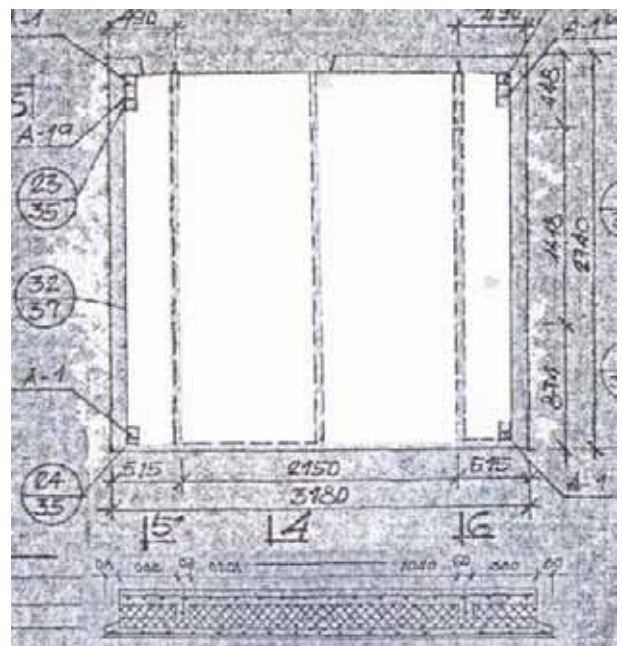
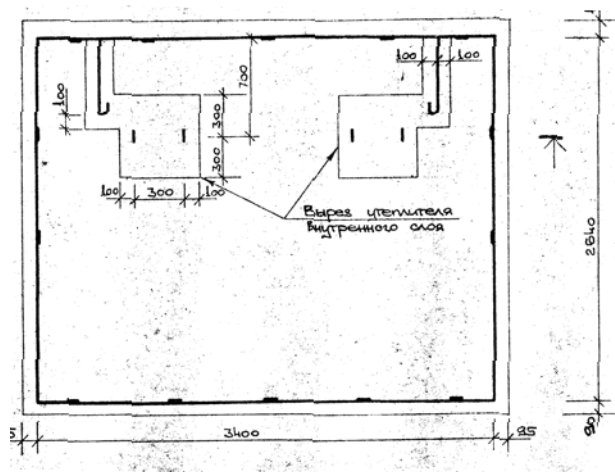
Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga



Joonis 7.8 Suurpaneelilamute tüüpseeria 111-133 otsasein

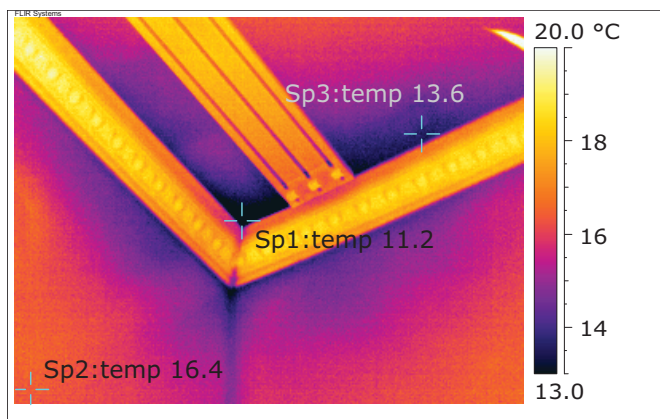


Joonis 7.9 Suurpaneelilamute tüüpseeria 464 otsasein

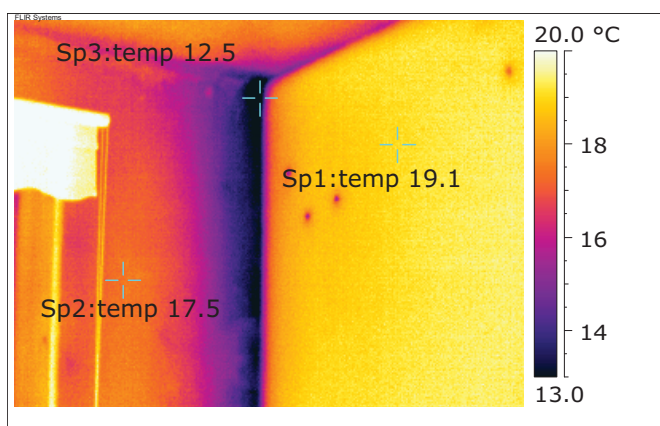
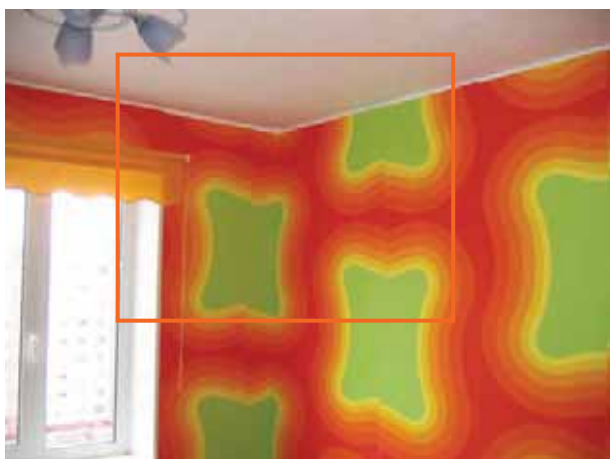


Joonis 7.10 Suurpaneelilamute tüüpseeriade 111-133 (vasakul) ja 464 (paremal) otsaseinte konstruktsioon

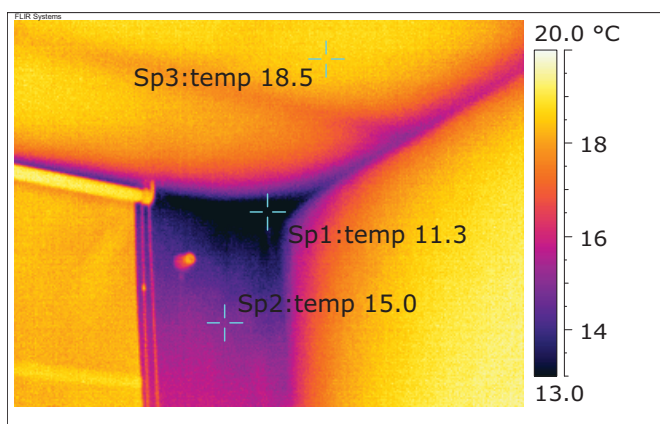
Paljudes korterites esines külmasildade sisepinnal hallituse kasvu. Eriti ulatuslik oli hallituse kasv lae (eriti katuslae) ja välisseina (eriti otsaseina) liitekohas (vt. Joonis 7.11, Joonis 7.12, Joonis 7.13, Joonis 7.14).



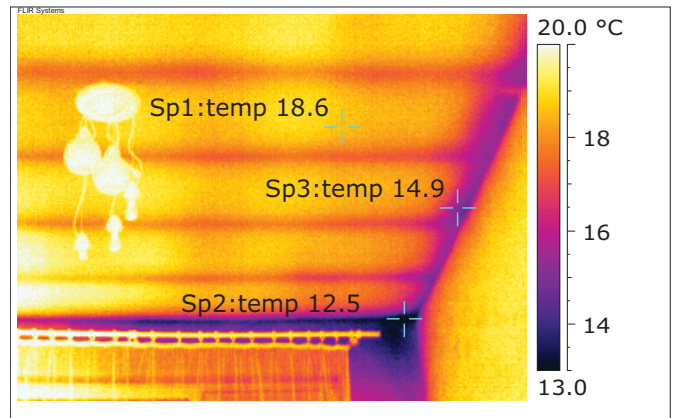
Joonis 7.11 Hallituse kasv suurpaneelilamute tüüpseeria 111-133 otsaseina ja katuslae liitekohas oleval külmasillal



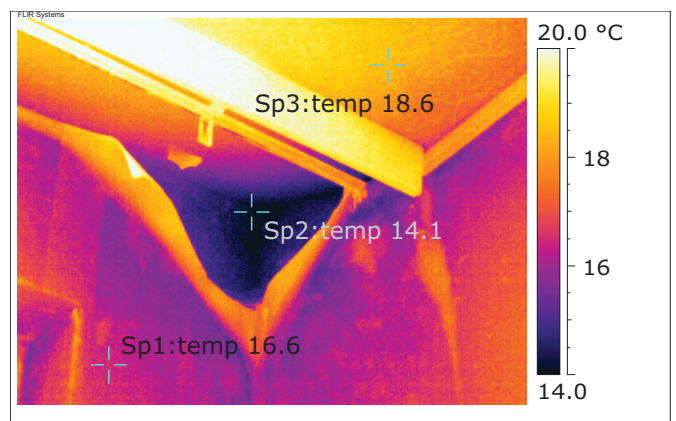
Joonis 7.12 Hallituse kasv venemaa suurpaneelilamute tüüpseeria otsaseina ja katuslae liitekohas oleval külmasillal (parempoolne sein on välissein, mis on seestpoolt lisasoojustatud).



Joonis 7.13 Hallituse kasv suurpaneelilamute tüüpseeria 464 pikiseina ja katuslae liitekohas oleval külmasillal.

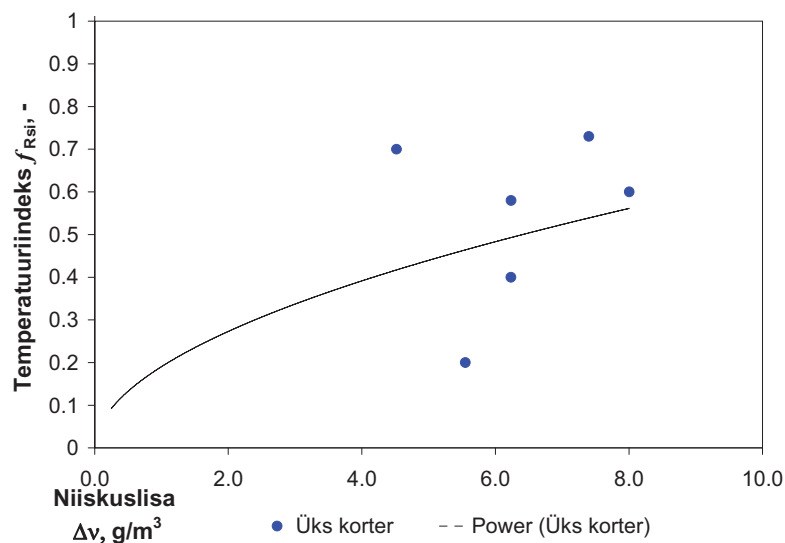


Joonis 7.14 Hallituse kasv suurpaneelilamute tüüpseeria 464 pikiseina ja katuslae liitekohas oleval külmasillal. Tulenevalt katuslae suurest soojajuhtivusest joonistuvad katuslae külmasillad hästi välja.



Joonis 7.15 Hallituse kasv suurpaneelilamute tüüpseeria 121 otsaseina ja katuslae liitekohas oleval külmasillal.

Kuues korteris, kus tehti termograafilised mõõtmised oli külmasildadel ka visuaalselt tuvastatav hallituse kasv. Külmasilla temperatuurindeksi ja korteri talveperioodi niiskuslisa võrdlus (vt. Joonis 7.16) näitab trendi, et mida kõrgem on niiskuskoormus, seda väiksema külmasilla juures on hallituse kasv võimalik.



Joonis 7.16 Külmasilla temperatuurindeksi ja korteri talveperioodi niiskuslisa võrdlus

7.2.2 Arvutustulemused

Lisaks termograafiales keskenduti käesolevas uuringus ka arvutuslikule analüüsile, sest:

- suurpaneelilamute energiaarvutuste jaoks ei ole olemas külmasilla konduktantside suurusi;
- infrapuna termograafia mõõtmisel on ääritingimuste mõju mõõtetulemuse täpsusele liiga suur.

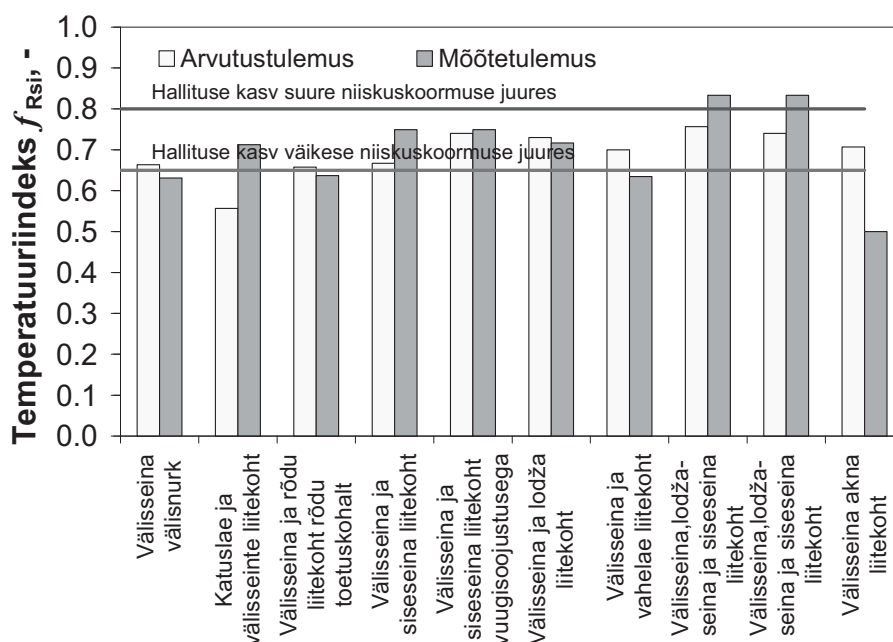
Arvutustes keskenduti kolmele peamisele välisseinapaneeli lahendusele:

- 125 mm TEP-plaadist soojustus;
- 50 mm TEP-plaadist soojustus + 60 mm fenoplastist soojustus;
- 100 mm vahtpolüstüreenist soojustus.

Analüüsiti järgmiseid liitekohti:

- Välisseina välisnurk;
- Välisseina välisnurk vahelae tasapinnas;
- Katuslae ja välisseina liitekoht;
- Välisseina ja rõdu liitekoht rõdu toetuskohalt;
- Välisseina ja sokli liitekoht;
- Välisseina ja siseseiina liitekoht;
- Välisseina ja siseseiina liitekoht (vuugi soojustusega);
- Välisseina, lodža seina ja siseseiina liitekoht;
- Välisseina, lodža seina ja siseseiina liitekoht (vuugi soojustusega);
- Välisseina ja lodža liitekoht;
- Välisseina ja vahelae liitekoht;
- Välisseina ja vahelae liitekoht (ühepoolse soojustusega);
- Välisseina akna liitekoht (soojustatud ja soojustamata pale).

Eelnevalt kontrolliti mõõtetulemuste ja arvutustulemuste kokkulangevust, vt Joonis 7.17. Arvutuslike ning mõõdetud temperatuuriindeksite suuruste erinevus on väike ja tuleneb eelkõige ehitatud lahenduse ja projektlahenduse erinevusest ning reaalistest materjali omadustest (arvutustes on lähtutud keskmistest suurustest või väikese varuga tagavara kasuks). Joonisel olevad kaks horisontaaljoont näitavad hallituse kasvu piirsuurusi: väikese niiskuskooormuse korral $f_{Rsi} > 0,65$, suure niiskuskooormuse korral $f_{Rsi} > 0,8$. Need kaks piirsuurust näitavad ilmekalt, et olemasoleva sisekliima korral on hallituse tekkimine suurpaneelilamute külmasildadel paratamatus. Sisekliima olulise parandamise korral (tõhustatud ventilatsioon, korralik kütte) on võimalik riski vähendada teatud sõlmede juures. Kompleksne lähenemine eeldab siiski lisaks tõhustatud ventilatsioonile ja korralikule küttele ka piirete lisasoojustamist.



Joonis 7.17 Temperatuuriindeksite mõõtetulemuste ja arvutustulemuste võrdlus

Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

Tabel 7.5 Arvutuslikud raudbetoon-suurpaneelilamute temperatuurindeksi suurused (ümardatud 0,05 täpsuseks)

Külmasilla asukoht	Lisasoojustuse paksus	Seina olemasolev soojustus		
		TEP-plaat, 125 mm	TEP-plaat, 50 mm + fenoplast, 60 mm	Vahtpolüstüreen, 100 mm
Välisseina välisnurk	Lisasojustamata piire	0,6	0,65	0,7
	50 mm	0,8	0,85	0,85
	100 mm	0,9	0,9	0,9
	150-200 mm	0,9	0,9	0,9
Välisseina välisnurk vahelae tasapinnas	Lisasojustamata piire	0,55	0,5	0,55
	50 mm	0,8	0,8	0,8
	100 mm	0,8	0,85	0,85
	150-200 mm	0,9	0,9	0,9
Välisseina ja siseseina liitekoht	Lisasojustamata piire	0,65	0,65	0,7
	50 mm	0,9	0,9	0,9
	100 mm	0,9	0,9	0,9
	150-200 mm	0,95	0,95	0,95
Välisseina, lodža seina ja siseseina liitekoht	Lisasojustamata piire	0,65	0,7	0,7
	50 mm	0,75	0,75	0,75
	100 mm	0,8	0,8	0,8
	150-200 mm	0,85	0,85	0,85
Katuslae ja välisseinte liitekoht	Lisasojustamata piire	0,55	0,55	0,6
	50 mm	0,65	0,65	0,65
	100 mm	0,65	0,65	0,65
	150-200 mm	0,65	0,65	0,65
Välisseina ja rõdu liitekoht rõdu toetuskohalt (põranda nurk)	Lisasojustamata piire	0,6	0,65	0,65
	50 mm	0,75	0,75	0,75
	100 mm	0,8	0,8	0,8
	150-200 mm	0,85	0,8	0,8
Välisseina ja lodža liitekoht rõdu toetuskohalt (põranda nurk)	Lisasojustamata piire	0,7	0,7	0,75
	50 mm	0,8	0,8	0,8
	100 mm	0,85	0,85	0,85
	150-200 mm	0,85	0,85	0,85
Välisseina ja vahelaeliitekoht (põranda nurk)	Lisasojustamata piire	0,65	0,65	0,65
	50 mm	0,9	0,85	0,85
	100 mm	0,9	0,9	0,9
	150-200 mm	0,95	0,9	0,9
Välisseina akna liitekoht (lisa-soojustamata pale)	Lisasojustamata piire	0,7	0,7	0,7
	50 mm	0,75	0,75	0,75
	100 mm	0,8	0,75	0,75
	150-200 mm	0,8	0,75	0,75
Välisseina akna liitekoht (lisa-soojustatud pale)	Lisasojustamata piire	0,70	0,7	0,7
	50 mm	0,9	0,8	0,8
	100 mm	0,9	0,85	0,85
	150-200 mm	0,9	0,85	0,85

Tabel 7.6 Arvutuslikud raudbetoon-suurpaneelilamute külmasildade konduktantside suurused

Külmasilla asukoht	Lisasoojustuse paksus	Seina olemasolev soojustus		
		TEP-plaat, 125 mm	TEP-plaat, 50 mm + fenoplast, 60 mm	Vahtpolüstüreen, 100 mm
Välisseina välisnurk	Lisasojustamata piire	0,83	1,45	1,17
	50 mm	0,32	0,58	0,52
	100 mm	0,21	0,36	0,34
	150-200 mm	0,16	0,27	0,26
Välisseina välisnurk vahelae tasapinnas	Lisasojustamata piire	1,14	1,87	1,82
	50 mm	0,56	0,63	0,67
	100 mm	0,35	0,39	0,42
	150-200 mm	0,26	0,28	0,30
Välisseina ja siseseina liitekoht (vuugisoojustuseta/vuugisoojustusega)	Lisasojustamata piire	0,79/0,54	0,98/0,70	1,03/0,76
	50 mm	0,11/0,09	0,21/0,17	0,26/0,22
	100 mm	0,04/0,04	0,10/0,08	0,13/0,11
	150-200 mm	0,03/0,03	0,05/0,05	0,08/0,08
Välisseina, lodža seina ja siseseina liitekoht (vuugisoojustuseta/vuugisoojustusega)	Lisasojustamata piire	0,76/0,50	0,91/0,70	1,12/0,75
	50 mm	0,63/0,49	0,67/0,50	0,78/0,53
	100 mm	0,60/0,46	0,61/0,48	0,68/0,48
	150-200 mm	0,56/0,47	0,47/0,45	0,61/0,46
Katuslae ja välisseinte liitekoht	Lisasojustamata piire	0,45	0,79	0,49
	50 mm	0,43	0,52	0,40
	100 mm	0,45	0,49	0,40
	150-200 mm	0,52	0,48	0,40
Välisseina ja rõdu liitekoht rõdu toetuskohalt (soojustusribata/soojustusribaga)	Lisasojustamata piire	0,71/0,54	0,91/0,73	0,76/0,77
	50 mm	0,58/0,47	0,61/0,52	0,65/0,57
	100 mm	0,54/0,46	0,54/0,47	0,55/0,48
	150-200 mm	0,48/0,44	0,48/0,43	0,49/0,43
Välisseina ja lodža liitekoht	Lisasojustamata piire	0,40	0,61	0,66
	50 mm	0,38	0,44	0,45
	100 mm	0,38	0,41	0,40
	150-200 mm	0,38	0,38	0,37
Välisseina ja vahelaeliitekoht	Lisasojustamata piire	0,49	0,69	0,77
	50 mm	0,06	0,14	0,21
	100 mm	0,01	0,07	0,10
	150-200 mm	0,00	0,03	0,05
Välisseina akna liitekoht soojustamata pale	Lisasojustamata piire	0,11	0,06	0,07
	50 mm	0,20	0,10	0,10
	100 mm	0,25	0,14	0,12
	150-200 mm	0,28	0,16	0,14
Välisseina akna liitekoht soojustatud pale	Lisasojustamata piire	0,11	0,06	0,07
	50 mm	0,05	0,03	0,07
	100 mm	0,07	0,04	0,07
	150-200 mm	0,08	0,05	0,07

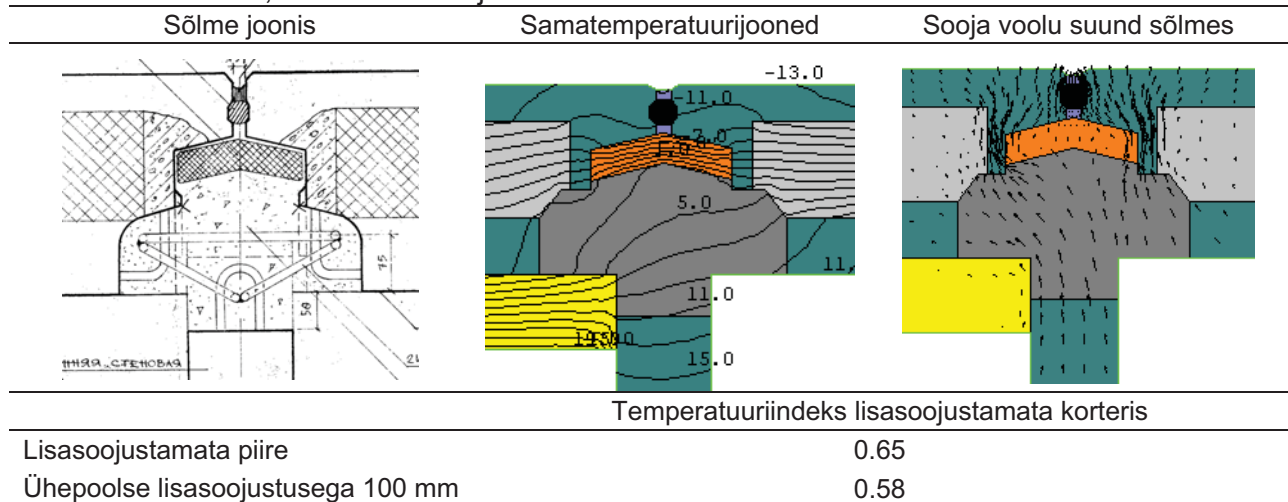
Arvutuslikud temperatuurindeksi suurused suurpaneelilamute välispiirete liitekohtades vt. Tabel 7.5. Arvutustulemuste põhjal võib öelda, et hallituse ja kondensaadi vältimise kriteeriumite seisukohast on välispiirete lisasojustamine mõõdapäasmatu. Külmasildade mõju vähendamise seisukohalt on lisasojustuse piisavaks paksuseks 50-70 mm. Samas ei ole nii väike soojustuse

paksus majanduslikult otstarbekas. Soojustuse paksuse osakaal kogu lisasoojustuse hinnas (viimistlus, tellingus töö jne.) on väikene, võrreldes paksemast soojustusest saadava energiasäästuga.

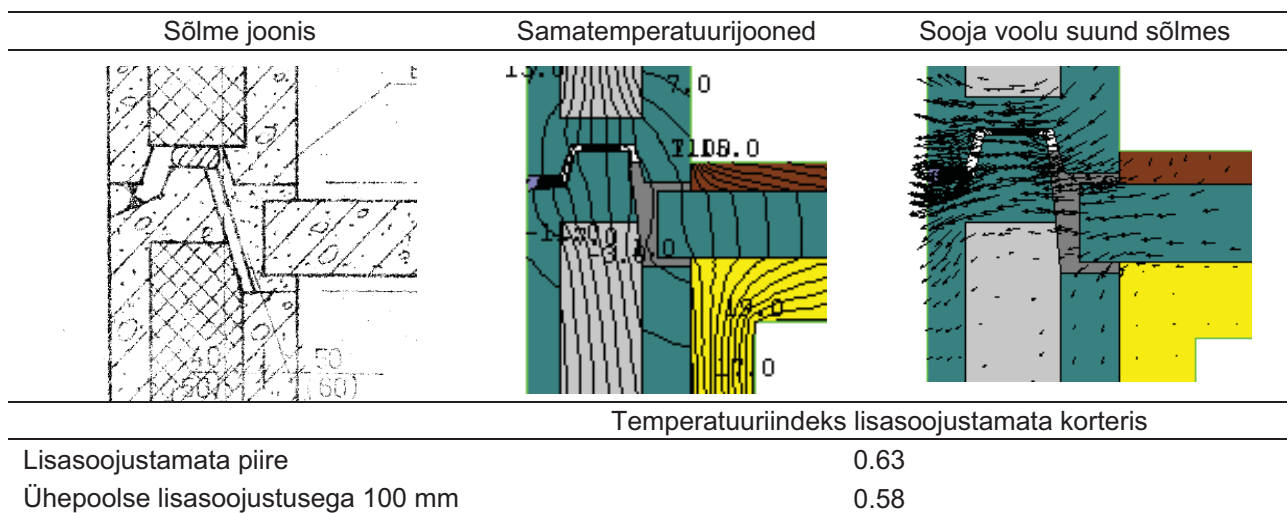
Hoone soojakadude arvutamiseks on vaja teada, kui palju läheb toasooja õue külmasildade kaudu. Seda saab hinnata külmasillakonduktantsi suuruste abil, vt. Tabel 7.6. Need külmasillakonduktantsid kehtivad soojakadude arvutuste kohta, kus hoonet käsitletakse kui ühte terviklikku tsooni. Kui soojakadude arvutusi tehakse ruumide sisemõõtude järgi, tuleb esitletud külmasillakonduktantse suurendada, arvestades välisseina soojajuhtivust siseseina või vahelae paksuse ulatuses.

7.2.3 Külmasilla mõju analüüs seespoolse lisasoojustamisel

Sageli tekib küsimus, kas lisasoojustust võib teha seestpoolt. Arvutused ja välimõõtmised näitavad, et seespoolse lisasoojustuse korral ei ole välispiire niiskustehniliselt turvaline. Samas võib arvutuslikult näidata, et veeauru kondenseerumise ohtu piirdesse ei teki, kui sisepinda panna väga suure veeaurutakistusega materjalikiht (al. foolium, PE-kile). Seespoolne lisasoojustamine toob kaasa ka soojustatava tarindi temperatuuri languse. Kui näiteks soojustada seestpoolt ära ühe korteri välisseinad langeb temperatuur ka teise korteri välisseina ja vaheseina (või vahelae) liitekohas. Selle mõju ongi järgnevalt analüüsitud: välisseina ja vaheseina liitekoht, vt. Joonis 7.18 ja välisseina vahelae liitekoht vt. Joonis 7.19.



Joonis 7.18 Temperatuuriindeksi muutus ühepoolse lisasoojustuse korral välisseina ja vaheseina liitekohas

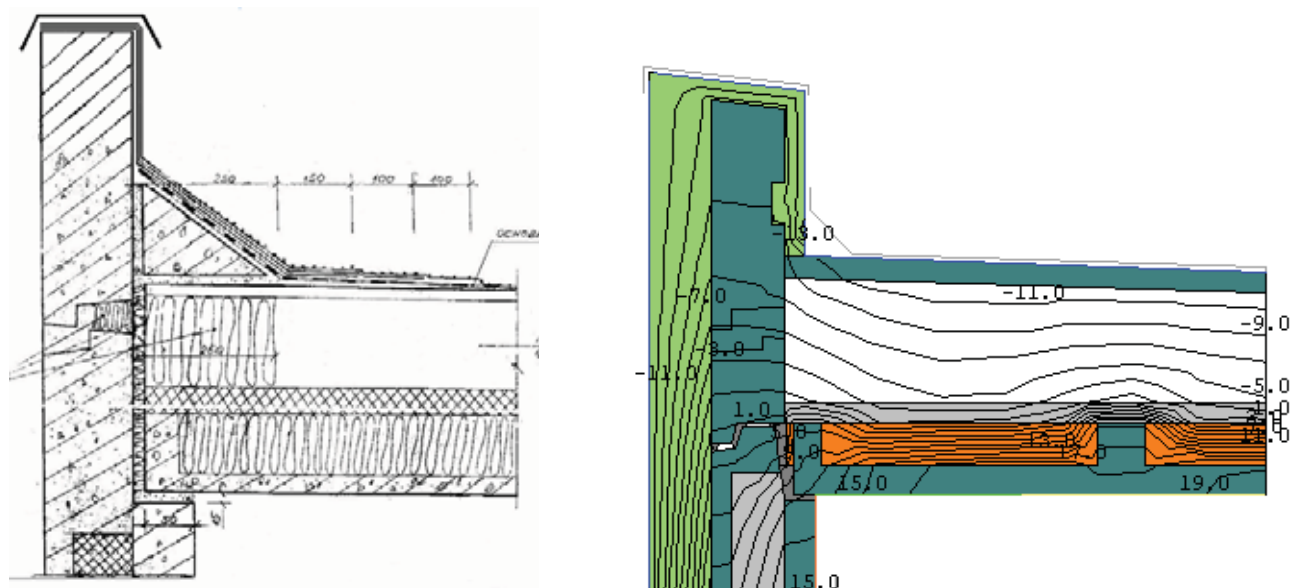


Joonis 7.19 Temperatuuriindeksi muutus ühepoolse lisasoojustuse korral välisseina ja vahelae liitekohas

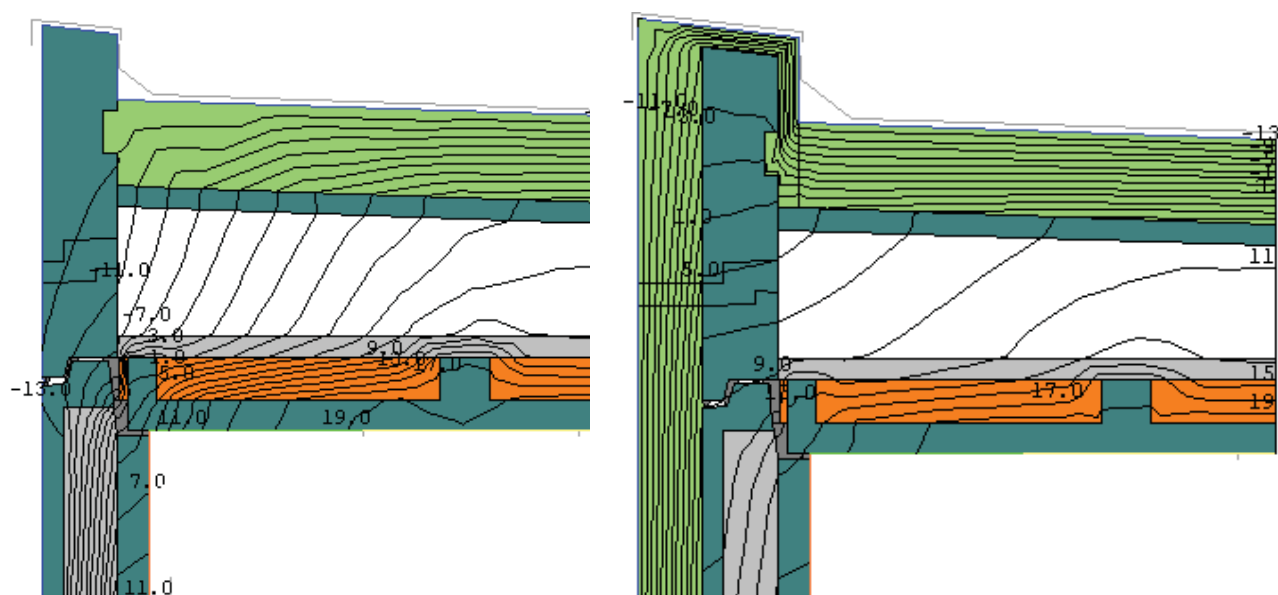
Arvutustest selgub, et kui soojustada ühe ruumi välispiiret seestpoolt, siis kõrval või ülaruumi nurga pinnatemperatuur langeb, suurendades naaberkorteris hallituse ning kondensaadi tekke riski. Seetõttu kahjustab seespoolne lisasoojustamine lisaks oma korteri olukorrale ka naaberkorteri olukorda.

7.2.4 Külmasilla mõju analüüs katuslae lisasoojustamisel

Raudbetoon suurpaneelilamute konstruktsioonilahendusest tingituna on välisseina-katuslae liitekoht (vt. Joonis 7.5) suureks külmasillaks. Külmasillad välispiiretes põhjustavad lisasoojakadu. Soojakadude likvideerimiseks tuleb välispiiredeid lisasoojustada. Välispiirete lisasoojustamisele tuleb läheneda komplekselt: likvideerida külmasillad ja tagada piirete väike soojajuhtivus. Levinud lahendus on soojustada kas välisseinad (tavaliselt kahjuks ainult otsaseinad) või katus. Järgnevalt on analüüsitud, kumb lahendus vähendab rohkem külmasilla mõju, kas seinte või katuse soojustamine ning missuguse tulemuse annab seinte ja katuse soojustamine koos.



Joonis 7.20 Vasakul: välisseina ja katuslae liitekoht. Paremäl: soojustatud on ainult välissein



Joonis 7.21 Vasakul: Soojustatud on ainult katuslagi. Paremäl: soojustatud välissein ja katuslagi

Lisasoojustamata välispiiretega hoonel on külmasildadest tulenev lisasoojakadu kõige suurem. Näiteks viiekorruselise soojustamata Mustamäe tüüpi suurpaneelilamude puhul on külmasildadest tulenev täiendav soojakadu välispiirde kohta 0,52 W/(m²·K) (see suurus lisandub seinaga soojajuhtivusele, mis on arvatud ilma külmasildadeta). Kui soojustada sellise suurpaneelilamude välisseinad näiteks 150 mm paksuse lisasoojustusega ($\lambda=0,04$ W/(m·K)), siis kahanevad välisseinte külmasildadest tulenevad lisasoojakadud ühe ruutmeetri välispiirde kohta 0,16 W/(m²·K)-ni. Jälgida tuleks kindlasti seda, et soojustataks ka parapett, vastasel juhul säilib külmasild läbi parapetipaneeli. Ainult katuse lisasoojustamisel on lisasoojakadude suurus 0,17 W/(m²·K). Kui lisasoojustada nii katus kui ka seinad, siis on selleks arvuks 0,15 W/(m²·K).

Katuse ja välisseina koos lisasoojustamisel rahuldab temperatuuriindeks nii kondenseerumise kui ka hallituse vältimise kriteeriumit. Ainult katuse või välisseina soojustamisel seda kriteeriumit ei täideta (vt. Tabel 7.7). Seega tuleb katuslae lisasoojustamisel soojustada ka vähemalt välisseina ülaosa (kuni ülemise korruse akendeni) või tervikuna kogu välisfassaad.

Tabel 7.7 Välisseina ja katuslae liitekohta temperatuuriindeksite väärtused

	Lisasoojustamata	Soojustus seinas 150 mm	Soojustus katusel 200 mm	Soojustus seinas ja katusel 150 mm + 200 mm
$f_{Rsi, sisenuk}$	0,55	0,65	0,58	0,84

7.3 Külmasildadega arvestamine elamu soojakadude arvutamisel

Kuna rb-suurpaneelilamude välispiirde sisaldavad tõsiseid külmasildasid, tuleb nendega hoone soojakadude leidmisel arvestada. Külmasildasid võib arvestada eraldi „piirdekomponendina” või võtta külmasillad arvesse välispiirete redutseeritud soojajuhtivuses, U_i^{red} :

$$U_{välispiire}^{red} = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{A_{välispiire}} + \frac{\sum \Psi_j \cdot l_j + \sum \Psi_p \cdot n_p}{A_{välispiire}}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

kus:

- U_i välispiirde soojajuhtivus, W/(m²·K);
- A_i välispiirde pindala, m²;
- Ψ_i joonkülmasilla lisakonduktants, W/(m·K);
- l_j joonkülmasilla pikkus, m;
- Ψ_p punktkülmasilla lisakonduktants, W/(m·K);
- n_j punktkülmasildade arv, tk;
- A_i kõikide välispiirete pindala, m².

Järgnevalt on näidatud, kuidas arvestada külmasildadega 5-korruselise kuue trepikojaga elamu välisseina redutseeritud soojajuhtivuse leidmisel.

Arvestades vana 12 cm klaasvatiga soojustusega ($\lambda=0,08$ W/(m²·K)), on homogeensete kihtidega seinaga soojajuhtivus: $U = \frac{1}{0,13 + \frac{0,075}{1,7} + \frac{0,12}{0,08} + \frac{0,05}{1,7} + 0,04} = 0,57$ W/(m²·K)

Arvestada tuleb järgmiste külmasildadega: välisseinte nurk, välisseina ja siseseina liitekoht, katuslae ja välisseina liitekoht, rõdupaneeli ja välisseina liitekoht, vahelae ja välisseina liitekoht ning akna ja välisseina liitekoht. Teades liitekohtade külmasillakonduktantside suurusid ja külmasilla pikkusi on võimalik leida kogu välisseina külmasildade lisakonduktantside summa (vt. Tabel 7.4).

Tabel 7.8 5-korruselise paneelilamude külmasillad

Külmasilla asukoht	Külmasilla jm	$\Psi_i, W/(m \cdot K)$	$\Psi_{i,lj} W/(m \cdot K)$
Välisseinte nurk	54	0,83	44
Katuslae välisseina liitekoht	205	0,45/2	46
Välisseina ja rõdu liitekoht	256	0,54	138
Välisseina ja siseseina liitekoht	825	0,54	446
Välisseina ja vahelae liitekoht	771	0,49	378
Välisseina ja akna liitekoht	1762	0,11	194
Kokku			1246

Jagades välisseina lisakonduktantside summa välisseinte pindalaga (avatäited välja arvatud) saamegi külmasildadest tuleneva lisasoojakao ühele m²-le, mis tuleb juurde liita seina soojajuhtivusel väärtusele (U arvule). Näitehoone välisseina pindala (fassaad-aknad-üksed) on 1800 m². Seega külmasildadest tulenev lisasoojakadu: $U_{\Psi} = \frac{1246}{1800} = 0,69 W/(m^2 \cdot K)$.

$$U_{\text{välispiire}}^{\text{red}} = 0,5 + 0,7 = 1,2 W/(m^2 \cdot K).$$

On näha, et sõltuvalt välisseina lahendusest võib külmasildade mõju välisseina soojajuhtivusele olla sama suur, kui homogeense seina soojajuhtivus. Seetõttu annab lisasoojustamisega kaasnev külmasildade vähenemine olulist energiasäästu.

7.4 Külmasildade põhimõttelised renoveerimislahendused

Probleemi saab vähendada niiskuskooormuse vähendamisega (parem ventilatsioon, korralik küte, väiksem niiskustoodang) ja välispiirete lisasoojustamisega. Selleks, et tagada ohutu ja tervislik sisekliima, on see lausa mõõdapääsmatu.

Külmasildade likvideerimiseks piisab üldjuhul 50-70 mm paksusest välimisest lisasoojustusest. Samas ei ole nii väike soojustuse paksus majanduslikult otstarbekas. Soojustuse paksuse osakaal kogu lisasoojustuse hinnas (viimistlus, tellingus töö jne.) on väikene võrreldes paksemast soojustusest saadava energiasäästuga.

Välispiirete seespõlist soojustamist tuleks igal juhul vältida, sest selline soojustamise viis ei likvideeri külmasildu ega vähenda soojakadusid.

8 Hoonepiirete õhupidavus

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

- hoonete energiatõhusus;
- niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, veeauru kondenseerumine;
- hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, ebasoovitavate lõhnade liikumine korterite vahel;
- 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 soojajuhtivuse vähenemisega kasvab suhteline kulutus õhuvahetusele (ventilatsioon ja infiltratsioon). Hoonel, mille välispiirete õhuleke on suur, võib piirete õhulekkohtade 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 kütteenegiakulu 7% ja koguenegiakulu orienteeruvalt 4% (Jokisalo & Kurnitski 2002, Binamu 2002).

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

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

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

Piirete ebapiisavat õhupidavust ei saa käsitada 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 arvul värskõhuklappide (tagada tuleb ka õhu eelsoojendus). Ventilatsioon on sel juhul reguleeritav, kontrollitav ja õhk vajadusel filtreeritav. Kvaliteetse sisekliima kujundamisel mängivad peamist rolli eelkõige toimiv kütte- ja ventilatsioonisüsteem ning ehitusfüüsikaliselt korrektselt toimivad hoonepiirded.

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

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

energiakulu on väiksem, võimaldab see saada hoonele parema energiamärgise. Seega, õhupidavad piirded vähendavad hoone energiakulu. **Tuleb aga rõhutada, et õhupidavate piiretega peab kaasas käima toimiv, efektiivne ja tasakaalustatud ventilatsioonisüsteem.** Kui õhupidavate piiretega hoone 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 läbi hoonepiirde ebatiheduste ehk infiltratsioon ja tema suurus sõltuvad:

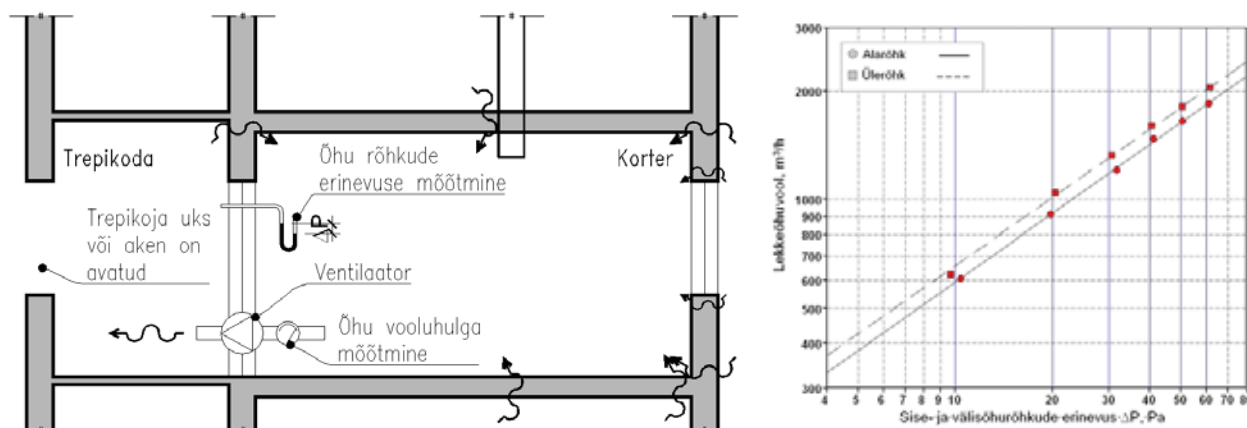
- hoonepiirete õhupidavusest;
- õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret;
- kasutatavate materjalide omadustest;
- ventilatsiooni tasakaalustusest;
- kliimatingimustest.

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

8.1 Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine

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

Korteri välisukse avasse paigaldati mõõteseadme, mis koosnes muudetava suurusega raamist, õhutihedast kangast, ventilaatorist ja mõõte- ning juhtimiseadmetest (vt. Joonis 8.1, vasakul ja Joonis 8.2).



Joonis 8.1 Korteri piirete õhupidavuse mõõtepõhimõte (vasakul). Õhulekke graafik: lekkeõhuvoolusõltuvus õhurõhkude erinevusest (paremal).

Mõõteseadme ventilaator tekitas sise- ja väliskeskonna vahele soovitud õhurõhkude erinevuse. Katse käigus mõõdeti õhuvooluhulka, mis oli vajalik tekitatud rõhuerinevuse hoidmiseks. Sama õhuhulk, mis läbis ventilaatorit, tuli ka korterisse läbi piirde ja pragude. Lekkeõhu hulka mõõdeti erinevate õhurõhkude, nii alarõhu kui ka ülerõhu tingimustes 10 Pa sammuga, 10...±60 Pa. Alarõhu- ja ülerõhu mõõtmistulemuste trendijoonelt loetakse lekke õhuvooluhulk 50 Pa juures, millest arvutati keskvärtus (vt. Joonis 8.1, paremal).

Enne ja pärast lekkeõhuhulga mõõtmist mõõdeti sise- ja väliskeskonna vaheline loomulik õhurõhkude erinevuse suurus ning sise- ja välistemperatuur. Nende alusel korregeeriti mõõtetulemust.



Joonis 8.2 Õhupidavuse mõõteseade vaadatuna korterist (vasakul) ja trepikojast (paremal)



Joonis 8.3 Õhupidavuse mõõtmise ajaks suleti kõik ventilatsiooniavad

Korteri piirete õhupidavuse mõõtmiseks suleti kõik välispiirdes olevad suletavad avad ehk ukse ja aknad normaalasendis suletud, värskõhuklapid ja ventilatsiooniavad teibiti kinni (vt. Joonis 8.3). Sisemised vaheuksed jäeti avatuks. Lisaks kontrolliti, et haisulukkudes oleks vesi.

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkearv q_{50} (ühik $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$), mis näitab õhuvooluhulka (m^3/h), mis läbib 1 m^2 suuruse pindalaga piiret, kui kahel pool piiret on õhurõhkude erinevus 50 Pa. Kuna õhupidavust eraldi piirete kaupa mõõta pole välitingimustes

võimalik, mõõdeti kogu korteri õhupidavus ja väljendati see kõikide piirete keskmise õhulekkena. Lisaks on õhupidavust iseloomustatud ka n_{50} arvu abil. n_{50} mõõtühikuks on 1/h ja see väljendab õhuvahetuskordsust, kui õhurõhkude erinevus kahel pool piiret on 50 Pa. Õhupidavuse mõõtemeetod on mõlemal puhul sama. Kui tulemus esitatakse õhulekkearvuna (ühik $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri välispiirete sisepindalaga (sh. vahelaed ja korterite vahelised vaheseinad) ja kui õhupidavust väljendatakse õhuvahetuskordsusena n_{50} (ühik 1/h), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool korteri siseruumide kubatuuriga.

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

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

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

8.2 Õhupidavuse hindamise meetodid

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

Rootsis oli pikka aega nõue (BBR BFS 1998:38), et hoonete välispiirded peavad olema nii õhutihedad, et keskmine õhuleke 50 Pa õhurõhu erinevuse juures ei ületaks elamute puhul $0,8 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ($2,9 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) ja muudel hoonetel $1,6 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ ($5,8 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$). Energiatõhususe miinimumnõuete kehtestamisega kaotasid kehtivuse spetsiifilised nõuded hoonepiiretele, kui energiatoõhususe miinimumnõuete tagamiseks ehitatakse hoonepiirded õhupidavaks. Kanada elamufondi energiatoõhususe parandamise programmi R-2000 (NRCan 2004) järgi peab olema tagatud hoonepiirete õhupidavus $n_{50} < 1,5 \text{ 1/h}$ ja õhulekke pindala 10 Pa juures ei tohi ületada $0,7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$. Saksamaal (DIN 4108-7:2001-08) on nõue, et loomuliku ventilatsiooniga hoonete õhuvahetuskordsus n_{50} peab olema $< 3 \text{ 1/h}$ ja mehaanilise ventilatsiooniga hoonete õhuvahetuskordsus $n_{50} < 1,5 \text{ 1/h}$; passiivmajade (Passivhaus, Minenergie®) õhupidavuse nõue on $n_{50} < 0,6 \text{ 1/h}$. Norras (REN TEKNISK 1997) on hoonepiirete õhupidavusele esitatud järgmised nõuded: väikeelamutel ja ridaelamutel $n_{50} < 4 \text{ 1/h}$, muudel kuni kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 3 \text{ 1/h}$ ja muudel üle kahekorruselistel hoonetel $n_{50} < 1,5 \text{ 1/h}$. Šveitsis on loomuliku ventilatsiooniga ühepereelamute välispiirete õhupidavuse nõue $n_{50} < 2...4,5 \text{ 1/h}$ ja mitmepereelamutel $n_{50} < 2,5...3,5 \text{ 1/h}$; mehaanilise ventilatsiooniga või jahutusega hoonete õhupidavuse nõue on $n_{50} < 1 \text{ 1/h}$ (SIA 180. Soomes nõudeid hoonepiirete õhupidavusele sätestatud ei ole. Soome ehitusmääruses C3 2007) on toodud hoonepiirete õhupidavuse taotluslik tase $n_{50} < 1 \text{ 1/h}$ ja energiaarvutustes (D5 2007) kasutatakse õhupidavuse baassuurust $n_{50} = 4 \text{ 1/h}$. Inglismaal ja Walesis on õhulekkearvu piirsuurus $10 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (energiatoõhususe 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 8.1) ja ISO/FDIS 13789 (vt. Tabel 8.2) ning juhendis D5 (vt. Tabel 8.3) on toodud hoonepiirete õhulekkearvu iseloomustamiseks erinevaid suuruseid.

Tabel 8.1 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused vastavalt standardile prEN 15242

Hoone tüüp	Õhulekke tase	Õhulekkearv, m ³ /(h·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 8.2 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused vastavalt standardile ISO/FDIS 13789

Hoone tüüp	Õhulekke tase	Õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n ₅₀ , 1/h
Väikemaja	Madal	<4
	Keskmine	4...10
	Suur	>10
Korterelamud	Madal	<2
	Keskmine	2...5
	Suur	>5

Tabel 8.3 Hoonepiirete õhulekkearvu iseloomulikud suurused vastavalt Soome määrusele D5

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

8.3 Tulemused

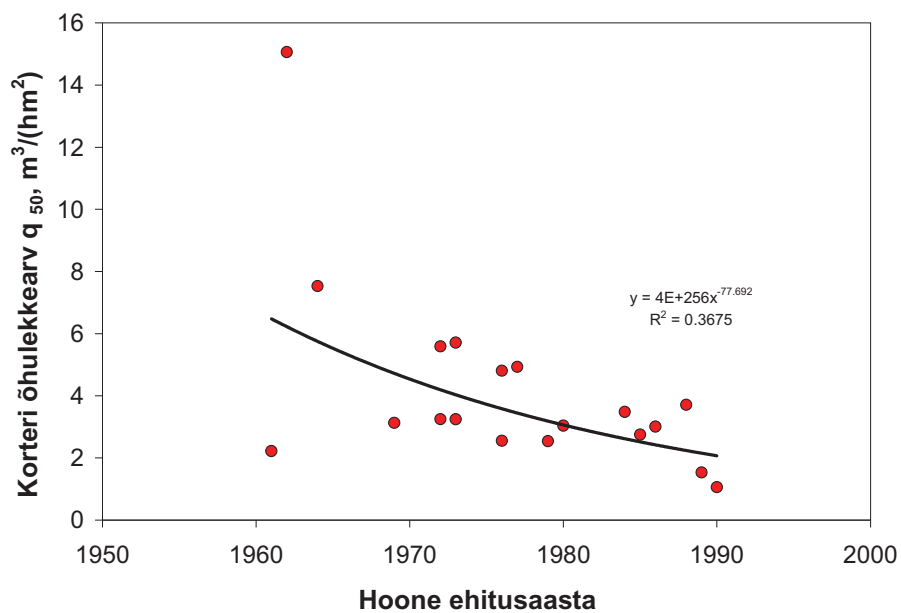
Õhupidavust mõõdeti 19 korteris (sh. 10 korterit mõõdeti uurimistöö „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetodika väljatöötamine“ raames (Kalamees 2008)). Õhupidavus on mõõdetud õhulekkestestiga ja tulemused on esitatud kahel viisil:

- õhulekkearv, q₅₀ m³/(h·m²), mis iseloomustab lekkeõhu suurust 50 Pa juures jaotatuna korteri piirdetarindite pindalale;
- õhuvahetuskordsus 50 Pa juures n₅₀ 1/h, mis iseloomustab lekkeõhu suurust 50 Pa juures jaotatuna korteri sisekubatuurile.

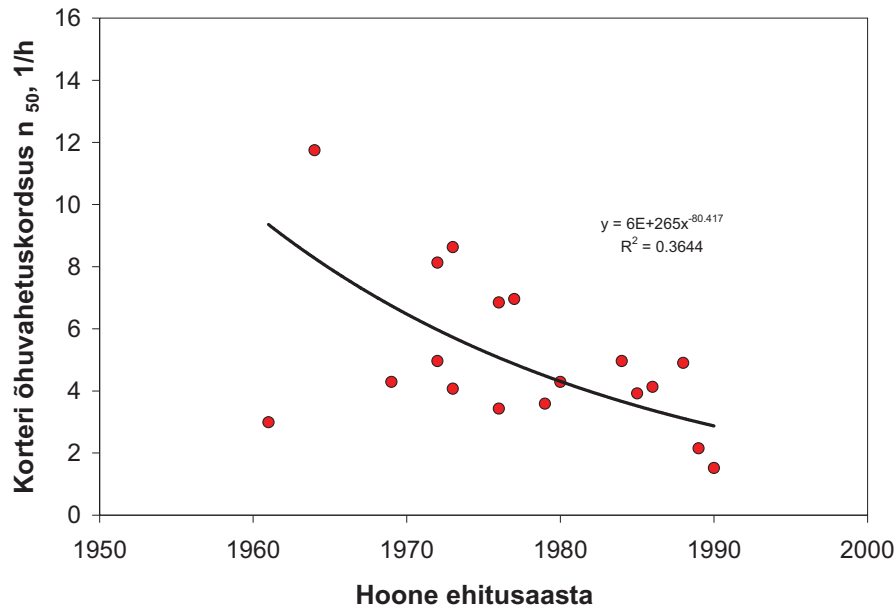
Kõikide mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv q₅₀ = 4,2 m³/(h·m²) ja õhuvahetuvus 50Pa juures oli n₅₀ = 6,0 1/h. Kuna mõõtmised tehti korterite kaupa, sisalduvad selles mõõtetulemuses ka korterivaheliste piirete (vaheseinad, vahelaed) õhulekked. Uuemad korterelamud on oluliselt õhupidavamad kui vanemad korterelamud (vt. Tabel 8.4, Joonis 8.4, Joonis 8.5).

Tabel 8.4 Korterite õhupidavuse mõõtetulemused

Korteri kood	Õhulekkearv, $q_{50}, m^3/(h \cdot m^2)$	Õhuvahetuvus @50Pa, $n_{50}, 1/h$	EqLA @ 10Pa, mm^2/m^2	LBL ELA @ 4Pa, mm^2/m^2
1011	15,1	22,3	596	319
1021	3,3	5,0	119	61
1031	3,5	5,0	114	55
1041	5,6	8,1	218	115
1051	3,1	4,3	105	51
1061	2,2	3,0	65	29
1071	2,6	3,4	90	45
1081	3,0	4,1	117	62
2011	2,5	3,6	87	43
2021	1,1	1,5	30	1
2031	3,7	4,9	114	53
2041	7,5	11,8	445	233
3011	2,8	3,9	107	56
3021	4,9	7,0	203	111
3031	3,0	4,3	113	58
4011	5,7	8,6	255	148
4021	4,8	6,8	176	90
4031	3,2	4,1	130	70
4041	1,5	2,2	55	28



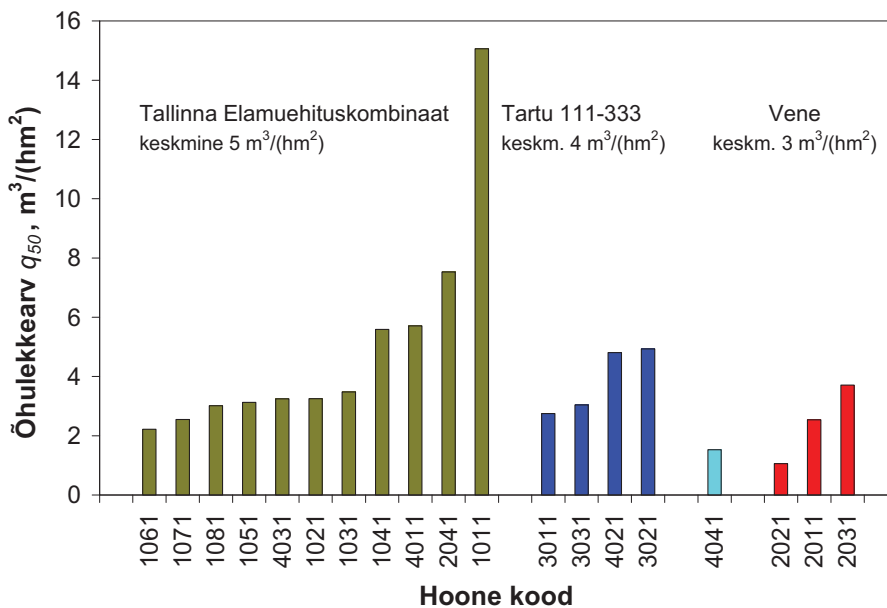
Joonis 8.4 Hoone vanuse mõju korteri õhulekkearvu q_{50} suurusele



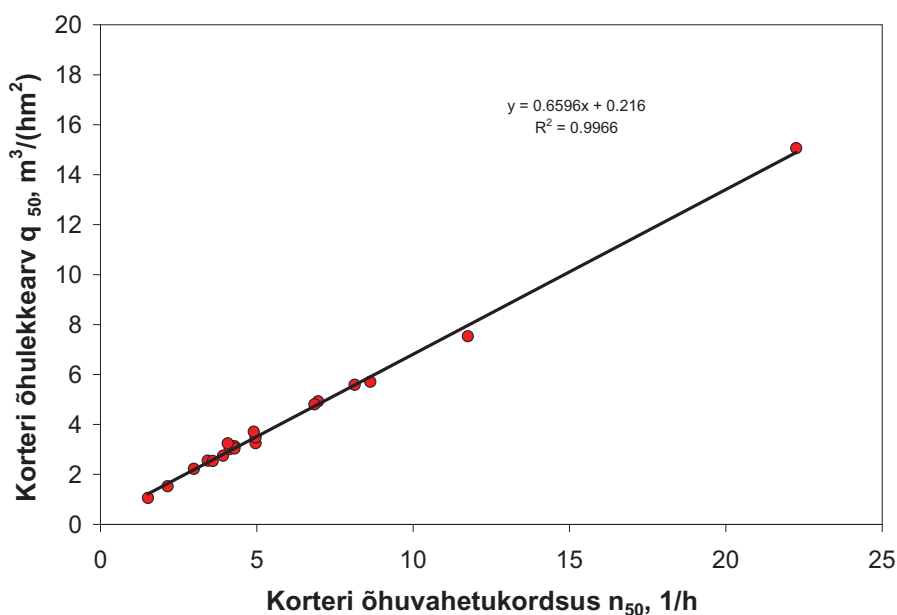
Joonis 8.5 Hoone vanuse mõju korteri õhuvahetuskorduse n_{50} suurusele

Erinevate suurpaneelilamute vahel statistiliselt olulisi erinevusi ei olnud (vt. Joonis 8.6).

Korterite õhulekkearvu q_{50} ja õhuvahetuskorduse n_{50} suurused ei ole võrdsed, kuna korteritel on välispiirde pindala keskmiselt 30% võrra suurem ja seetõttu on õhulekkearv q_{50} väiksem (vt. Joonis 8.7). Piirdetarindite pindala ja sisekubatuuri suhe sõltub kompaktsusest, mida mõjutab plaanilahenduse keerukus ja korruse kõrgus.



Joonis 8.6 Õhupidavuse mõõtetulemus vastavalt hoone tüübile



Joonis 8.7 Mõõdetud õhulekkearvu q_{50} ja õhuvahetuskordsuse n_{50} suhe korterites

Energiaauditite korral on energiakasutamise bilansi 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 korterelamute energiaarvutus õhulekkearvu baasväärtustega $3 m^3/(h \cdot m^2)$. Käesolevad mõõtmised näitasid, et õhulekkearvu baasväärtus on liiga väike vanadele hoonetele.

Arvutustes kasutatava õhulekkearvu võib tõendada ka muul viisil, näiteks 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 1:

$$q_{50, dekl.} = \overline{q_{50}} + k \cdot \sigma_{q_{50}}, m^3/(h \cdot m^2) \quad (1)$$

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 [-], mis arvutatakse valemiga 2 ning mis põhineb normaaljaotuse järgse valiku 50 % fraktili 95 % tõenäosusele;
- $\sigma_{q_{50}}$ on antud hoonetüübi õhulekkearvude mõõtmistulemuste standardhälve, $m^3/(h \cdot m^2)$, mis arvutatakse valemiga 3;

$$k = \frac{1,645}{\sqrt{n}}, - \quad (2)$$

kus:

n on mõõdetud hoonete arv;

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

kus:

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

Uurimistöö „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetodika väljatöötamine“ raames tekkinud andmebaasis on kokku 28 enne 2000. aastat ehitatud suurpaneelidest korterelamu õhupidavuse mõõtmisandmed. Nende andmete alusel hinnati energiaarvutustes kasutatava deklareeritud õhulekkearvu suurust. Enne 2000. aastat ehitatud betoonist suurpaneelidest korterelamute õhupidavuse baassuurus $q_{50} = 4,7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja $n_{50} = 6,8 \text{ 1/h}$.

Hoonepiirete õhupidavus mängib hoonete energiatõhususe analüüsis olulist rolli ning mõjutab otseselt hoone küttekulusid. 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 puhul on eriti oluline tagada ventilatsiooni toimivus. Õhupidavate piiretega hoone kogu õhuvahetuse peab tagama toimiv ventilatsioon. Kui pole toimivat ventilatsioonisüsteemi, siis õhupidavate piiretega elamus saab sisekliima rikutud. Ka korralik kütte- ja ventilatsioonisüsteem ei taga energiatõhusust hoonel, mille piirded ei ole õhu- ja soojapidavad.

Kui õhupidavate piiretega hoones ei ole toimivat ventilatsioonisüsteemi, ei vahetu õhk siseruumides ja sisekliima saab rikutud. Ventilatsioonisüsteemi toimivus peab tagama:

- piisava õhuvahetuse ja värsket õhu juurdevoolu;
- soojusliku mugavuse;
- tasakaalustatud süsteemi, mis ei tekitaks liiga suurt õhurõhkude erinevust;
- et ei tekitaks ülemäärast müra;
- õhuvooluhulkade reguleeritavuse;
- hoone energiatõhususe.

Energiasääst ei tohi tulla halvema sisekliima arvelt.

9 Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline uurimine

Inimesed veedavad keskmiselt 80% ajast ruumides. Ruumiõhust sõltub tervis ja enesetunne – halb õhk võib põhjustada terviseprobleeme. Tervisehäired hakkavad kujunema hiilivalt ja väljenduvad ebamääraste tunnustena.

Ruumi sisekliima peab tagama mugava tunde. Selle all mõeldakse niisugust füsioloogilist seisundit, mille puhul organismi termoregulatsioon töötab minimaalse pingega ja kõik elundid ning funktsionaalsed süsteemid toimivad optimaalselt.

Mõiste “ruumiõhu kvaliteet” ei tähenda ainult õhu füüsikalisi parameetreid, vaid inimesele toimivate kõikide tegurite kogumit, sh mikrobioloogilised (hallitusseened ja nende laguproduktid), keemilised ja mitmed psühhosotsiaalsed tegurid (ruumis viibivate inimeste tegevus ja tervislik seisund, ruumide ülekoormus jms), ning kütte, ventilatsiooni ja valgustuse parameetreid.

Ruumide siseõhu kvaliteet pani aluse uuele probleemile, mida nimetakse haige hoone sündroomiks (Sick Building Syndrome) (Bech-Andersen 2005). Haige hoone sündroom on seni kindla definitsioonita sümptomite kompleks, mille konkreetne põhjus on ebaselge, kuid arvatavasti seondub see organismi adaptatsioonimehhanismide ülepingsena.

Haigustekitavate hoonete sündroom (ruumiõhu sündroom) ühendab endas selliseid omavahel seotud tegureid:

- ruumiõhus olevad materjalidest väljaauravad gaasilised lisandid (VOC – ingl.k.)
- hallitusseened ja nende laguproduktid,
- kütte-, ventilatsiooni- ja kliimaseadmed,
- õhu temperatuur ja niiskus,
- müra,
- valgustus,
- ruumis viibivate inimeste tegevus ja nende tervislik seisund,
- ruumide ülekoormatus jms.

Viimasel ajal on bioaerosoolidest põhjustatud tervisehäired äratanud suuremat tähelepanu. Tähtsamad siseõhu bioloogilised riskitegurite grupid on (Albreht 2006):

- mikroobid, viirused,
- seened, hallitusseened,
- mükoplasma,
- taimed (õietolm),
- lüljalgsed,
- loomad (närilised, koduloomad, linnud).

Mikroobe ja viirusi on siseruumides rohkem kui välisõhus, kus ultraviolettkiirgus takistab nende paljunemist, kuid sisekeskkonnas soodustab paljunemist niiskus.

Põhilised bioaerosoolide allikad on õhu konditsioneerid, põrandakatted.

Õietolmu võivad tekitada ka kodutaimed, kuid rohkem leidub seda siiski välisõhus. Õietolmu fragmendid võivad olla suuremad allergeenid kui kogu õietolm tervikuna. Õietolm satub ruumiõhku ventilatsiooni, riiete või koduloomadega.

Bioaerosoolid on bioloogilise päritoluga püsivad ja niiskuslembelised osakesed õhus. Nende hulka kuuluvad elusorganismid või nende fragmendid, samuti mikroorganismide toodetud lenduvad orgaanilised ühendid. Põhilisteks koostisosadeks on tolm, tolmulestad, seened, spoorid, õietolm, bakterid, viirused, taimede fragmendid, inimeste ja koduloomade elutegevuse produktid. Nende hulka kuuluvad ka ruumiõhus esinevad hallitusseened ja nende eosed, mille läbimõõt on 1–30 µm.

Hallitusseente kasvuks on kolm eeltingimust: soojus, niiskus ja toitained. Neid esineb enamikes ruumides. Hallitusseente sisaldus ruumiõhus võib olla suuresti erinev, olenedes aastaajast, hoone asukohast ja niiskuskahjustustest, ruumide seisundist, korrashoiust ja kasutamisest.

Soojal aastaajal on hallitusseente sisaldus välis- ja ruumiõhus suurem kui talvel. Maakohtades on hallitusseeni ruumiõhus suurem kui asulates. Hallitusseente sisaldus võib ruumiõhus hetkeks tõusta kõrgeks ka koristamise või mullaste toiduainete käitlemise järel.

Kirjanduse andmetel on asulate eluruumide õhus hallitusseeni soojal aastaajal 10–2500 peas moodustavat ühikut (PMÜ)/m³ ja talvel 10–500 PMÜ/m³ (Töötervishoiu keskus 2004). Kui talvel on hallitusseeni asulate ruumiõhus üle 500 PMÜ/m³, võib seda lugeda kõrgeks näitajaks. Kui kiirikseeni on talvel ruumiõhus üle 10 PMÜ/m³, viitab see mikroobide kasvule hoones ja terviseohtlikkusele. Mitmed hallitusseened eritavad toksine ja tekitavad allergiat. Tervisele ohtlikumad on need seened, mis vajavad kasvuks kõrget õhuniiskust. Ärritusnähtused kutsuvad esile hallitusseente erilised ühendid, nt alkaloidid, aldehüüdid, estrid ja süsivesinikud. Viimased tekitavad kergesti tuntavat hallituslõhna.

9.1 Ehitusmaterjalide mikrobioloogiline analüüsimine

Hallitusseente perekondlikku kuuluvust määrati kleeplindiproovidest, mis võeti paralleelselt materjalide pinnalt, kus visuaalselt oli tuvastatav materjali pinna värvuse muutumine.

Tabel 9.1 Hallitusseente esinemissagedus ja korruselisus

Leid	Sagedus	Korrus
Acremonium spp.	2	5
Alternaria spp.	4	5,5
Aspergillus spp.	4	9,5
Aureobasidium spp.	2	9
Exophilia spp.	2	5
Botrymyces spp.	2	9
Cladosporium spp.	10	5,5,9,9,9
Exophilia spp.	2	5
Phoma spp.	4	9,9
Ulocladium spp.	4	9,9
Bakterid	8	5,5,5,9
ID-ta eosed	22	1,1,1,1,1,5,5,5,5,9,9
ID-ta mütseel	6	5,9, 9
Leiuta (tahm, praht)	28	

Halb õhuvahetus, kõrge õhuniiskus ja hallitusseente kõrge sisaldus ruumiõhus liituvad sageli üksteisega, mistõttu võib tekkida mitmesuguseid tervisehäireid. Nende kaasteguritena võivad toimida teised bioaerosoolid, näiteks tolmulestad, koduloomade karvad ja epiteelid. Praktikas on võimatu eraldada üksikute komponentide osakaalu tervisehäirete kujunemisel.

9.1.1 Hallitusseentest põhjustatud tervisekahjustused toimemehhanismi järgi kvalifitseerituna

I Allergilised haigused

A. IgE-klassi antikehade vahendatud allergia (I tüüp):

- astma tekkimine või selle süvenemine,
- allergiline nohu või selle süvenemine,
- allergilised lööbed või nende süvenemine,
- allergiline konjunktiviit või selle süvenemine.

B. Rakuallergia (II tüüp)

- allergiline alveoliit,
- allergilised lööbed.

II Hingamisteede põletike lisandumine

III Hallitusseente laguainete põhjustatud ärritusnähud

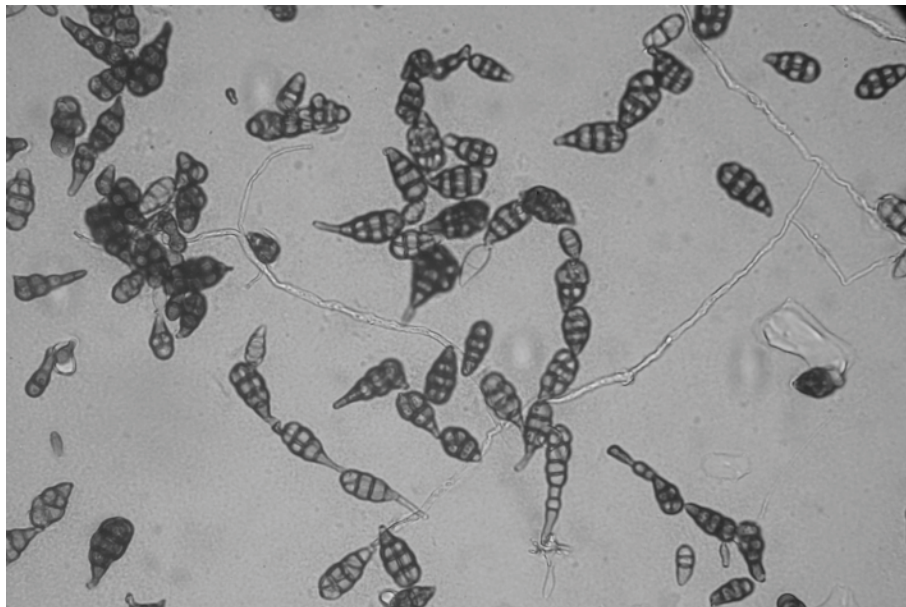
- ninakinnisus, ninaverejooks ja nohu,
- neeluärritus ja kurguvalu, köha,
- silmade sügelemine ja punetus,
- naha sügelemine ja punetus.

IV Üldised sümptomid

- väsimus,
- halb enesetunne,
- kerge palavik,
- peavalu,
- lihasevalu.

9.1.2 Kõige sagedamini esinenud hallitusseente kirjeldused

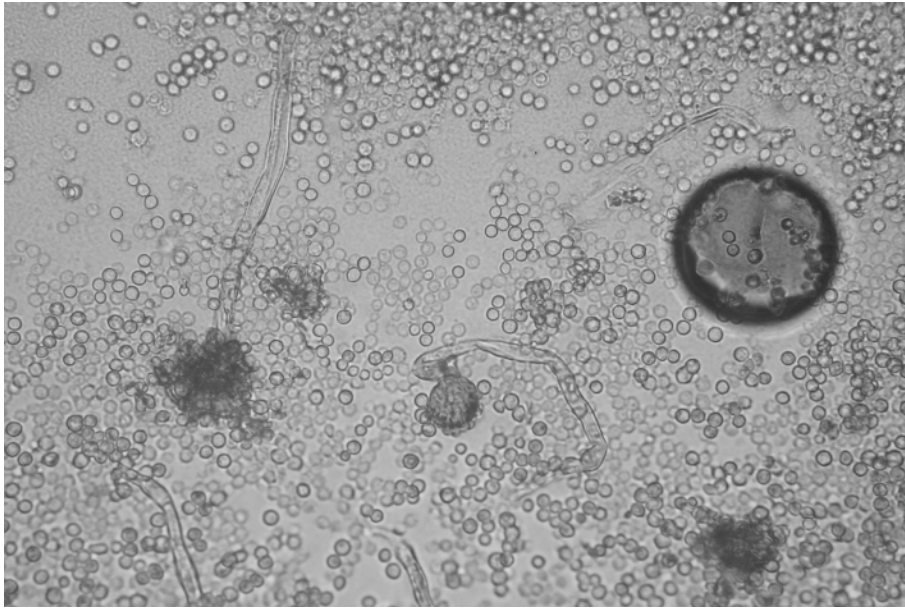
Alternaria spp.



Joonis 9.1 Alternaria spp.

- Levik: Kõikjal, kosmopoliit, ca 40-50 liiki, üks kõige rohkem levinumaid hallitusseeni.
- Kasvupind: Pinnas, lagunev orgaaniline, toiduained, tekstiil. Taimekahjur nõrgenenud taimedel.
- Levimise moodus: Kuivad eosed, tuulega.
- Allergeen: Tavaline.
- I tüüpi allergia - heinapalavik, astma.
- III tüüpi allergiline pneumoniit. Puidutöölise kopsude haiguse tekitaja, õunahoidlate õhu vastu tundlikkus.
- Võib anda kattuvaid reaktsioone Ulocladium, Stemphylium, Phoma jt. seentega.
- Patogeensus: Nina, nahaaluse, kahjustused, küünte infektsioon. Tekib sageli teise haiguse foonil või immuunsuspuudulikkusega inimestel. Enamik liike ei kasva temperatuuril üle 37 °C.
- Toksilisus: Altenariol, tenuazonik hape, albertoksiinid (mutageensed).
- Kasv sisetingimustes: Paljudel erinevatel materjalidel. Kasvuks vajalik õhu suhteline niiskus 85%-88%.

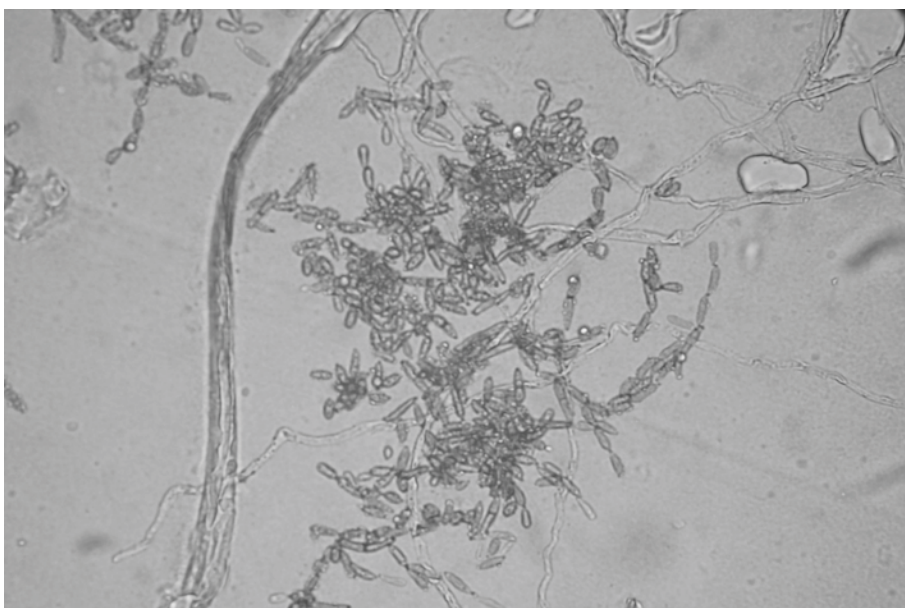
Aspergillus spp.



Joonis 9.2 Aspergillus spp.

- Levik: Kõikjal; kosmopoliit. Umbes 200 liiki.
- Kasvupind: Pinnas, lagunev orgaaniline materjal, kompost, viljahoidlad, ehitusmaterjalid.
- Levimise moodus: Kuivad eosed. Tuul.
- Allergeen: Tavaline. I tüüpi allergia - heinapalavik, astma. III tüüpi allergia – ülitundlikkuse pneumoniit.
- Tekitab kutsehaigust taimede ja viljaga kokkupuutuvatel inimestel.
- Patogeensus: Hingamisaparaadi kaudu sissetungiv, naha-, kõrva-, silma väliskesta haiguste tekitaja. Eriti ohtlik immuunsuspuudulikkusega inimestele. Optimaalne kasv +37 °C – kehatemperatuuril.
- Toksilisus: Paljude toksiinide tootja, sealhulgas alfatoksiin!
- Kasv sisetingimustes: Väga erinevatel materjalidel. Kasvuks vajalik õhu suhteline niiskus varieerub 70%-94%.

Cladosporium spp.



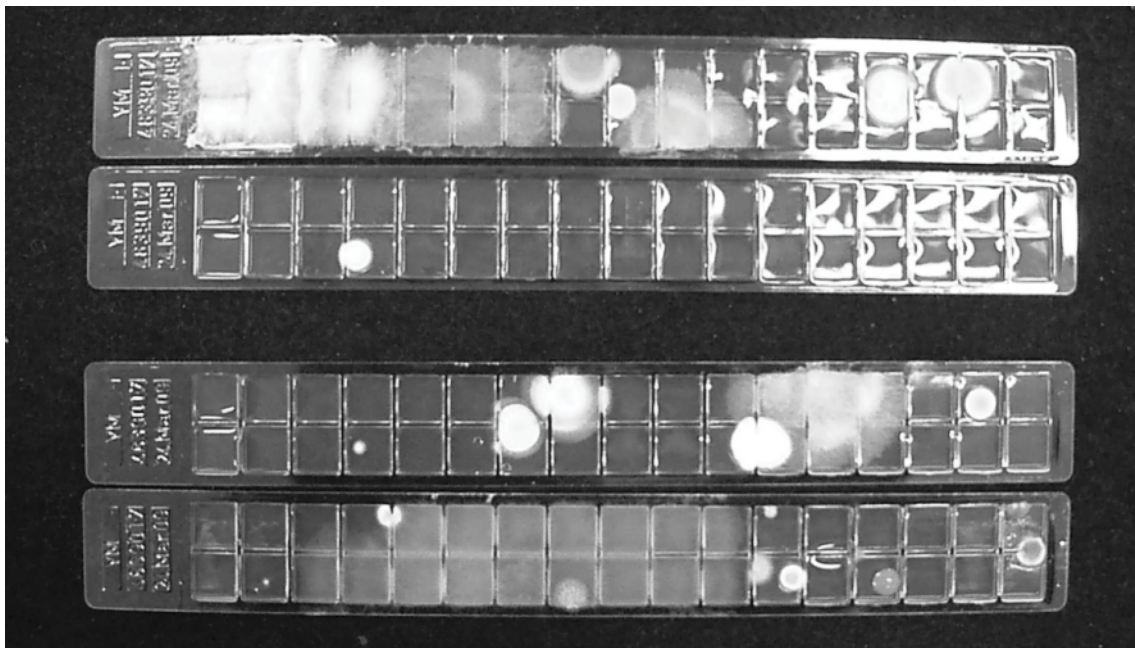
Joonis 9.3 Cladosporium spp.

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

9.2 Siseõhu mikrobioloogiline uurimine ja analüüsimine

Valitud korterites teostati õhus leiduvate seente ja bakterite arvu analüüs.

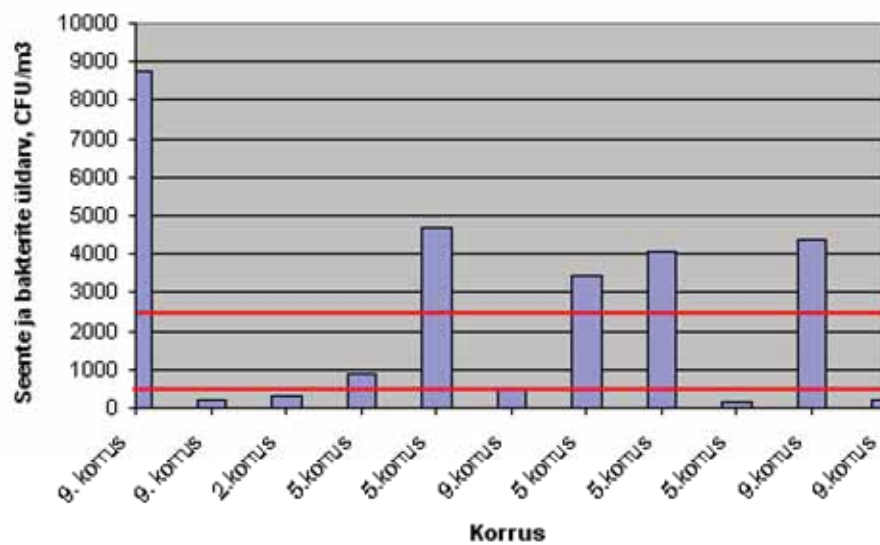
Õhuproove võeti seadmega Biotest HYCON Airsampler RCS. Kasutati YjaF söötmeribasisid, proovi kogumise aeg oli 4 min, inkubeerimise aeg 8 päeva 21 °C juures. Hallitusseente liike ei identifitseeritud. Hallitusseente sisalduse määramiseks võeti 11 ruumiõhu proovid Tallinnas, Tartus, Narvas, Pärnus ja Sillamäel asuvate suurpaneelilamute alumistest ja ülemistest korrustest. Proovide võtmise aeg langes vahemikku jaanuar – märts 2009.



Joonis 9.4 Õhuproovide võtmine söötmeribadele

Eestis puuduvad hallitusseente puhul normid sisekeskkonnas. Soome Töötervishoiu Instituudi soovituslikuks piirnormiks hallitusseentele sisekeskkonna õhus on:

- Talve perioodil kuni 10-500 PMÜ/ m³ (piir märgitud Joonis 9.5-le);
- Soojal aastaajal 10–2500 PMÜ/ m³ (piir märgitud Joonis 9.5-le).



Joonis 9.5 Seene ja bakterite üldarv suurpaneelamute korterite õhus

10 Sisepiirete helipidavus

Ehitusseaduse kohaselt tuleb ehitises vältida müra ülemäärast levikut. Müra võib olla tasemel, mis ei ohusta inimese elu ega tervist ning võimaldab rahuldavates tingimustes elada või töötada. Müra tungib korterisse nii väliskeskonnast, teistest korteritest kui trepikojast. Lisaks levib müra korterisisesele tubade vahel.

Suurpaneelilamuid püstitati massiliselt ajavahemikul 1961-1990. Sellest ajast on nõuded piirete helipidavusele oluliselt muutunud. Elamute helipidavuse kavandamisel lähtuti siis СНиП II – Л.1-71 nõuetest, mille järgi nõutav korteritevaheliste seinte õhuheli isolatsiooninäit oli $E_B = 0\text{dB}$, korterite vahelagede õhuheli isolatsiooninäit oli $E_B = -1\text{dB}$ ja löögimürataseme näit $E_y = 0\text{dB}$.

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

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

Üleminek eeltoodud suuruste vahel on: $R'_w = E_B + 52$ ja $L'_{n,w} = 63 - E_y$.

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

Üha enam leiab Eestis tunnustust Põhjamaade INSTA 122 standard, kus on kasutusele võetud heliklassid A, B, C, D. Heliklassile A vastab olukord, kus 90% elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks. Heliklassile D vastab olukord, kus 30 ÷ 45% elanikest hindab akustilisi tingimusi headeks või väga headeks, 25 ÷ 50% hindab akustilisi tingimusi halbadeks. D klassi nõuded kehtivad seal vanade ja renoveeritavate hoonete kohta, kus uue hoone taseme saavutamine võib olla äärmiselt kallis ja aktsepteeritakse madalat akustilist kvaliteeti. INSTA soovitusel piirete helipidavusele vt. Tabel 10.1.

Tabel 10.1 Hoonete akustiline klassifikatsioon

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

Suurpaneelilamute konstruktiivse süsteemi moodustavad toasuured 100 mm paksused raudbetoonist vahelaepaneelid, mis toetuvad kolmest või neljast küljest kandvatele raudbetoonist seinapaneelidele. Seinapaneelid on 120 või 140 mm paksused ühekihilised ja kolmekihilised paksusega 250 või 300 mm. Hilisemates tüüpseeriates 111-133 (Tartu) ja 111-66 (Pärnu) seinapaneelid on paksemad (160-180 mm), samuti erinevad vahelaed (120 mm paksused või 220 mm paksused õõnespaneelid). Kuna piirete helipidavuse määrab oluliselt nende mass, siis helipidavus on suuremaks probleemiks hoonetes, mida püstitati 464 ja 121 tüüpseeriade alusel.

Helipidavuse hindamiseks oli vaja:

- mõõdistada raudbetoonist suurpaneelilamute helipidavust eksploatatsioonitingimustes
- selgitada nende helipidavuse vastavust EVS 842:2003 ja INSTA 122 soovitudele
- võrrelda katsete tulemusi arvutuslikega EVS – EN 12354-1 ja EVS – EN 12354 – 2 järgi, analüüsides erinevaid helipidavuse parandamise võimalusi.

10.1 Hindamismeetodid

Antud töö olemus on aastakümneid tagasi alustatud suurprojekti “järelhindamine”, et selgitada selle tulemuste vastavust tänapäeva nõuetele ja vajaduse korral leida võimalusi olukorra parandamiseks. Hinnangu staadiumis on kõige olulisem vastu võtta õige otsus hindamise kriteeriumite ja hindamismeetodite valiku kohta. Piirete helipidavuse osas valiti hindamiskriteeriumiteks EVS 842:2003 soovitusel, mis kajastavad tänapäeva inimeste vajadusi Euroopa arenenud riikides. EVS 842:2003 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).

Järgnevas iseloomustatakse lühidalt töö käigus kasutatud mõõtmis- ja arvutusmeetodeid, keskendades tähelepanu tulemuste usaldusväärsusele:

- EVS – EN ISO 140-4:1988. Standard annab juhise õhuheliisolatsiooni välimõõtmisteks sõltuvalt sagedusest. Katseandmete töötlus õhuheli isolatsiooniindeksi R'_w leidmiseks vastab ISO 712-1:1996 nõuetele. Katsete täpsust erinevates olukordades hinnati EVS-EN ISO 140-14:2004 järgi, mis difuusse helivälja tingimustes annab läbiviidud katsete 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 ± 2 dB, vajaduse korral tuleb suurendada katsete arvu.
- EVS-EN ISO 140-7:1988. Standard annab juhised vahelagede löögimürataseme välimõõtmisteks. Katseandmeid töödeldi ja taandatud löögimürataseme indeks $L'_{n,w}$ leiti vastavalt EVS 712-2:1996. Täiendavad nõuded mõõtmisteks eriolukordades on toodud EVS-EN ISO 140-14:2004, millest ka katsete läbiviimisel kinni peeti. Kuna vahelagede taandatud löögimürataseme indeksi suuruse leidmisel oli otsustav löögimüra tase madalamatel sagedustel (100-400 Hz), on katsete täpsus siin väiksem kui õhuheli isolatsiooniindeksi leidmisel. Üldjuhul on siin mõõtemääramatus ± 2 dB. Ettenähtud mõõtemääramatus tagatakse katsete arvu suurendamisega.
- EVS-EN 12354-1:2005. Standard annab juhised õhuheli isolatsiooniindeksi R'_w arvutamiseks. Standardis on kolm erinevat arvutusmudelit, millest kasutati struktuuriheli ülekande lihtsustatud mudelit, arvestades heli ülekannet külgnevate trajektooride kaudu. Probleeme tekitab olemasolevate vahelagede hindamine, kus puuduvad usaldusväärsed andmed kasutatud elastsete kihtide dünaamilise jäikuse kohta. Ehitusaegsete puitkiudplaatide dünaamiline jäikus oli üldjuhul 200-250 MN/m³, katseliselt leitud vahelagede põhiresonantsi ja õhuhelipidavuse ja löögimürataseme sageduskarakteristika põhjal peaks ta olema sagedusvahemikus 25-60 MN/m³. Arvutustes kasutati suurust 25 MN/m³, et välja tuua raske ujuvõranda efektiivsust ka sel juhul, kui on tegemist tõhusaima olemasoleva lahendusega. Elastse kihi dünaamilise jäikuse täpsustamisega kergete põrandate korral (sõltuvalt eksploatatsioonitingimustest) tuleb tegeleda edasiste uurimuste käigus. Üldjuhul on lihtsustatud mudeli kasutamisel prognooside täpsuse standardhälbeks antud ± 2 dB, kusjuures on täheldatud kerget isolatsiooni ülehindamise tendentsi.
- EVS-EN 12354-2:2005. Standard annab juhised vahelagede taandatud löögimürataseme indeksi $L'_{n,w}$ arvutamiseks. Standardis toodud kahest arvutusmudelist kasutati lihtsustatud mudelit, kus külgsuunalist heli ülekannet võetakse arvesse, kasutades detailse mudeli põhjal tehtud arvutusi. Prognoosi täpsust mõjutavad tegurid on sisendandmete täpsus, olukorra sobivus mudeliga, elementide ja ühenduste tüüp, ehituse geomeetria ja ehitustööde teostamise tase. Vertikaalse ülekande puhul, so. antud töö puhul prognoositakse, et saadud väärtuste erinevus on 60% juhtudest ± 2 dB, 100% juhtudest jääb see vahemikku ± 4 dB. Antud juhul suurendab prognoosi ebatäpsust määramatus elastse kihi dünaamilise jäikuse osas.

Sisepiirete helipidavust hinnati kahte tüüpi suurpaneelilamutes (tüüpseeriad 464 ja 121) .

Mõõtmised viidi läbi vastavalt EVS-EN ISO 140-4 ja EVS-EN ISO 140-7 nõuetele. Suurem katseseeria õnnestus läbi viia tüüpseeria 121 elamus Tallinnas. Tüüpseeria 121 hoone sobis mõõteobjektina ka seetõttu, et on säilinud katseandmed analoogsel objektil tehtud seeriaviisiliste mõõtmiste kohta uutes, eksploatatsiooni andmata hoonetes, mida saab kasutada eksploatatsiooniliste faktorite selgitamiseks. Mõõtmiste tulemused on toodud Silikaatbetooni Instituudi aruandes "Soovituste väljatöötamine silikaatbetoonist sisepiirete kandvate konstruktsioonide väljatöötamiseks nende ehitus-akustiliste selgitamise põhjal", Tallinn, 1977 (vene keeles). Need mõõtmised tehti vastavuses ГOCT 11516-69 nõuetega, mis erinevad tänapäevastest ISO 140 seeria nõuetest põhiliselt kasutatava aparatuuri osas, mistõttu katsetulemused on veidi hajuvad, kuid piisava katseseeria puhul usaldatavad ka käesoleval ajal.

Tuleb ära märkida raskusi eksploatatsioonitingimustes 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.). Seeriaviisilised katsed on vajalikud, kuna katsetulemused on suure hajuvusega, mistõttu mingi üksiku eksploatatsioonilise faktori mõju üksiku mõõtmise tulemuse põhjal pole võimalik selgitada.

Arvutustes kasutati EVS-EN 12354:2005 meetodikat

10.2 Sisepiirete helipidavuse hindamise tulemused

Sisepiirete helipidavust mõõdeti suurpaneelilamus, mis on ehitatud tüüpseeriade 464 ja 121 alusel, tulemused vt. Tabel 10.2).

Tabel 10.2 Korteritevaheliste seinte helipidavus

Elamu tüüp (hoone kood)	Korterid	R'w, dB	Märkused
2008. ja 2009. a. mõõtmised			
1-121 (1030)	27/28	50	Elu- ja magamistoa vaheline, 140 mm
	35/36	53	Elu- ja magamistoa vaheline, 140 mm
	39/40	53	Esiku ja elutoa vaheline, 140 mm
	137/138	53	Esiku ja elutoa vaheline, 140 mm
1-464 (1010)	38/59	47	Elu ja magamistoa vaheline, 120 mm
1977. a. mõõtmised			
111-121 (Õismäe tee 104)	21/22	52	5-korruseline, seinapaksus 140 mm
	23/24	51	
	25/26	50	
	27/28	52	
	29/30	50	
111-121 (Õismäe tee 155E)	4/5	49	9-korruseline, seinapaksus 140 mm
	6/7	51	
	8/9	49	
	10/11	51	
	12/13	52	
	14/15	50	

Tabel 10.3 Korteritevaheliste vahelagede helipidavus

Elamu tüüp (hoone kood)	Korterid	R'_w , dB	$L'_{n,w}$, dB)	Märkused
2008. ja 2009. a. mõõtmised				
1-121 (1030)	35/31	52	64	Elutoad
	31/27	50	66	Kandva paneeli paksus 100 mm, kerge ujuv põrand
	44/40	51	61	Vaipkate
	137/133	51	61	Vaipkate
	44/40	50	66	Köök ja elutuba
	138/trepikoda 40/trepikoda		36 54	Elutuba Köök
1-121 (1080)	9/6	36	67	Elutoad
1-464 (1010)	59/55	51	60	Elu ja magamistoa vaheline, 120 mm
1977. a. mõõtmised				
111-121	21/23	50	62	5-korruseline vahelae paneeli paksus 100 mm, kerge ujuv põrand
	21/23	53	65	
	21/23	52	63	
	22/24	49	68	
	22/24	52	66	
	3/7	50	62	
111-121	3/7	48	66	9-korruseline vahelae paneeli paksus 100 mm, kerge ujuv põrand
	3/7	48	64	
	4/8	49	65	
	4/8	50	63	
	4/8	49	66	

10.3 Tulemuste analüüs

Mõõtmised näitasid, et eksploatatsiooni käigus piirete helipidavus oluliselt ei muutu. Vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'_w = 36$ dB ei ole seletatav põhikonstruktsiooni omaduste muutusega, kuna sama vahelae löögimüra isolatsiooniindeks $L'_{n,w} = 67$ dB on praktiliselt võrdne teiste analoogsete konstruktsioonide näitajaga. Õuheli isolatsiooni sageduskarakteristika viitab antud juhul prao mõjule. Kuna vahelae ja seina ühendust oli äsja remonditud, võib olla tegemist remondipraagiga, mistõttu selle üksiku mõõtmise tulemust edasises ei arvestata.

Kokkuvõtlikud katsete tulemused võrdluses standardite soovitustega vt. Tabel 10.4.

Tabel 10.4 Helipidavuse tulemused ja võrdlus standardite soovitustega

Elamu tüüp	Piire, näit	Katse	EVS 842:2003	INSTA 122
1-464A	sein R'_w , dB	47	55	50
	vahelagi R'_w , dB	51	55	50
	vahelagi $L'_{n,w}$, dB	60	53	58
TP-111-121	sein R'_w , dB		55	50
	vahelagi R'_w , dB	50	55	50
	vahelagi $L'_{n,w}$, dB	65	53	58
	trepikoda $L'_{n,w}$ (dB)	54	58	63

Eeltoodu mõõtmistulemuste põhjal võib teha järgmised järeldused:

- Katsete käigus uuritud korteritevaheliste piirete helipidavus ei vasta tänapäeva nõuetele;
- Tüüpseeria 464 elamutes korteritevaheliste seinte õhumüra isolatsiooniindeks on kuni 8 dB väiksem EVS 842:2003 ja 3dB väiksem INSTA 122 standardi soovitud tase;
- Tüüpseeria 121 elamutes korteritevaheliste seinte õhumüra isolatsiooniindeks on kuni 5 dB võrra väiksem EVS 842:2003 soovitud tase, vastab aga INSTA 122 standardi soovitud tasele;
- Nii 464 kui 121 seeria elamute vahelagede taandatud löögimürataseme indeks on kuni 12dB kõrgem EVS 842:2003 soovitud tase ja 7dB kõrgem INSTA 122 standardi soovitud tase;
- Löögmüratase trepikojast eluruumidesse vastab eeltoodud standardite soovitud tasele;
- Müra tajumise seisukohalt uuritavates elamutes olmemüra valjus on kuni 4 korda suurem sellest, kui piirete helipidavus vastaks EVS 842:2003 soovitud tasele;
- Sõltuvalt möbleeringu otsesest mõjust ja sellega seotud helivälja ebapiisavast difuussusest võib piirete helipidavus möbleerimata korterite puhul olla mõnevõrra väiksem kui möbleeritud korteris. Katsete käigus see kinnitust ei leidnud, kuna puudus võimalus katseid läbi viia ekspluatatsioonil olnud korterites, kus puudub möbleering.

Piirete helipidavuse arvutuslikul hindamisel selgus:

- Arvutuslikud näitajad erinevad oluliselt katsetulemustest üksiku vahelae õhumüra isolatsiooniindeksi puhul 1010 ja löögmürataseme indeksi puhul 1030. Ülejäänud juhtudel arvutuslikud näitajad ei erinevad oluliselt katsete tulemustest;
- Edasistes uuringutes tuleb täpsustada ujuvate põrandate elastse kihi dünaamilise jäikuse näitajaid ja ekspluatatsioonikoormuste mõju elastse kihi dünaamilisele jäikusele ning piirete helipidavusele;
- Täiendava kergseina ja raske ujuvpõranda kasutamine tõstab korteritevaheliste piirete õhumüra isolatsiooniindeksit kuni 7 dB võrra ning alandab vahelagede taandatud löögmüraindeksit kuni 17 dB võrra, tagades nende vastavuse EVS 842:2003 ja INSTA 122 elamute C klassile vastavatele nõuetele;
- Eeltoodud võtete kasutuselevõtuga tagatakse, et tüüpseeriade 464 ja 121 elamute helipidavus võrdsustub;
- Eeltoodud võtete kasutuselevõtt vajab kontrolli tegelike näitajate selgitamiseks nii helipidavuse kui ka kandevõime, teostatavuse ja majanduslikkuse seisukohalt eksperimentaalehituses.

10.4 Võimalus raudbetoonist suurpaneelilamute helipidavuse parandamiseks

Katsed näitasid, et uuritavate hoonete helipidavus ei vasta tänapäeva nõuetele, seega on oluline välja töötada lahendused nende helipidavuse parandamiseks. Selleks annab võimaluse hoonete piirete helipidavuse ja nende parandamisvõimaluste arvutuslik hindamine. Selleks kasutati EVS-EN 12354-1 ja EVS-EN 12354-2 lihtsustatud meetodikaid, võttes aluseks möbleerimata elu- ja magamistubade vahelised piirded, arvestades ka heli levikuga külgnevate trajektooride kaudu. Arvutuslikult hinnati mitmesuguseid põhikonstruktsiooni täiendamise variante, millest enam praktilist tähtsust omavad variandid olid:

- 1: Olemasolev olukord;
- 2: Vahelaepaneelidel raske ujuvpõrand massiga 120 kg/m^2 , põrand toetub elastsele alusele dünaamilise jäikusega $s' = 10 \text{ MN/m}^3$;
- 3: Seinapaneelile lisatud 75 mm õhkvahega kergsein, 2x ehitusplaat, õhkvahe 50 mm mineraalvilla;
- 4: Lisatud on nii raske ujuvpõrand kui kergsein.

Kõik eeltoodud variandid on läbinud esialgse kontrolli hoonete kandevõime seisukohalt. Piirete arvutuslikud helipidavuse näitajad eeltoodud variantide korral:

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

Helipidavuse paranduslahendusi on hinnatud EVS-EN 12354:2005 arvutusmetoodika järgi, arvestades heli levikut läbi eraldava elemendi ning külgnevate trajektooride kaudu (tulemused vt. Tabel 10.5).

Tabel 10.5 Parandusvariantide võrdlusandmed

Hoone tüüp, konstruktsioon	Parandus-variantid	R'_w (dB) EVS: $R'_w \geq 55$ dB	$L'_{n,w}$ (dB) EVS: $L'_{n,w} \leq 53$ dB
1-464A: Kortritevaheline sein	1	48	
	2	49	
	3	54	
	4	55	
1-464A: Vahelagi	1	47	61
	2	54	47
	3	48	61
	4	55	47
TP-111-121: Kortritevaheline sein	1	50	
	2	50	
	3	54	
	4	55	
TP-111-121: Vahelagi	1	50	61
	2	54	46
	3	51	61
	4	55	46

11 Niiskete ja märgade ruumide olukord ja parandusettepanekud

Niisketes ja märgades ruumides uuritud korterites üldiselt tõsiseid probleeme ei esine. Hallitust ja veetõkke läbijookse esineb üksikutes korterites. Pinnaniiskused on kõrged korterites, kus pole seintesse ja põrandasse paigaldatud veetõkkeid. Probleemsed kohad on pesumasina ja segistite ümbrused. Remondi käigus tuleks kindlasti paigaldada veetõkked tervele põrandale, pesumasina taha seintele ning kraanikausi ja vanni või dušinurga ümbrusesse.

Kuna niiskete ja märgade ruumide veetõkke puudumine või selle kahjustused mõjutavad lisaks naaberkorterid, tuleks veetõkke tööd võtta vastu kaetud tööde aktiga, mida kinnitab korterelamu tehnilise poole eest vastutav isik.

Hallituse esinemise korral niisketes ruumides tuleb parandada ruumi ventilatsiooni (kontrollida, et ventilatsioonilõõrid on avatud, ei ole tiheda ripplae taga, et nad ei ole ummistunud ning et on piisav väljatõmme), vajadusel vähendada ruumi niiskuskooormust (piirata pesu kuivatamist kõnealuses ruumis, duši all käies mitte ujutada üle põrandat jne.). Ülemiste korruste korterites võib olla hädavajalik mehaanilise väljatõmbeventilatsiooni paigaldus. Teine võimalus on paigaldada korteritesse individuaalsed soojusutilisaatoriga ventilatsioonisüsteemid. Süsteem on paindlikult reguleeritav, võimaldab korteri väljatõmmatavast õhust eraldada soojuse ning suunata see korduvkasutusse värske õhu soojendamiseks. Ventilatsiooni juures tuleb vältida lahendust, kus ventilatsioon on sisse-välja lülitatav koos valgustiga. Sellise lahenduse korral töötab ventilatsioon vaid selle lühikese aja jooksul, kui ruumid on valgustatud. See ei ole korteri ventileerimise seisukohalt piisav.

12 Soojus- ja niiskuslik olukord korterites

Elamu sisekliima on kompleksne mõiste. Sisekliima hõlmab õhku ja suuremaid õhukeskkonna näitajaid. Hea sisekliima vähendab haigusi, tagab mugavustunde ja soodustab tööjõudlust. Sisekliima määravad järgmised tegurid: õhutemperatuur, kiirguspindade temperatuur, õhu suhteline niiskus, õhu liikumise kiirus, õhu puhtus, müratase, valgustatus. Mõju avaldavad ka liikumise aktiivsus, riietus, sugu, vanus jm.

Sisekliima ja sellega kaasnevad probleemid mõjutavad oluliselt neis ruumides viibivate inimeste enesetunnet, tervist ja töövõimet. (Hoone sisekliima kujundamine)

Ruumiosa, kus inimene põhiliselt viibib ja kus peavad olema tagatud normatiivsed sisekliima tingimused, nimetatakse kontroll- või viibimistsooniks.

Kontrolltsooni piirid asuvad välispiiretest ja kiirgavatest pindadest järgmistel kaugustel:

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

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, EVS 839:2003). Sisetemperatuur üle +22 °C on seostatud haige hoone sündroomiga (SBS: sick building syndrome) (Jaakkola jt. 1989). Õhu temperatuuril ja -niiskusel on oluline mõju ka tajutavale õhu kvaliteedile (PAQ: perceived air quality) (Fang jt. 1998). Võrreldes niiske ja sooja õhuga, hinnatakse kuiva ja jahedat õhku kvaliteetsemaks. Sisetemperatuur mõjutab hoonete küttekulu. Soome ühepereelamutes läbi viidud uuring (Vinha jt. 2005) kinnitas tuntud rusikareegli kehtivust: keskmise sisetemperatuuri muutus 1 °C võrra mõjutab energiakulu ~5 %.

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

Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhu niiskus eluruumis olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi. Sterling jt. (1985) on optimaalseks suhtelise niiskuse alaks soovitanud vahemikku RH 40%...60%. Sama suhtelise niiskuse vahemik on nimetatud ka eluruumi siseõhu optimaalseks suhtelise niiskuse vahemikuks VV määruse nr. 38 kohaselt. See soovitus 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 näiteks suurpaneelamutes oodata juba tõsisid niiskuskahjustusi. Talvel on piirdetarindite pinnatemperatuur õhutemperatuurist madalam ja seetõttu on suhteline niiskus kõrgem. Mikroorganismide kasvu vältimiseks peab suhteline niiskus materjali pinnal olema alla 75...80% (Adan 1994, Viitanen and Ritschkoff 1991, Rowan jt. 1999). Mikroorganismide kasv sõltub lisaks suhtelisele niiskusele ja temperatuurile veel ka materjalist, millel kasv aset leiab (Johansson jt. 2005) (vt. Tabel 12.1).

Tabel 12.1 Mikroorganismide kasvu seisukohalt kriitiline suhteline niiskus erinevatele materjalidele (Johansson jt. 2005)

Materjal (puhas)	RH
Puit ja puidupõhised materjalid	75-80 %
Paber kipsplaadil	80-85%
Mineraalvill	90-95 %
Vahtpolüstüreen	90-95 %
Betoon	90-95 %

Tolmulestad võivad põhjustada allergiasoodumusega isiku tundlikkuse suurenemist ja allergiahaiguse, eelkõige allergilise riniidi ning astma kujunemist. Allergeeniks on tolmuosakeste seedeensüümid, mida nad eritavad väljaheite ja eralduvate nahaosakestega (Annus 2008). Tolmuosakestele 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 formaldehüüdlim hakkab kõrge niiskuse toimel lagunema ja formaldehüüd vabaneb gaasina õhku, põhjustades inimestele limaskestade ärritusnähte.

Suhtelise niiskuse alumine piir on erinevate uuringute (Fanger 1971, Wyon jt. 2002) kohaselt RH 20...25%. Eesti sisekliima standardi (EVS 839:2003) kohaselt on ruumiõhu suhtelise niiskuse normväärtus talvel 25...45% ja suvel 30...70%. EVS-EN 15251:2007 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 tema veeauru sisaldus ehk absoluutne niiskus väike. Peamiselt seetõttu on siseruumide suhteline niiskus talvel madalam, kui suvel. Suhteline niiskus sõltub temperatuurist: sama veeauru sisaldusega õhu suhteline niiskus on soojemas keskkonnas madalam ja jahedamas keskkonnas kõrgem. Kuna suhteline niiskus sõltub temperatuurist, ei saa selle alusel veel öelda, kas ruumides on suur või väike niiskuskooormus. Siseruumide niiskuskooormust näitab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste või veeauru osarõhkude erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks Δv , g/m³ (EVS-EN 13788:2001):

$$\Delta v = v_{in} - v_{out}, \text{ g/m}^3$$

kus

v_{in} siseõhu veeaurusisaldus, g/m³;

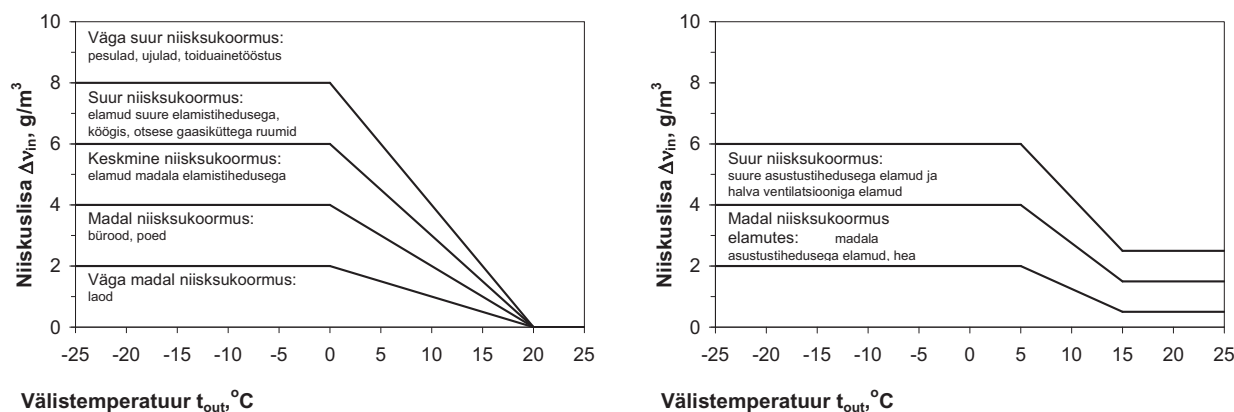
v_{out} välisõhu veeaurusisaldus, g/m³;

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

Niiskuslisa on kasutatud eluruumide niiskuskooormuste hindamisel ka standardis EVS-EN ISO 13788 (vt. Joonis 12.1 vasakul) ja varasemates uuringutes: Kalamees 2006, Vinha jt. 2005 (vt. Joonis 12.1 paremal). Varem Eestis ja Soomes elamutes läbiviidud uuringud

näitavad, et EVS-EN ISO 13788 standardi niiskuskooormuste jaotus ja graafikud ei sobi meie elamuid iseloomustama. Suurimate erinevustena võib välja tuua (vt. Joonis 12.1 vasaku ja parema joonise võrdlus):

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



Joonis 12.1 Niiskulisla tasemed EVS-EN ISO 13788 (vasakul) ja varem Eestis läbiviidud uuringute kohaselt (paremal)

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

- Väike niiskuskooormus (madala asustustihedusega elamud, hea ventilatsioon):
 - $t_{out} < +5 \text{ °C}$, $\Delta v: 4 \text{ g/m}^3$,
 - $t_{out} > +15 \text{ °C}$, $\Delta v: 1,5 \text{ g/m}^3$,
- Keskmine niiskuskooormus (suure asustustihedusega elamud, madala asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga elamud):
 - $t_{out} < +5 \text{ °C}$, $\Delta v: 5 \text{ g/m}^3$,
 - $t_{out} > +15 \text{ °C}$, $\Delta v: 2 \text{ g/m}^3$,
- Suur niiskuskooormus (suure asustustihedusega elamud ja halva ventilatsiooniga elamud):
 - $t_{out} < +5 \text{ °C}$, $\Delta v: 6 \text{ g/m}^3$,
 - $t_{out} > +15 \text{ °C}$, $\Delta v: 2,5 \text{ g/m}^3$,



Need niiskulisla suurused esindavad elamuid, kus siseõhku ei niisutata ja nende niiskuskooormuse alusel saab teha eramu ja korterelamu välispiirete ehitusfüüsikalisi kontrollarvutusi. Käesolev uuring võimaldab täpsemalt analüüsida elamute niiskuskooormuste käitumist suure asustustiheduse ja väikese ventilatsiooni tingimustes.

12.1 Meetodid

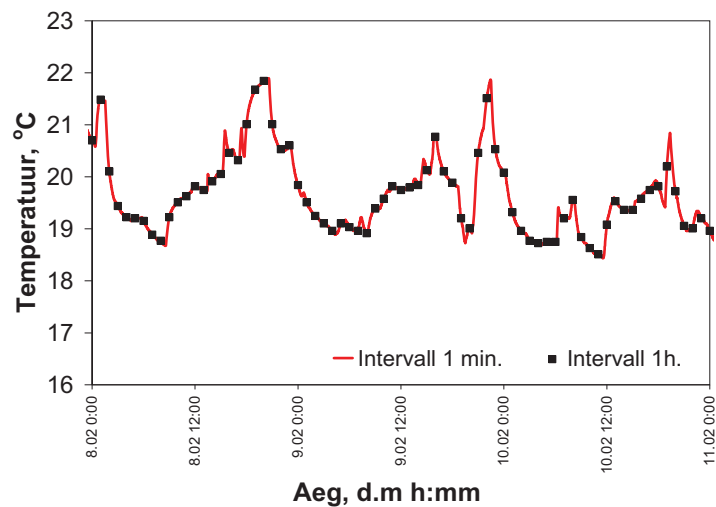
12.1.1 Mõõtmised

Siseruumide õhutemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks kasutati Delta Ohm HD226 ja Hobo U-12 011 andureid-andmesalvesteid (vt. Tabel 12.2 seadmete mõõteala ja mõõtetäpsus).

Tabel 12.2 Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteseadmete andmed

	Delta Ohm HD226	Hobo U-12 011
		
Mõõtepiirkond	Temperatuur: -30 °C...+80 °C Suhteline niiskus: 5 %...98 %	Temperatuur: -20 °C...+70 °C Suhteline niiskus: 5 %...95 %
Mõõtetäpsus	Temperatuur: ±0,3 °C...±0,4 °C Suhteline niiskus: ±2,5 %	Temperatuur: ±0,35 °C 0 °C...50 °C Suhteline niiskus: ±2,5 % 10 %...90 %

Temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõdeti peamiselt magamistoast (peamiselt kahe inimese magamistoast) 0,6...1,5m kõrguselt. Andurid paigaldati vaheseinale või mööbliesemele, eemale välisseinast ja otsesest soojaallikast (radiaator, televiisor, valgustus jne). Mõõtetulemused salvestati ühetunnise intervalliga perioodil 15.01.2008...11.03.2009. Ühes korteris teostati mõõtmised ka väiksema intervalliga, üks minut. Tulemustest (vt. Joonis 12.2) on näha, et üks tund on optimaalne valik nii tulemuste täpsust, andmemahute kui ka väliskliima andmesalvestuse intervalli silmas pidades.



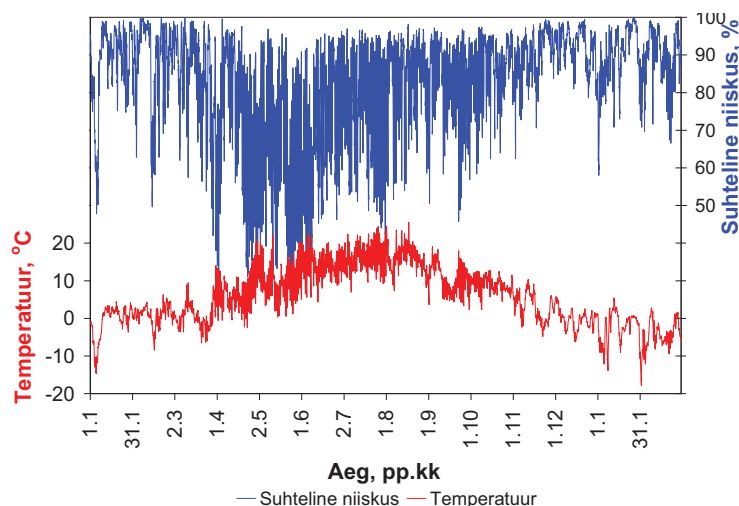
Joonis 12.2 Ühe minuti ja ühe tunni intervalliga mõõdetud sisetemperatuuri võrdlus

12.1.2 Väliskliima

Väliskliima andmetena on kasutatud Eesti Meteoroloogia- ja Hüdroloogia Instituudi poolt mõõdetud andmeid Tallinnast, Tartust, Pärnust, Narva-Jõesuust ja Kuusikult. Keskmise välistemperatuur ja suhteline niiskus mõõteperioodi jooksul vt. Joonis 12.3. Mõõteperioodi kõige madalam temperatuur oli $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kõige kõrgem $+29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mõõteperioodi kuude keskmised temperatuurid vt. Tabel 12.3.

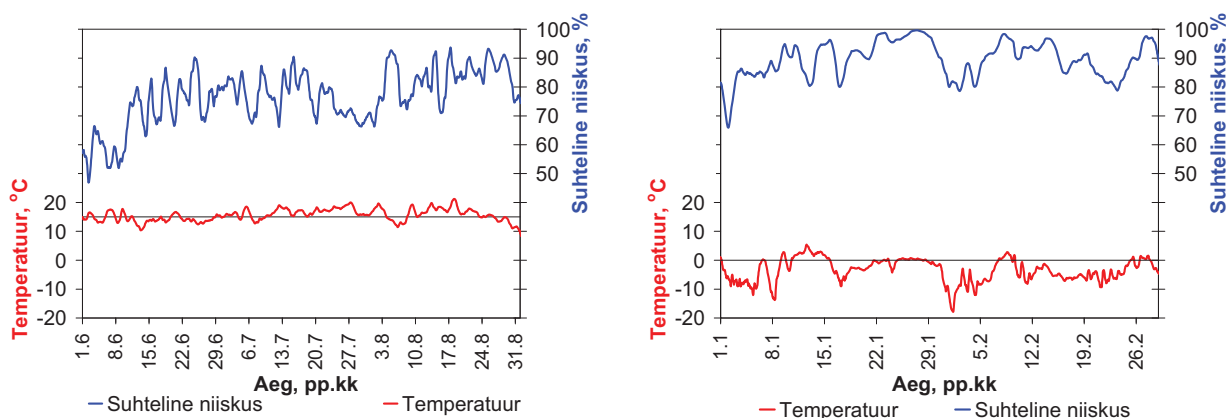
Tabel 12.3 Kuu keskmised temperatuurid (t, $^{\circ}\text{C}$) ja suhtelised niiskused (RH, %) perioodil jaanuar (I) 2008 kuni veebruar (II) 2009.

	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		I		II	
	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH	t	RH
Tallinn	-0,5	87	1,3	88	0,7	83	6,4	74	10,2	64	16,7	7,6	15,4	85	10,5	82	10,5	82	8,9	87	3,3	89	0,4	90	-1,9	86	-4,3	87
Tartu	-1,1	87	0,9	89	0,7	83	7,4	70	10,7	64	14,6	68	16,6	78	16,1	84	10,1	85	8,5	88	2,7	91	-0,8	94	-3,0	92	-4,7	90
Pärnu	-0,6	89	1,4	89	0,9	86	7,2	74	10,9	64	14,5	73	16,7	78	16,2	84	10,4	86	9,3	89	3,6	90	0,4	91	-2,1	92	-4,0	89
Narva-Jõesuu	-1,3	86	0,5	89	0,3	83	6,0	70	9,9	63	14,2	68	17,3	71	16,0	76	10,5	76	8,7	81	3,2	86	-0,4	92	-2,4	87	-4,6	91
Kuusiku	-0,9	88	0,9	88	0,2	85	6,9	72	10	65	14,1	72	16,0	78	15,1	87	9,8	87	8,5	91	2,6	93	-0,3	93	-3,1	92	-5,1	89



Joonis 12.3 Ööpäeva keskmine välistemperatuur ja suhteline niiskus perioodil 1.01.2008...1.03.2009.

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



Joonis 12.4 Välistemperatuur ja suhteline niiskus suvekuudel (vasakul) ja talvekuudel (paremal)

2008-2009 talveperiood oli soojem, kui paljuaastane keskmine, samas 2008. aasta suvekuude keskmine temperatuur vastas hästi paljuaastate keskmisele temperatuurile, vt. Tabel 12.4.

Tabel 12.4 Paljuaastase keskmise välistemperatuuri võrdlus suve- ja talvekuude temperatuuridega

	Juuni	Juuli	August	Detsember	Jaauar	Veebruar
Mõõteperiood	13,7...15,3°C	15,6...17,8°C	14,7...17,5°C	-1,2...+2,7°C	-0,1...-3,8°C	2,0...-6,1°C
Paljuaastane keskmine	13,3...15,6°C	15,9...17,2°C	14,6...16,6°C	-4,6...+0,3°C	-2,4...-7,6°C	-3,3...-7,4°C

12.1.3 Sisetemperatuuri hindamiskriteeriumid

Soovitusi ja nõudeid eluruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kohta võib leida nii erinevatest teaduslikest uuringutest kui ka määrustest või standarditest. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Kaugküttevõrgust või hoone katlamajast köetavas eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimeste pikemaajalisel ruumis viibimisel olla alla 18 °C. Eesti sisekliima standardi (EVS 839:2003) ja ka 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 on ruumid jaotatud kolme klassi, vt. Tabel 12.5.

Tabel 12.5 Ruumi sisekliimat mõjutavate tegurite normväärtused elamutele

Soojusliku mugavuse klass*	Ruumiõhu temperatuur, °C		Õhu liikumiskiirus, m/s		Vajalik õhuvahetus	
	Suvel	Talvel	Suvel	Talvel	l/s (inim)	l/s (m ² põrand)
A	24,5 ± 0,5	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	10	1,0
B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	7	0,7
C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	5	0,5

*Ruumi soojuslikku mugavust iseloomustatakse soojusliku mugavuse indeksiga, mis iseloomustab keha soojuslikku tasakaalu.

Kõige madalama klassi puhul on ruumiõhu temperatuuri normväärtus talvel 22 ± 3 °C ja suvel 24,5 ± 2,5 °C, vt. Joonis 12.5 vasakul. Otsest piiri suve ja talve määramiseks ei ole standardis antud. Tuginedes varasematele uurimustele (Kalamees 2006) võib kütteperioodi lõpuks pidada ööpäeva keskmist välistemperatuuri +10...+15°C. Hoonete energiatõhususe projekteerimise lähteparameetrite standardi (EVS-EN 15251:2007) kohaselt võib hoonetes, kus ei ole mehaanilist jahutust, on võimalik avada aknaid ja valida riidetust, kasutada suvel sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahelist sõltuvust, vt. Joonis 12.5 paremal. Välistemperatuuriks võib võtta eelneva 24 tunni keskmise temperatuuri või arvutada välistemperatuuri vastavalt valemile (sisaldab 7 päeva temperatuurandmeid).

$$T_{\text{m}} = \frac{T_{\text{ep-1}} + \alpha \cdot T_{\text{ep-2}} + \alpha^2 \cdot T_{\text{ep-3}} + \alpha^3 \cdot T_{\text{ep-4}} + \alpha^4 \cdot T_{\text{ep-5}} + \alpha^5 \cdot T_{\text{ep-6}} + \alpha^6 \cdot T_{\text{ep-7}}}{1 + \alpha + \alpha^2 + \alpha^3 + \alpha^4 + \alpha^5 + \alpha^6}$$

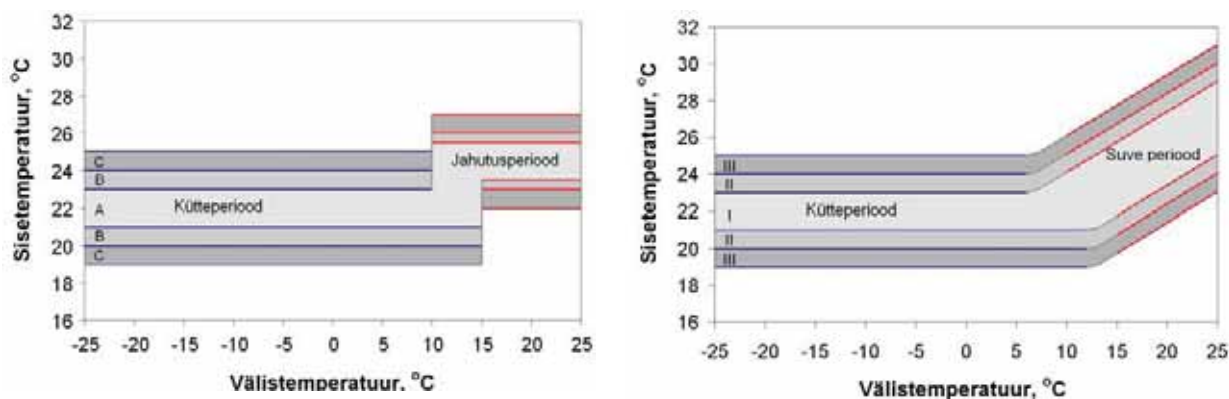
kus:

T_{m} arvutatava hetke välistemperatuur, °C;

$T_{\text{ep-1}}$ eelmise ööpäeva keskmine välistemperatuur, °C;

α kordaja 0...1 (kui kordaja on 0, siis arvestatakse vaid eelmise 24 tunni välistemperatuuri andmetega).

Varasemad uuringud (Vinha et.al. 2009) on näidanud, et tulemused ei olene sellest, kas välistemperatuur arvutatakse eelmise ööpäeva, eelmise kahe ööpäeva või eelmise seitsme ööpäeva väliskliima alusel. Seetõttu on käesolev analüüs tehtud sisekliima mõttetulemusele eelneva 24 h keskmise väliskliimaga.



Joonis 12.5 Sisetemperatuuri kriteeriumid vastavalt EVS 839:2003 ja CR 1752, 1998 standarditele (vasakul) ja vastavalt EVS-EN 15251:2007 standardile (paremal) kolmes erinevas sisekliima klassis

12.1.4 Siseõhu niiskuskooormuse arvutus

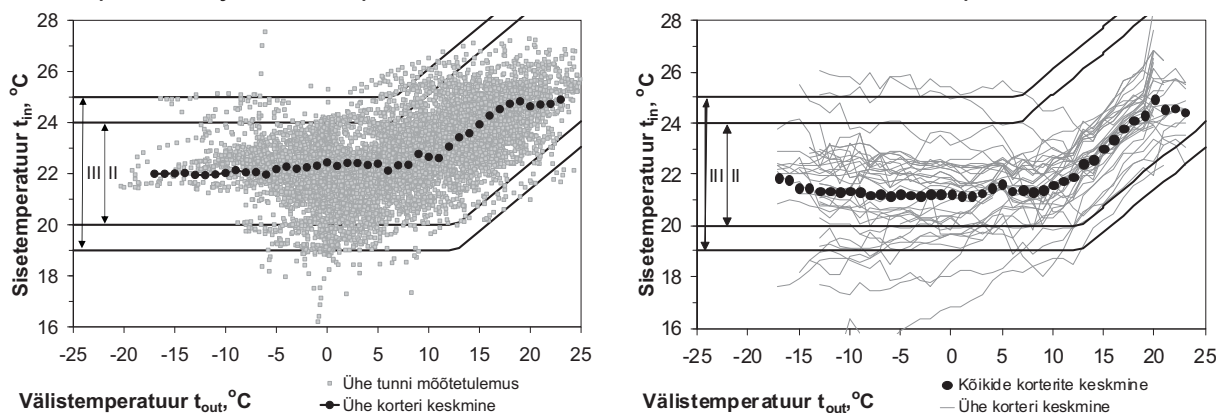
Hoonepiirete pika kasutusea üheks eeltingimuseks on nende probleemidata niiskustehniline toimivus. Sise- ja väliskliima tingimused on ühed olulisimad tegurid, mis mõjutavad hoonepiirete ja tarindite niiskustehnilist käitumist. Sisekliima ja niiskuskooormuse hindamise erinevuseks on, et kui sisekliima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

Niiskulisa analüüsis on igast korterist arvatud igale välisõhu temperatuurile vastav nädala keskmise niiskulisa maksimumsuurus. Seejärel on kõikide korterite maksimumsuurusel arvatud 90% fraktil.

12.2 Tulemused

12.2.1 Sisekliima sõltuvus välitemperatuurist

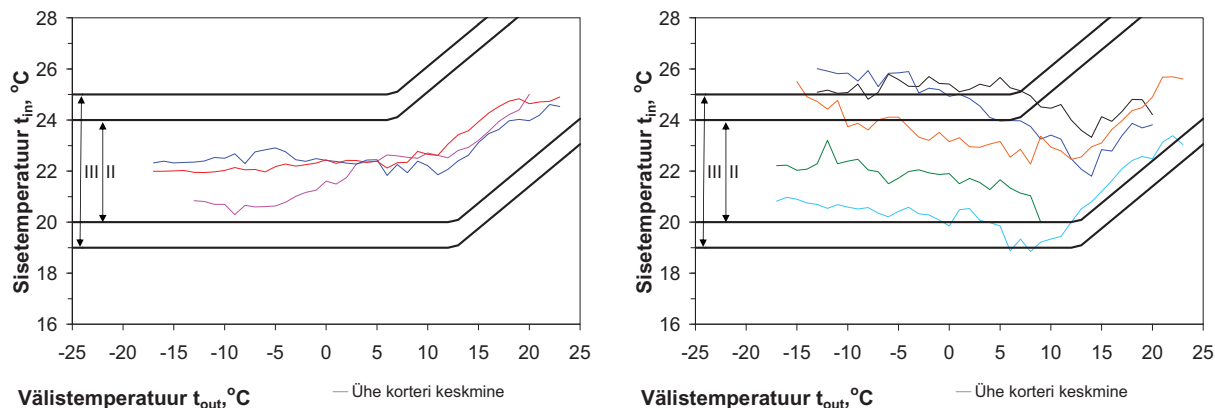
Iga korteri sisetemperatuuri mõõtetulemused jaotati vastavalt välitemperatuurile. Iga välitemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine sisetemperatuur, mis loeti esindama selle korteri sisetemperatuuri (vt. Joonis 12.6 vasakul). Kõikide mõõdetud korterite keskmised sisetemperatuuri ja välitemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 12.6 paremal.



Joonis 12.6 Sisetemperatuuri sõltuvus välitemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välitemperatuurist suurpaneelilamutes (paremal).

Enamikus mõõdetud korterites oli küttesüsteemiks ühetorusüsteemiga radiaatorküte ilma temperatuuri korterisisese reguleerimise võimaluseta. Sellisel puhul sõltub sisetemperatuur

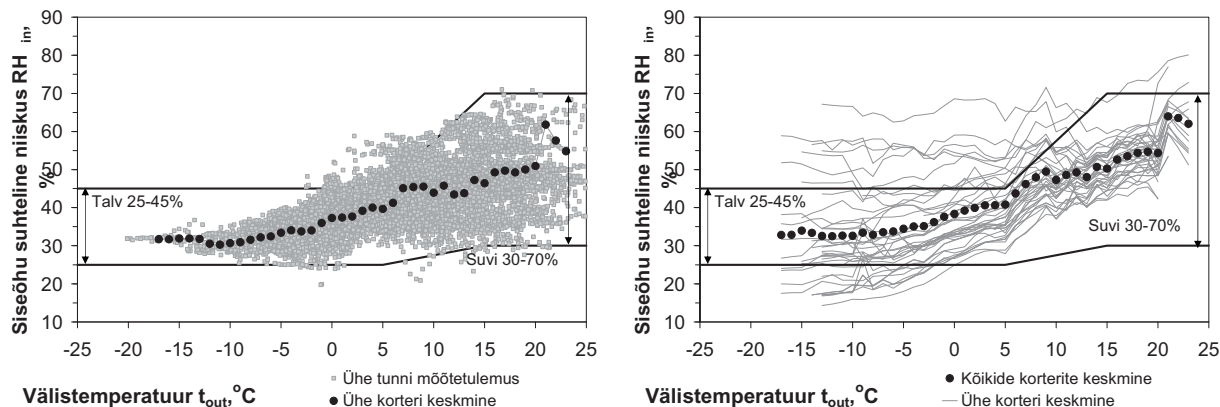
erinevatel välistemperatuuridel otseselt soojussõlme reguleerimisgraafikust (välistemperatuurist sõltuva küttevete temperatuuri sõltuvuse tõusunurk ja graafiku tase). Kui soojusregulaatori graafiku kaldenurk ja tase on õiged, siis keskmine ruumitemperatuur kütteperioodil sõltub vähe või ei sõltu üldse välistemperatuurist (vt. Joonis 12.7, vasakul). Kui soojusregulaatori graafik on paigast ära (vt. Joonis 12.7, paremal), võib tulemuseks olla ruumide ülekütmine või sisetemperatuuri oluline muutus välistemperatuuri muutumisel.



Joonis 12.7 Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist suurpaneelilamutes (paremal).

Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist

Iga korteri siseõhu suhtelise niiskuse mõõtetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine siseõhu suhteline niiskus, mis loeti esindama selle korteri suhtelist niiskust (vt. Joonis 12.8 vasakul). Kõikide mõõdetud korterite keskmise siseõhu suhtelise niiskuse ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 12.8 paremal.

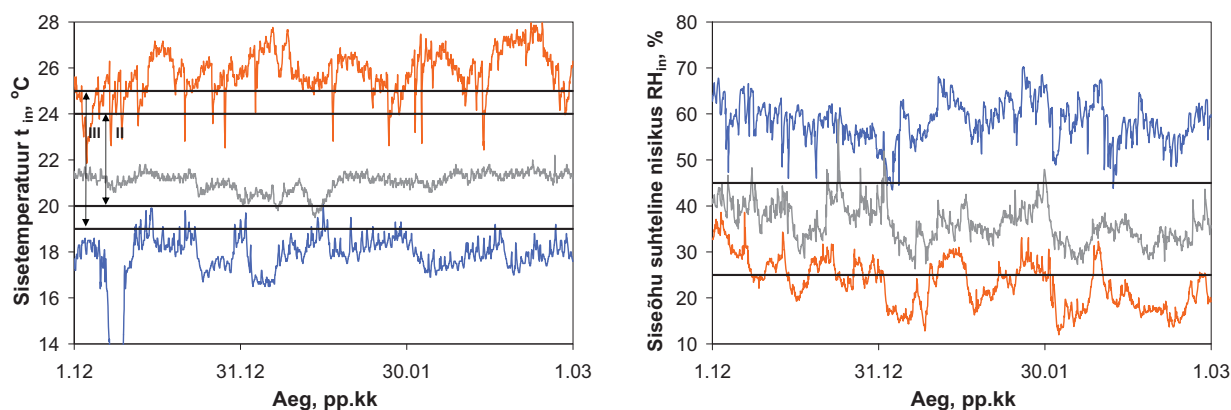


Joonis 12.8 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja keskmine siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist suurpaneelilamutes (paremal).

Kuigi keskmine suhteline niiskus suurpaneelilamutes jääb sisekliima standardi soovituslike piiride sisse (talvel 25...45 % ja suvel 30...70 %) on näha mõõtetulemuste suurt hajuvust.

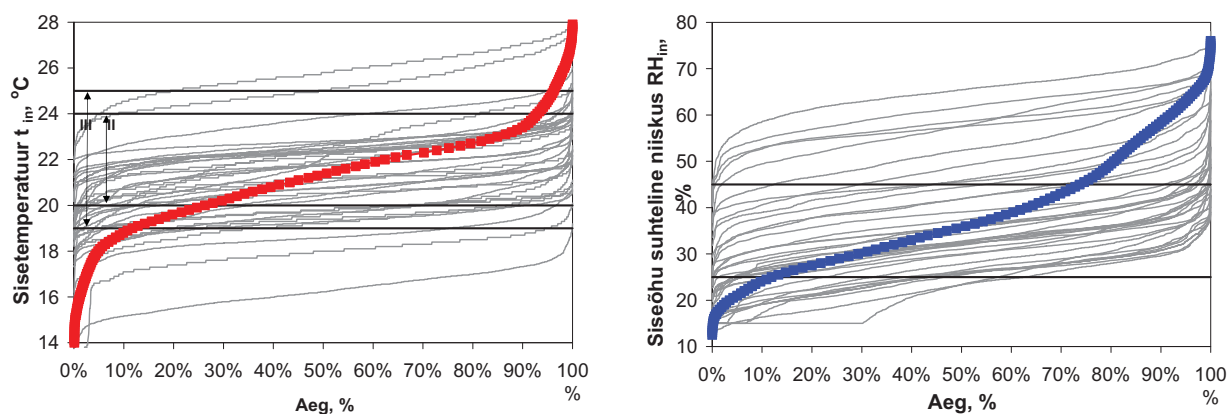
12.2.2 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel

2008.-2009. aasta talvel oli sisetemperatuur mõõdetud korterites vahemikus +12 °C ja +28 °C vahemikus ja siseõhu suhteline niiskus oli 12 % ja 78 % vahemikus. Keskmine sisetemperatuur oli +21,3 °C (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus +16,3 °C ja +25,8 °C). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 37% (korterite talveperioodi keskmise suhteline niiskus oli vahemikus 23 % ja 65 %). Kolme korteri (kõrgeim, madalaim ja keskmine) sisetemperatuur ja suhteline niiskus vt. Joonis 12.14.



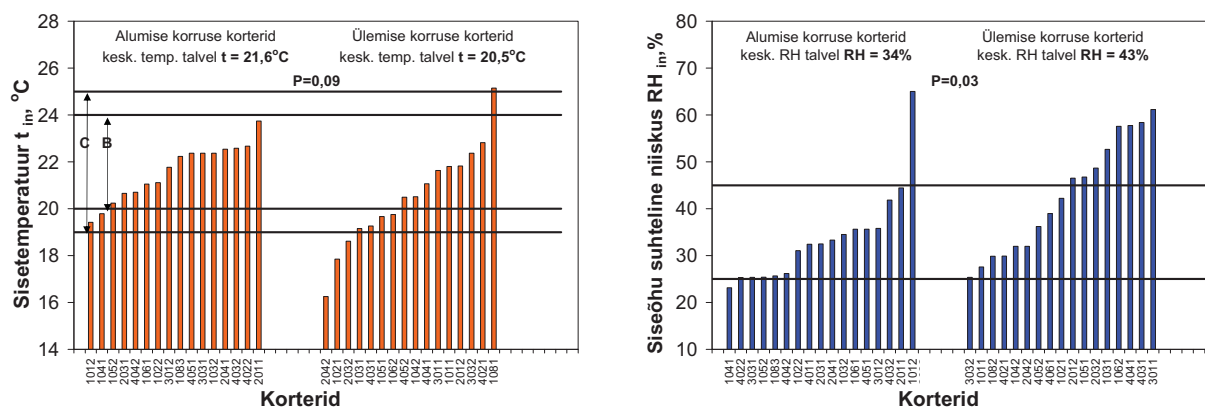
Joonis 12.9 Kolme suurpaneelilamute korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) talvel

Kõikide korterite sisetemperatuuride ja suhtelise niiskuse jaotus vt. Joonis 12.15. Erinevate korterite vahel on sisekliima erinevus väga suur.



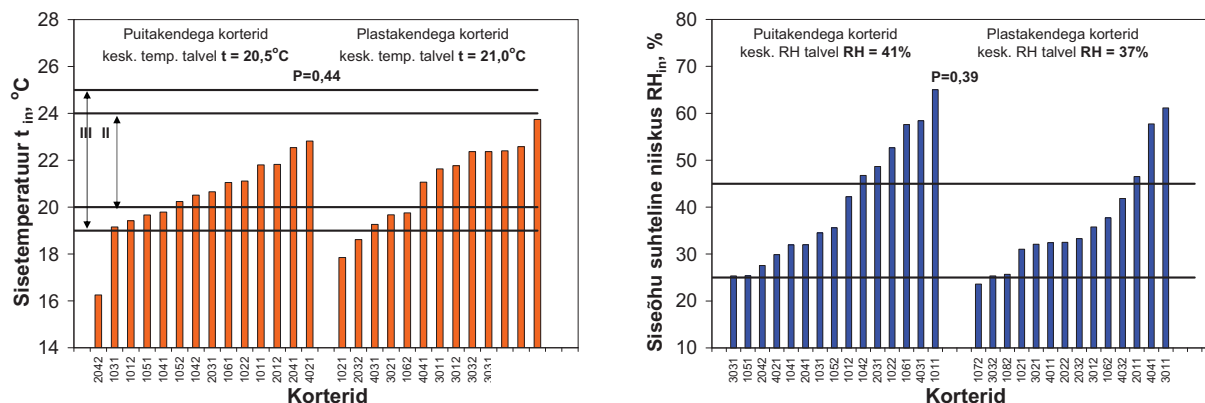
Joonis 12.10 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus talvel

Võrreldes alumiste ja ülemiste korruste korterite sisetemperatuure, näeme (vt. Joonis 12.15 paremal), et sisetemperatuur ülemise korruse korterites oli ligikaudu ühe kraadi võrra madalam. Samas oli keskmise temperatuuri kõikumine ülemise korruse korterites suurem. Suhteline niiskus oli ülemise korruste korterites oluliselt (erinevus $RH10\%$, $P=0,03$) kõrgem. Osaliselt on see põhjustatud madalamast temperatuurist, osaliselt väiksemast õhuvahetuvusest.



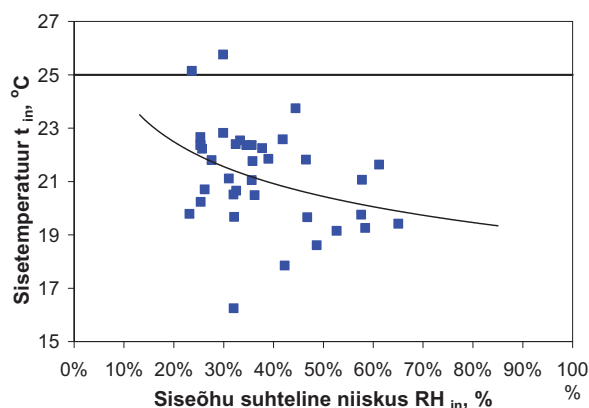
Joonis 12.11 Alumiste korruste ja ülemiste korruste korterite sisetemperatuuri (vasakul) ja suhtelise niiskuse võrdlus (paremal) talvel.

Erinevalt korruselisusest ei olnud akende raamimaterjalil olulist mõju sisetemperatuurile või suhtelisele niiskusele, vt. Joonis 12.12.



Joonis 12.12 Aknaraami materjali mõju korterite sisetemperatuurile (vasakul) ja suhtelisele niiskusele (paremal) talvel.

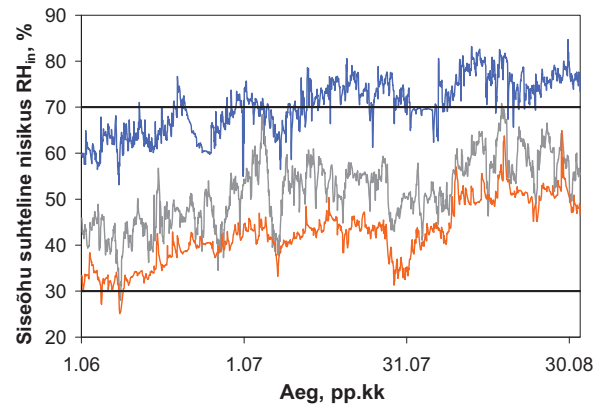
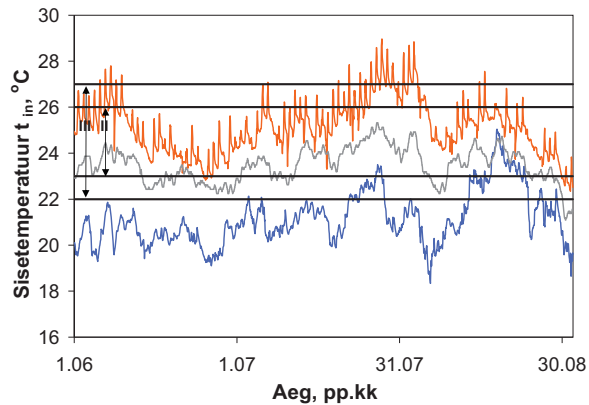
Siseõhu suhteline niiskus sõltub otseselt sisetemperatuurist (vt. Joonis 12.13), väliskliimast (õhu veeaurisisaldus, temperatuur), niiskustootlusest siseruumides ja ventilatsioonist, mistõttu ei saa ainult suhtelise niiskuse alusel öelda, kas siseruumides on suur või väike niiskukoormus. Seetõttu on siseõhu niiskukoormusi käsitletud eraldi peatükis, vt. 12.4 Niiskukoormused korterites.



Joonis 12.13 Keskmise siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus sisetemperatuurist talvel.

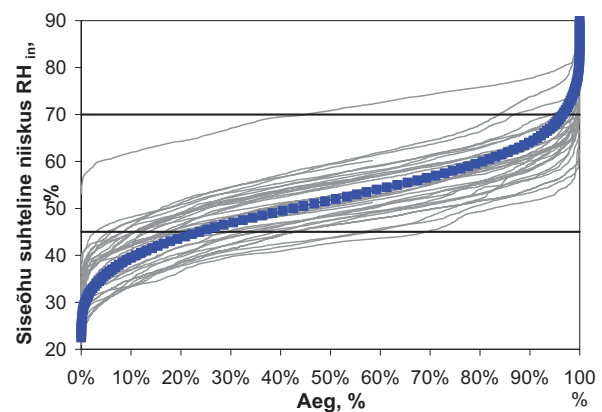
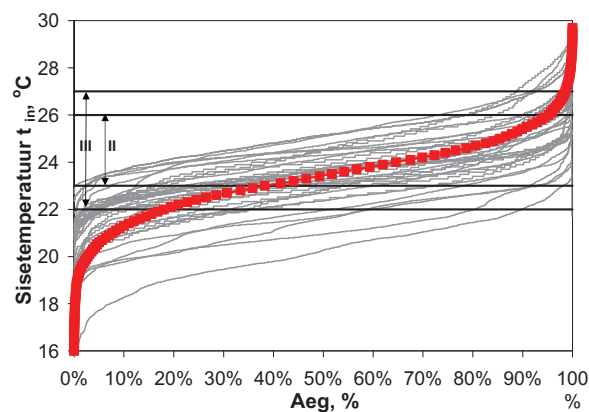
12.2.3 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel

2008. aasta suvel oli sisetemperatuur mõõdetud korterites vahemikus +16 °C ja +30 °C ja siseõhu suhteline niiskus oli 21 % ja 91 % vahemikus. Keskmise sisetemperatuur suvel oli +23,4 °C (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus 20,2 °C ja +25,2 °C). Keskmise siseõhu suhteline niiskus oli 52% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 43 % ja 70 %). Kolme korteri (kõrgeim, madalaim ja keskmine) sisetemperatuur ja suhteline niiskus vt. Joonis 12.14.



Joonis 12.14 Kolme suurpaneelilamute korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) suvel

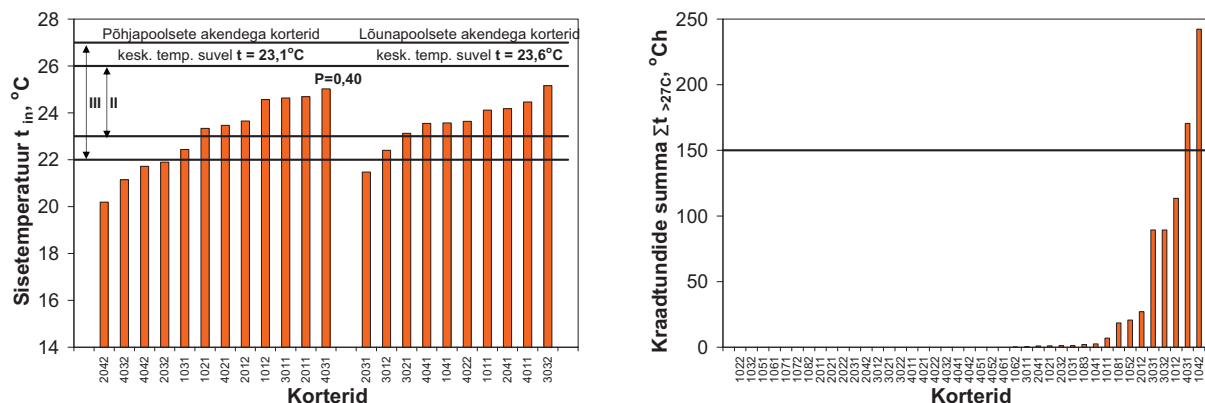
Kõikide korterite sisetemperatuuride ja suhtelise niiskuse jaotus vt. Joonis 12.15. Erinevate korterite vahel on sisekliima erinevus väga suur.



Joonis 12.15 Kõikide korterite sisetemperatuuride (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) jaotus suvel

Suvel mõjutab sisetemperatuuri kõige enam piirdetarindite lahendus ja akende suurus ning suund. Põhja poole suunatud akendega ruumides oli sisetemperatuur madalam kui lõuna poole suunatud akendega ruumide sisetemperatuur (vt. Joonis 12.16). Kuid see erinevus oli väike (0,5 °C) ja erinevus ei olnud statistiliselt oluline ($P=0,4$).

Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete määrusele loetakse suvise ruumitemperatuuri nõue täidetuks, kui ruumitemperatuur ei ületa 27 °C (jahutuse temperatuuriseadet) elamutes rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 1. juuni - 31. august. 150 kraadtunni piir ületati kahes korteris. Kuna 2008. aasta suvekuude keskmine temperatuur vastas hästi paljuaastate keskmisele temperatuurile, võib tõdeda, et suvised kõrged sisetemperatuurid ei ole raudbetoon-suurpaneelilamute suurim probleem.

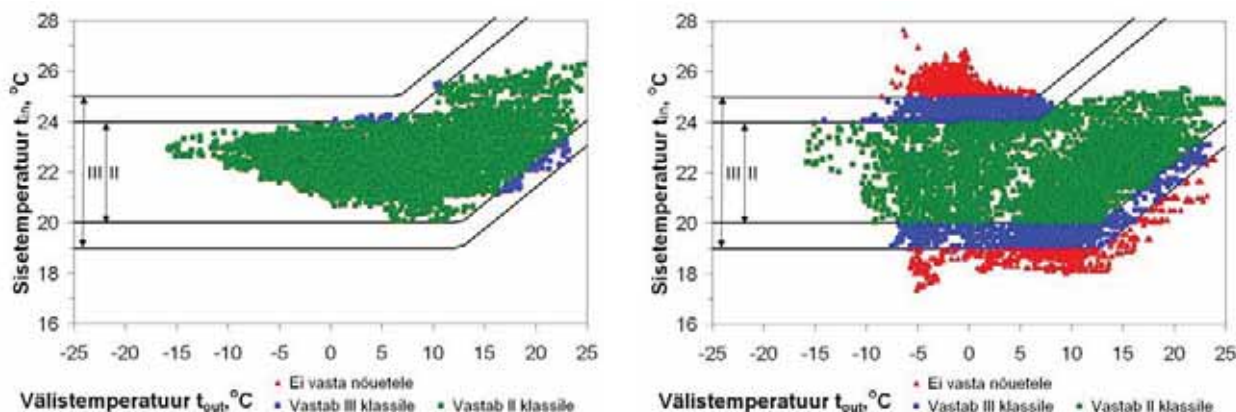


Joonis 12.16 Erinevasse ilmakaarde suunatud akende mõju sisetemperatuurile (vasakul) ja suhtelise niiskuse võrdlus (paremal) suvel. 27 °C ületavate kraadtundide arv suvel (paremal).

12.3 Sisetemperatuuri vastavus standardi sihtarvudele

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

Korterite soojuslikku olukorda on hinnatud vastavalt EVS-EN-15251 standardi keskmise (II) ja madalaima (III) sisekliima klassi piirsuurustega, vt. Joonis 12.5 paremal. Erinevates korterites oli vastavus standardi soovitustele erinev, vt. Joonis 12.17.



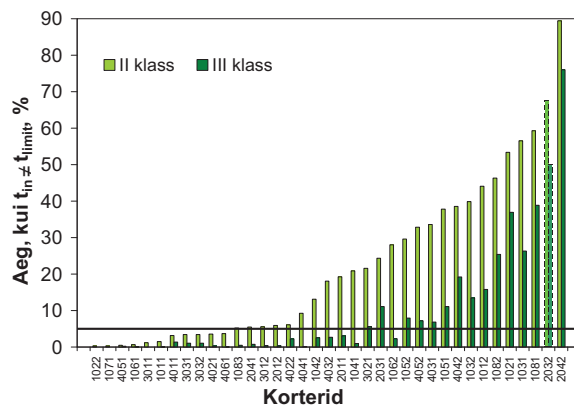
Joonis 12.17 Hea standardile vastavusega korteri (vasakul) ja halvema standardile vastavusega korteri (paremal) sisetemperatuuride võrdlus.

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

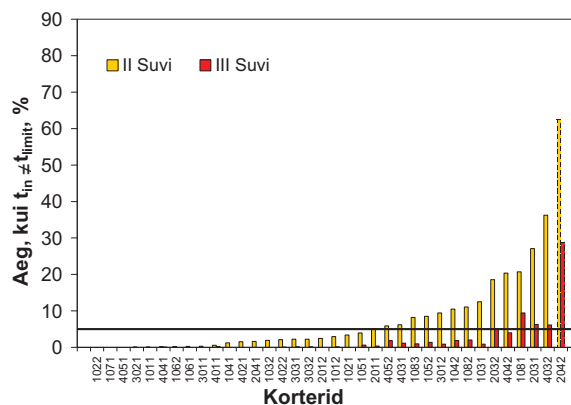
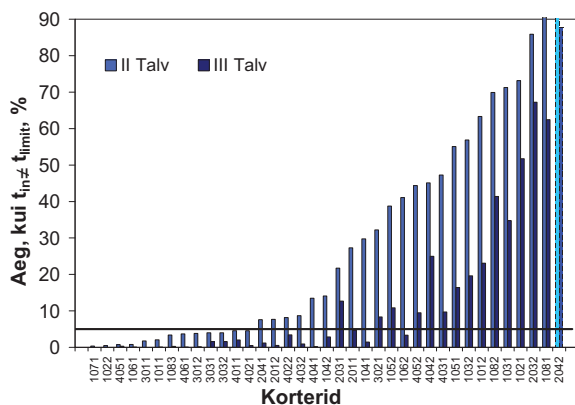
- A: protsent ajast, kui sisetemperatuur ületab standardi temperatuuri juhtarve. EVS-EN 15251:2007, soovib temperatuuri ületavate tundide protsentuaalseks piiriks pidada 3% või 5%;
- B: kaalutud tundide arv, kui sisetemperatuur ületab standardi temperatuuri juhtarve;
- C: kaalutud tundide arv, kui tegelik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

Käesolevas töös on korterite soojuslikku olukorda hinnatud kahe esimese meetodi alusel. Temperatuuride juhtarve ületava aja piirsuuruseks on kasutatud 5%. 41% korterites (5%

piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud sisetemperatuur madalaima sisekliimaklassi III piirsuurustele, vt. Joonis 12.18 (41% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 14% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil, vt. Joonis 12.19). Sisekliimaklassi II temperatuurinõuded ületati 70% korterites (65% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 42% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil).

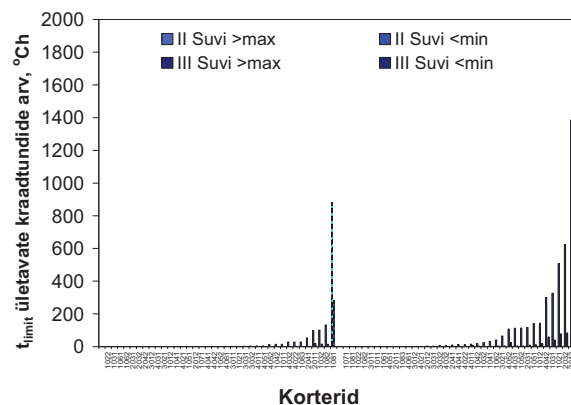
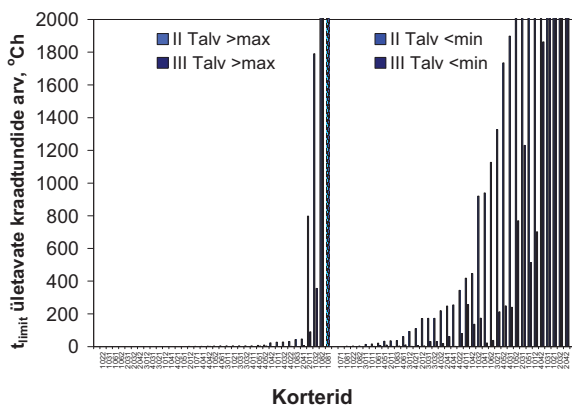


Joonis 12.18 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kogu aasta lõikes



Joonis 12.19 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kütteperioodil (vasakul) ja suveperioodil (paremal)

Sisetemperatuuride piirsuurustele mittevastavate kraadtundide arvu (vt. Joonis 12.20) analüüsid on näha, et suurpaneelilamutes on probleem talviste liiga madalate temperatuuridega. Seal on piirtemperatuuridele mittevastavus kõige suurem.



Joonis 12.20 EVS-EN-15251 standardi piirtemperatuuridele mittevastav aeg kütteperioodil (vasakul) ja suveperioodil (paremal)

Võrreldes teistes naaberriikides tehtud uuringutega, iseloomustab Eesti suurpaneelamute sisekliimat madalam temperatuur ja kõrgem suhteline niiskus, vt. Tabel 12.6.

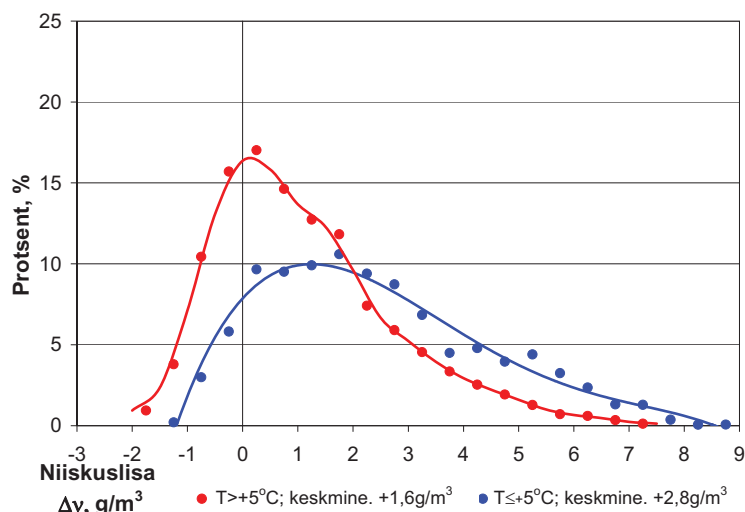
Tabel 12.6 Erinevatest sisekliima uuringute kütteperioodi temperatuuri ja suhtelise niiskuse tulemuste võrdlus

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

12.4 Niiskuskoormused korterites

Niiskuskoormusi korterites on analüüsitud niiskuslisa abil. Niiskuslisa suurus näitab sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevust.

Niiskuslisa võrdlus külmal perioodil ($t_{\text{out}} \leq +5^\circ\text{C}$) ja muul ($t_{\text{out}} > +5^\circ\text{C}$) perioodil vt. Joonis 12.21. Niiskuslisa tulemuste võrdlus erinevate alajaotuste vahel vt. Joonis 12.6. Tabelis on toodud ventilatsiooni mõjutavate ehituslike mõjude (korterite korruse ja akende vahetamise) mõju niiskuslisaale. On näha, et mõlemad komponendid, mis mõjutavad ventilatsiooni, mõjutavad otseselt ka niiskuskoormust. Kahe komponendi kombineerumisel suureneb mõju veelgi. Väikese valimi tõttu erinevused absoluutarvudes ei olnud statistiliselt olulised.

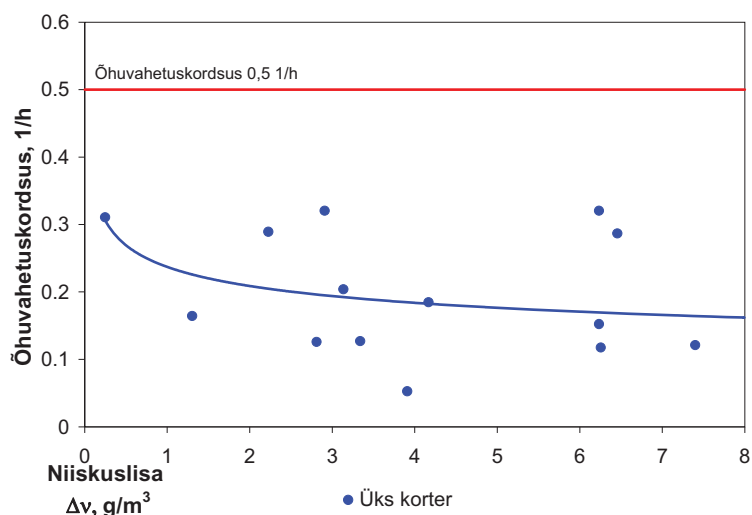


Joonis 12.21 Niiskuslisa jaotus külmal perioodil ($t_{\text{out}} \leq +5^\circ\text{C}$) ja muul ($t_{\text{out}} > +5^\circ\text{C}$) perioodil

Tabel 12.7 Niiskuslisa keskmise suuruse võrdlus erinevate alajaotuste vahel

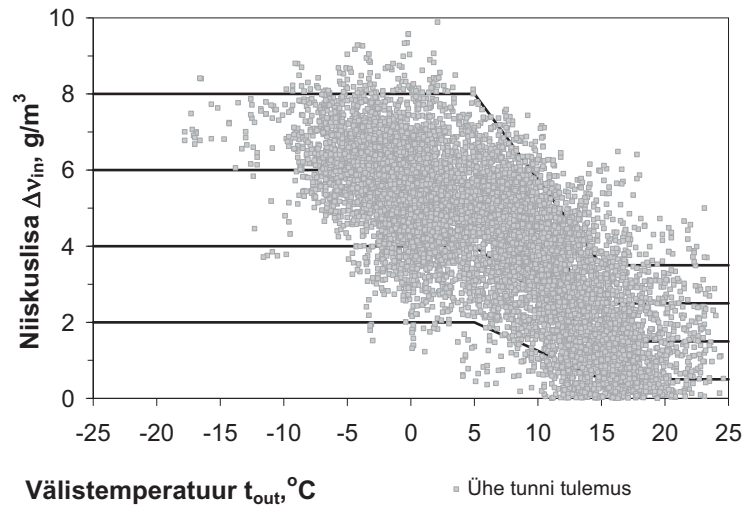
	Nädala keskmine niiskuslisa Δv_{in} , g/m ³	
	Keskmine välistemperatuur $t_{out} \leq +5^\circ\text{C}$	Keskmine välistemperatuur $t_{out} > +5^\circ\text{C}$
	Δv	Δv
Kõik korterid (39 tk.)	+2,8	+1,6
Hoone alumiste korruse korterid (15 tk.)	+2,4	+1,6
Hoone ülemiste korruse korterid (23 tk.)	+3,2	+1,7
Vanade akendega korterid (14 tk.)	+2,3	+1,4
Uute akendega korterid (15 tk.)	+3,4	+1,9
Alumised korrused + vanad aknad (7 tk.)	+2,2	+1,3
Ülemised korrused + uued aknad (7 tk.)	+3,6	+1,7

Ventilatsiooni õhuvahetuskordsuse ja niiskuslisa omavaheline sõltuvus vt. Joonis 12.22. Väiksem õhuvahetus ruumides suurendab niiskuskoormust. Lisaks ventilatsioonile mõjutab niiskuslisa suurust ka niiskustootlus siseruumides. Niiskustootlust mõjutavad elanike arv korteris, pesu kuivatamine korteris, vee kasutus jne. Tänapäeval kuivatavad korterelamute elanikud pesu õues harva. Kui rõdu on korteris kinni ehitatud, jääb ainukeseks võimaluseks kuivatada pesu siseruumides. See suurendab aga oluliselt siseruumide niiskuskoormust. Joonis 12.22 näitab ka, et loomuliku ventilatsiooni õhuvahetuskordsus on üle kahe korra väiksem, kui normaalne miinimum: 0,5 1/h (õhk vahetub korteris iga kahe tunni järel).



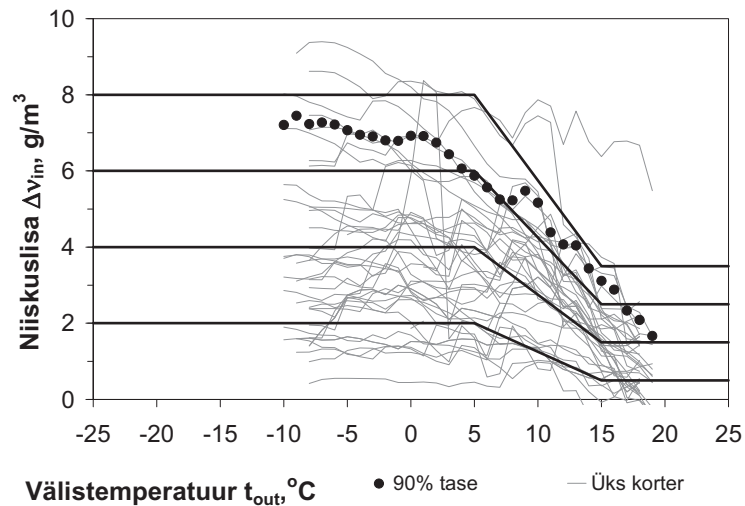
Joonis 12.22 Ventilatsiooni õhuvahetuskordsuse ja niiskuslisa omavaheline sõltuvus

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 12.23).

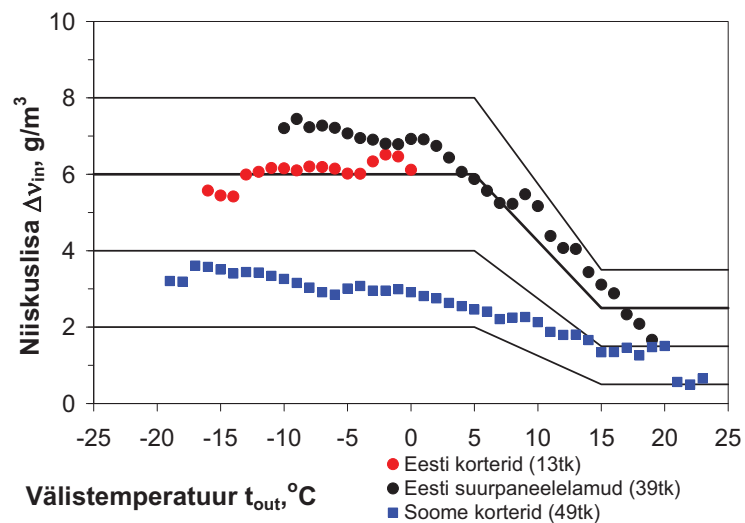


Joonis 12.23 Niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris

Niiskuslisa arvutussuurus niiskustehnilisteks arvutusteks esindab niiskuslisa 90% kriitilise tasemel. See suurus on arvatud kõikide korterite maksimumsuurustest (vt. Joonis 12.24).



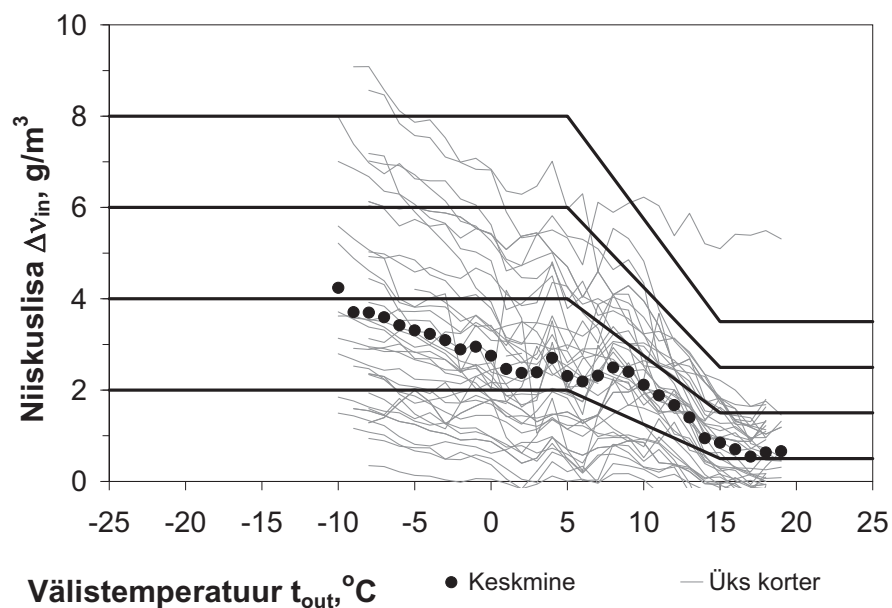
Joonis 12.24 Niiskuslisa arvutussuuruse (90% kriitilise tasemel) sõltuvus välistemperatuurist uuritud suurpaneelilamute korterites



Joonis 12.25 Suurpaneel lamute niiskuskulisa arvutus suuruse (90 % kriitilisuse tasemel) võrdlus varasema uuringuga Eestis (Kalamees 2006) ja võrdlus Soome korterelamutega

Suurpaneel lamute niiskuskulisa arvutus suuruse (90 % kriitilisuse tasemel) võrdlus varasema uuringuga Eestis (Kalamees 2006) ja võrdlus Soome korterelamutega (Vinha jt. 2009) (vt. Joonis 12.25) näitab, et, võrreldes varasemate uuringutega, olid uuritud suurpaneel lamutes oluliselt suuremad niiskuskoozumused. Selle peamine põhjus on puudulik ventilatsioon ja suur niiskustootlus (suur asustustihedus, pesu kuivatamine siseruumides jne). Kui Eesti korterelamutes varasemate tehtud uuringute alusel oli niiskuskulisa arvutus suuruse 6 g/m³, siis praegused uuringud näitasid oluliselt suuremat niiskuskoozumust. Arvestades suurpaneel lamute välispiiretes olevaid suuri külmasildasid, on see väga murettekitav. Ventilatsiooni tõhustamine niiskuskoozumuste alandamiseks ja välispiirete lisasoojustamine piirete sisepinnatemperatuuride tõstmiseks on mõödapääsmatu.

Niiskuskulisa keskmise taseme sõltuvus suurpaneel lamute korterites vt. Joonis 12.26.



Joonis 12.26 Niiskuskulisa keskmise suuruse sõltuvus välistemperatuurist uuritud suurpaneel lamute korterites

13 Ventilatsiooni toimivus ja siseõhu CO₂ sisaldus

Ventilatsioon on seadmete ja meetmete kogum selleks, et õhuvahetuse abil tagada ettenähtud sisekliima parameetrid. Ventilatsiooni eesmärk on õhu puhtuse tagamine.

Vanades rb-suurpaneelamutes ei vasta korterite sisekliima tihti nõuetele. Selle peamiseks põhjuseks võib pidada asjaolu, et õhuvahetuse tagamine nendes hoonetes on ette nähtud loomuliku ventilatsiooniga, mis aga alati ei taga piisavat õhuvooluhulka.

Siseõhus ei tohi olla kahjulikus koguses gaasilises või hõljuvas olekus lisandeid või mikroorganisme. Hoonete elu-, puhke- ja tööruumides tasub eriti jälgida radooni sisaldust ja gammakiirgust. Sealhulgas on määratud ka süsihappegaasi lubatud kontsentratsioon siseõhus, vt. Tabel 13.1.

Tabel 13.1 Süsihappegaasi lubatud kontsentratsioon siseõhus.

Soojusliku mugavuse klass	Ühik	
	mg/m ³	ppm
A	< 1800	< 1000
B	< 2250	< 1250
C	< 2700	< 1500

Sisekliima mittevastavusel nõuetele võib hoonetes tekkida probleeme, mis mõjutavad ehitise konstruktsiooni ja viimistlusmaterjale, kuid võivad mõjutada ka inimese tervist.

Hoonetes, kus on probleeme niiskusega, tekivad reeglina hallitusprobleemid. Hallitusseened suudavad alustada kasvu, kui suhteline õhuniiskus on >70-80%, ning kasv üha intensiivistub, kui õhu suhteline niiskus suureneb kuni 100%. See tähendab, et niiske õhu kondenseerumisel külmale seinale tekkivast veest piisab, et hallitusseened saaksid hakata kasvama. Tänapäevaste, tihedalt suletavate akende kasutamisel suureneb kondensatsioonirisk veelgi. Seega on oluline tagada vajalik õhuvooluhulk kõikides ruumides ventilatsiooniavade rajamise või mehaanilise ventilatsiooniga. Kõrvuti ebameeldiva lõhna ja pinnaviimistluse hävimisega võivad hallitused põhjustada allergiat ja nn „haige hoone sündroomi“. Inimesed, kelle immuunsüsteem puutub pidevalt kas kodus või tööl kokku hallitustega, võivad muutuda ülilitundlikuks. Väiksemgi kokkupuude hallitusseentega võib neil esile kutsuda tugeva vastureaktsiooni.

Pärast akende uuendamist võivad korteris ilmnedu tõsised ventilatsiooniprobleemid. Puitaknaid võib nendele kogunev kondensatsioonivesi sedavõrd paisutada, et neid on võimatu avada. Seina ligi paikneva mööbli tagusel tapeedil ja aknaraamidil hakkavad kasvama hallitusseened. Probleemi olemuse selgitamine võib nõuda tõelist detektiivitööd. Probleemide ennetamiseks tuleb akende uuendamisel renoveerida ka ventilatsioon. Kui varem on akendel olnud õhutusavad, siis tuleb need teha ka uutele akendele või paigaldada lisaventilatsioon.

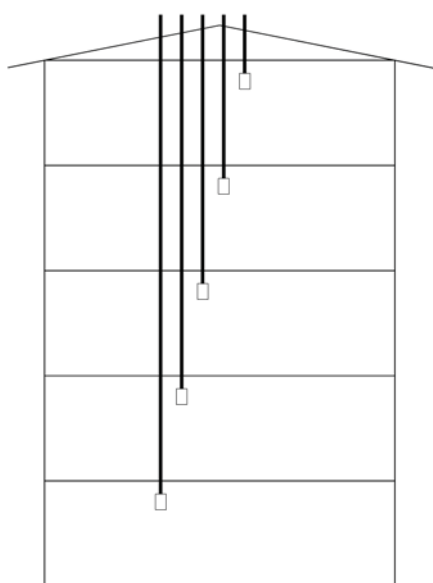
Mehaanilise ventilatsiooni seadmed on mõnikord ebaotstarbekalt ehitatud. Näiteks juhul, kui õhk siseneb ventilatsiooniseadmetesse maapinna lähedal, kus leidub palju hallitusseeni, või kui ventilatsiooniseadmetesse on paigaldatud müra isoleeriv materjal või filter, mis soodustab niiskuse kondenseerumist ja seega ka hallitusseente kasvu. Arvatav värske õhk sisaldab seetõttu juba algselt palju seeneeoseid. Ventilatsiooniseadmete sisemuses on sageli paks tolmuhiht ja levib iseloomulik kopitanud lehk. Soovitav on, et õhk siseneks ventilatsiooniseadmesse ülalt ja süsteemi oleks võimalik kogu ulatuses puhastada ja desinfitseerida. Sageli pole ventilatsioonisüsteeme puhastatud nende paigaldamisest alates. Oluline on tagada süsteemi regulaarne puhastamine ja filtrite vahetus vastavalt tootja ettekirjutustele. Tähelepanu tuleb juhtida probleemile, et mehaaniline ventilatsioon lülitatakse sisse koos valgustusega. See tähendab, et ventilatsioon töötab ainult siis, kui ruumi kasutatakse. Muul ajal on ventilatsioon vähene, sest ventilaator takistab õhu vaba läbivoolu.

Kui õhk puhutakse ruumi läbi mehaaniliste ventilatsiooniseadmete, on oluline regulaarne koristamine, sest ventilatsioon võib ruumis leiduva tolmu õhku laiali puhuda ja tekitada seega täiendavaid probleeme.

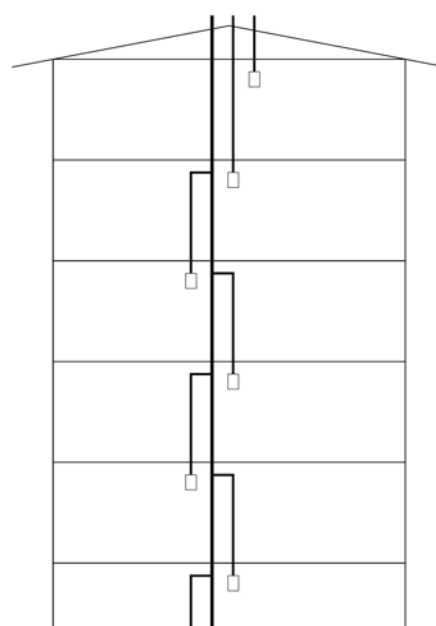
13.1 Ventilatsiooni lahendused

Enne 1990. aastat ehitatud suurpaneelilamutes on reeglina loomulik ventilatsioon. Värske õhk tuuakse ruumidesse piirete ebatiheduste kaudu. Väljatõmme toimub väljatõmberestide ja ehituslike ventilatsioonikanalite süsteemi kaudu.

Ehituslike ventilatsioonikanalite süsteeme on põhiliselt kahte tüüpi. 5-korruselistel paneelilamutel on reeglina iga korteri kohta oma ventilatsioonikanal. 9-korruselistel paneelilamutel on reeglina ülemiste korruse korterite jaoks omaette ventilatsioonikanal, alumiste korterite ventilatsioonikanalid ühenduvad emakanalisse. Ventilatsioonikanalite süsteemide põhimõttelised lahendused vt. Joonis 13.1.



5-korruselise paneelilamute ventilatsioonikanalite põhimõtteline skeem



9-korruselise paneelilamute ventilatsioonikanalite põhimõtteline skeem

Joonis 13.1 Erinevate hoonete ventilatsioonikanalite põhimõttelised lahendused.

Loomuliku ventilatsiooni puhul hakkab õhk liikuma põhiliselt välis- ja siseõhu tiheduste erinevuse tõttu ning tuule mõjul. Õhu tihedus sõltub õhu temperatuurist. Samuti mõjutab ventilatsioonikanali kõrgus, aastaaeg, hoone asukoht. Loomuliku ventilatsiooni igast väljatõmberestist juhitakse väljatõmbekanal katusest kõrgemale või emakanalisse, mis omakorda juhitakse katusest kõrgemale.

Loomuliku ventilatsiooni puhul on probleemiks, et kui pole temperatuurierinevust või tuult, siis õhk kanalites ei liigu. Kui samaaegselt pole võimalik tugevdada ventileerimist kõigis ruumides akende avamise teel, on oht, et õhuvahetus jääb liiga väikeseks. Seda eriti suvel, mil on oht, et õhu niiskussisaldus võib tõusta liiga kõrgeks. See võib omakorda põhjustada ehitus ja viimistlusmaterjalide hallitamist ja mädanemist. Õhk võib loomuliku ventilatsiooni kanalites liikuda ka vales suunas ja põhjustada hügieeni- ja tuuletõmbeprobleeme.

13.2 Ventilatsioonisüsteemide olukord

Suurpaneelilamutesse on originaallahendusega projekteeritud loomulik õhuvahetus: väljatõmme köögist, WC-st ja vannitoast ning välisõhu juurdevool läbi akende ja piirdetarindite ebatiheduste. Loomuliku ventilatsiooni tingimustes oleneb õhuvahetus hoonepiirete (eeskätt akende) õhupidavusest, välis- ja sisetemperatuuri vahest, tuule tugevusest ja suunast, vertikaalse ventilatsioonikanali kõrgusest ja seisukorrast. Renoveerimata elamute alumistel korrustel võib õhuvahetus talvel olla isegi liiga suur, suvel aga liiga väike. Ülemiste korruste korterites on õhuvahetus üldjuhul alati ebapiisav. Ülemistel korrustel olid projektis ette nähtud väljatõmbeventilaatorid, mis aga puuduvad või on eemaldatud. Loomuliku ventilatsiooniga ei ole võimalik kindlustada vajalikku õhuvahetust, eriti suurpaneelilamute viimastel korrustel. Loomulik õhuvahetus väheneb väga oluliselt akende vahetusega.

Loomuliku ventilatsioonisüsteemiga hoonetes oli ette nähtud kompensatsiooniõhu juurdevool läbi akende ebatiheduste. Uute akende puhul on õhu juurdevool tunduvalt vähenenud. Piirete renoveerimisel on ka infiltratsiooni õhuvooluhulk vähenenud. Tulenevalt sellest ei suuda loomulik ventilatsioon tagada hoonetes nõutavat sisekliimat. Nõrk ventilatsioon või ventilatsiooni puudumine tähendab, et saastunud õhku ei eemaldata ruumist. Seega ei ole kindlustatud inimese elutegevuseks vajaliku värsket õhuvooluhulk ja selle loomulik ringlemine ning ei ole tagatud tasemel mikrokliima. Puuduliku ventilatsiooni tõttu võivad hoonetes hakata vahama hallitus ja selle laguproduktid. Samuti võib hoones välja kujuneda „haige hoone sündroom“.

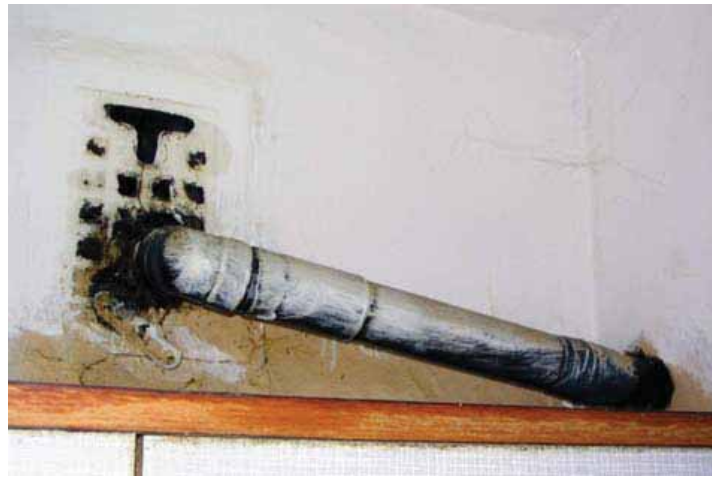
Mitmetes hoonetes ei ole ehituslikud ventilatsioonikanalid korras. Ventilatsioonikanalid on ummistunud, ebatihedad, ühele kanalile on ühendatud mitmed korterid. Ventilatsiooni renoveerimist tuleb alustada olemasoleva olukorra selgitamise, ventilatsioonikanalite uurimise ja kaardistamisega. Vajadusel tuleb ventilatsioonikanalid puhastada ning tihendada. Tuleb kontrollida, kas korterid on ühendatud õige ventilatsioonikanaliga.

Tuul võib põhjustada ka ventilatsioonikorstnatest sissepuhumist, mistõttu on korstnaid katusel ja korterites suletud, vt. Joonis 13.2, Joonis 13.3. Esineb ka juhtumeid, kus korteri ventilatsiooniava on kapiga suletud või avad on nii tolmused, et õhk sealt läbi ei käi, vt. Joonis 13.3.

Suurpaneelilamute ventilatsiooni renoveerimine on hädavajalik.



Joonis 13.2 Ventilatsioonilõõrid on katusel suletud.



Joonis 13.3 Ventilatsioonilõõrid on siseruumides suletud või olukorras, mis takistavad õhu läbivoolu.

Probleeme võib tekitada ka ventilatsioonikanalite hermeetilisus või kui ventilatsioonikanalite paneelid ei ole kohakuti ja õhuvool on takistatud, vt. Joonis 13.4.



Joonis 13.4 Ventilatsioonikanalite paneelid ei ole kohakuti: erinevate korterite õhuvool on takistatud ja õhuvoolud segunevad

13.3 Tulemused

13.3.1 CO₂ kontsentratsiooni põhjal arvatud õhuvahetus uuritavates suurpaneelamutes.

Tervislikku ja mugavat sisekliimat on vaja kõikides hoonetes. Elanike kaebused hoone ning hoone tehnosüsteemide puuduste ja eksploatatsioonikulude kohta on põhjusteks, miks hoonete seisukorda uuritakse ning neid hooneid renoveeritakse.

Sobivate renoveerimisvõimaluste analüüsiks ja valikuks on kõigepealt vaja teada hoone olemasolevat seisukorda.

Sisekliima olukorra hindamise protsess on üldplaanis järgmine:

- hinnatakse sisekliima probleeme elanike ja teenindava personali küsitluse kaudu;
- uuritakse ventilatsioonisüsteemi tööd, olukorda ning võrreldakse seda normides nõutuga;
- uuritakse õhuvooluhulkasid, õhurõhkude erinevust ning hoone õhutihedust;
- uuritakse küttesüsteemi tööd, olukorda;
- uuritakse piirete ning muude konstruktsioonelementide seisukorda, näiteks niiskuskahjustusi ja nende seost ventilatsiooniga;
- mõõdetakse sisekliima parameetreid (temperatuur, niiskus, saasteainete sisaldus).

Üheks võimaluseks hinnata sisekliimat ja ventilatsiooni on mõõta ruumiõhu CO₂ taseme muutumist ajas.

Ruumi õhuvahetuse saab arvutada järgneva valemiga (Kõiv 2007):

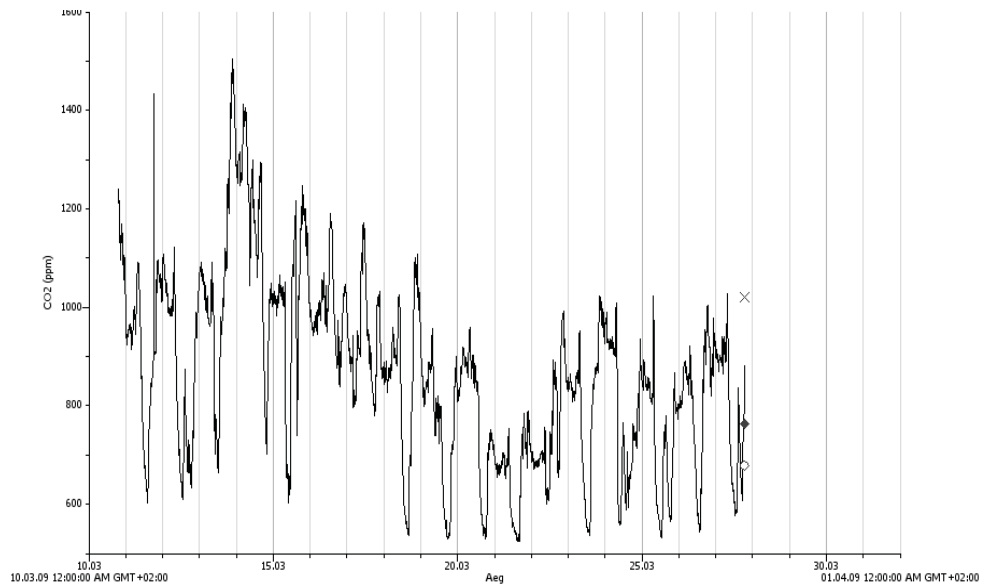
$$\frac{L}{V} \cdot \tau = -\ln \frac{\frac{m}{L} + C_v - C}{\frac{m}{L} + C_v - C_0}$$

kus

m	CO ₂ toodang ruumis, g/h;
L	õhuvooluhulk ruumis, m ³ /h;
V	ruumi ruumala, 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 (eelmise mõõteperioodi lõpus), g/m ³ ;
τ	aeg, h.

CO₂ mõõtmiste alusel on hinnatud õhuvahetust uuritud korterites.

CO₂ taseme mõõtmiseks kasutati HOBO logereid (Onset Computer Corporation). Logerid olid paigutatud magamistubadesse. Mõõtmised toimusid 2008 ja 2009 aasta külmal aastaajal. Mõõteperiood oli olenevalt hoonest 1-4 nädalat. CO₂ taseme fikseerimine toimus iga 10 minuti tagant. Näide mõõtmisetulemustest, vt. Joonis 13.5:



Joonis 13.5 CO₂ Mõõtmistulemused

Korterite magamistubadest mõõdetud CO₂ tulemused jäid vahemikku 370 kuni 3900 ppm.

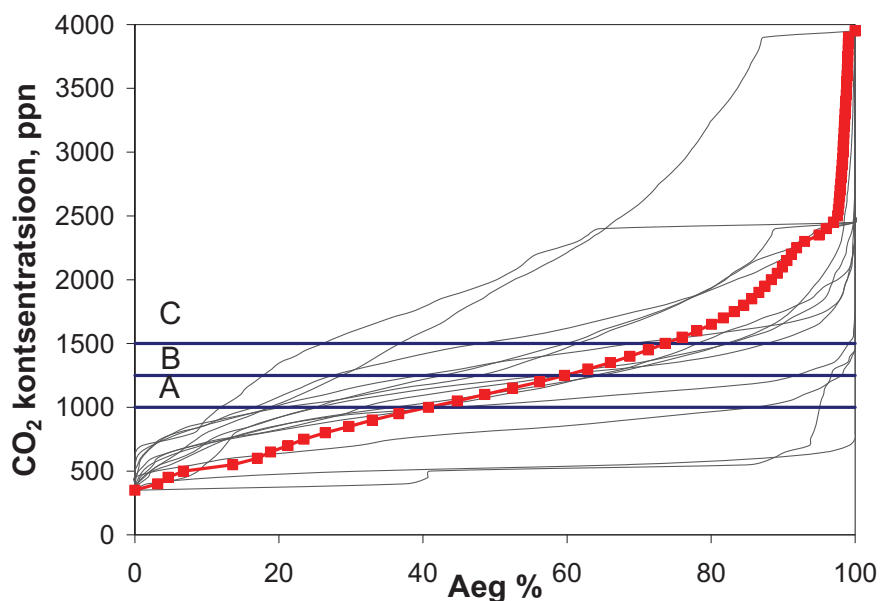
Süsihappegaasi lubatud kontsentratsioon siseõhus on normeeritud standardiga EVS 839:2003 Sisekliima. Soojusliku mugavuse klasside A, B ja C järgi tohib CO₂ kontsentratsioon siseõhus olla vastavalt 1000, 1250 ja 1500 ppm.

Uuritavatest korteritest vastas tasemele A üks korter. Keskmiselt jäi CO₂ kontsentratsioon alla 1000 ppm 40,8% mõõteperioodi ajast.

Tasemele B vastas samuti üks korter. Keskmiselt jäi CO₂ kontsentratsioon alla 1250 ppm 59,7 % mõõteperioodi ajast.

Tasemele C vastas uuritavatest korteritest 3 korterit: Keskmiselt jäi CO₂ kontsentratsioon alla 1500 ppm 73,6 % mõõteperioodi ajast.

Korterite CO₂ kumulatiivne jaotus vt. Joonis 13.6.



Joonis 13.6 Kõikide korterite CO₂ kontsentratsiooni jaotus talvel

13.3.2 Õhuvahetus

CO₂ mõõtetulemuste põhjal on avaldatud uuritavate korterite õhuvahetuskordarv magamistubades. Tulemused on esitatud tabelis nr. 3.

Korteri kood	Hoone tüüp	Korruselisus	Korteri korrus	Inimeste arv magamistoas	Akna tüüp	Ventilatsioon	Magamistoa keskmine õhuvahetus kordarv (1/h)
1022	Tallinna 5k	5	1	2	Vana	lv	0,10
1041	Tallinna 9k	9	2	1	Vana	lv	0,21
1061	Tallinna 5k	5	3	2	Vana	lv	0,12
1072	Tallinna 5k	5	1	2	Uus	lv	0,15
1082	Tallinna 5k	5	3	2	Uus	lv	0,04
2011	Vene 5k	5	1	2	Uus	lv	0,16
2012	Vene 5k	5	5	2	Uus	lv	0,07
2021	Vene 9k	9	9	2	Uus	lv	0,23
3011	Tartu lint 5k	5	5	2	Uus	lv	0,08
3022	Tartu lint 5k	5	5	2	Uus	lv	0,09
3032	Tartu lint 5k	5	5	2	Uus	lv	0,10
4011	Tallinna 5k	5	1	2	Uus	lv	0,21
4031	Tallinna 9k	9	9	2	Uus	lv+kubu	0,11
4041	Tartu vahvel 9k	9	9	2	Uus	lv+kubu	0,09

Tabel 13.2 Uuritavate korterite õhuvahetuskordsused (lv- loomulik ventilatsioon; lv+kubu- loomulik ventilatsioon, kööki on paigaldatud pliidikubu).

Õhuvahetuskordarvud magamistubades jäävad vahemikku 0,04 kuni 0,23. Vastavalt Eesti standardile peab õhuvooluhulk magamistubades olema vähemalt 0,7 l/s·m², mis 2,5 m toakõrguse korral vastab õhuvahetuskordsusele 1,0 (EVS 845-1:2004).

13.4 Korterte ventilatsiooni põhimõttelised renoveerimisvõimalused

Korterte sisekliima parandamiseks on mitmeid võimalusi. Renoveerimismeetodi valikul tuleb arvestada olemasolevat olukorda ja võimalusi. Vajadusel tuleb teostada sisekliima ja ehituslikud uuringud. Meetodi valikul on ka oluline, kas ventilatsiooni renoveerimine toimub korterite kaupa, trepikodade kaupa või terves hoones korraga. Samuti seab osadele renoveerimisvõimalustele piirangud olemasolevate ventilatsioonikanalite süsteem. Tuleb arvestada, et hoone piirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku. Oluline on märkida, et osad renoveerimislahendused ei sobi kõikidele suurpaneelamutele.

Esmajärjekorras tuleb renoveerimislahenduste valikul otsustada nende ulatuse ja taotletava taseme üle.

Renoveerimislahenduste väljatöötamisel on eeldatud, et korteris ei viibita pidevalt. Seetõttu on õhuvahetus määratud kahe olukorra jaoks. 10 h päevas on õhuvahetus väiksem ja 14 h päevas suurem. Kui korterid on pidevas kasutuses (lastega pered, vanurid), tuleb õhuvooluhulkasid suurendada. Ventilatsioonisüsteemi maksimaalvõimsus peab alati tagama vajaliku õhuvooluhulga.

Õhuvahetuse normarvud on vastavalt standardile EVS 845-1:2004 järgmised:

Sissepuhe:

- magamistuba 0,7 l/(s·m²) või 6 l/(s·inim.);
- elutuba 0,7 l/(s·m²).

Väljatõmme (informatiivne):

- köök 20 l/s;
- WC 10 l/s;
- vannituba 15 l/s.

Need normarvud on ventilatsioonisüsteemi dimensioneerimise ja seadmete valiku aluseks. Sealjuures tuleb arvestada, et ventilatsioonisüsteem oleks kasutatav, st. see ei tohi tekitada liigset müra. Vajaliku õhuvooluhulga juures ei või kõikide tehnoseadmete poolt tekitatud summaarne müratase ületada lubatud mürataset, mis on vastavalt Sotsiaalministri määrusele nr. 42. „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid.” 30 dB (müra soovituslik taotlustase on 25 dB).

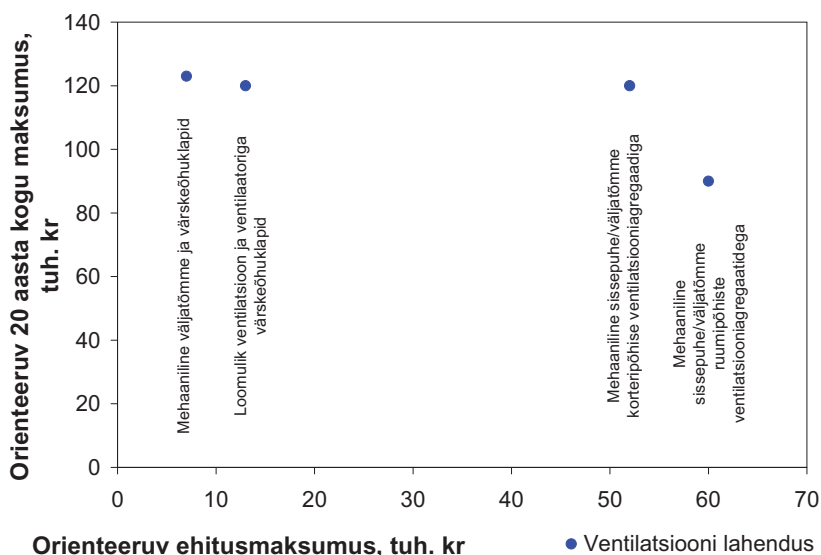
Ventilatsioonisüsteemi energiaarvutustes ja tasuvusarvutustes on eeldatud, et kõiki ruume ei kasutata pidevalt sihipäraselt ning üheaegselt on valitud selles töös keskmiseks õhuvooluhulgaks kahetoalise korteri kasutamise ajal 35 l/s. Kui korteris ei viibita, on keskmiseks õhuvooluhulgaks valitud 10 l/s.

Energiaarvutused on tehtud normaalaasta kraadpäevade järgi.

Üks kraadpäev väljendab 1 °C erinevust keskmise arvestusliku sisetemperatuuri (nn. tasakaalutemperatuuri) ja ööpäeva (24-tunnise perioodi) keskmise välisõhu temperatuuri vahel.

Kraadpäevade arvuks on võetud 4220 °C-d, mis vastab Tallinna normaalaasta kraadpäevade arvule.

Renoveerimislahenduste detailsemad kirjeldused on esitatud järgnevates alapunktides. Ventilatsioonilahenduste maksumuse juures ei saa vaadata ainult algmaksumust. Olulisemad näitajad on kogumaksumus pikema aja jooksul ja saavutatav sisekliima kvaliteet. Suurema alginvesteeringu juures (mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon koos soojatagastiga) kaasneb väiksem energiakulu õhu soojendamisele (sissepuhkeõhku soojendatakse väljatõmbe õhuga). See vähendab energiakulu ja selle läbi ka maksumust. Ventilatsioonilahenduste ehitismaksumuse ja kogumaksumuse võrdlus vt. Joonis 13.7 arvestades nii süsteemi rajamiskulusid ja kasutuskulusid 20 aasta jooksul



Joonis 13.7 Ventilatsioonilahenduste ehitismaksumuse ja kogumaksumuse võrdlus.

13.4.1 Loomuliku ventilatsiooni korrastamine

See variant on kõige minimaalsem võimalus ventilatsiooni korrastamiseks. Maksumus on sellel variandil kõige odavam. Tuleb aga arvestada, et:

- vajalikku sisekliimat see ei taga ning puudub ka reguleerimisvõimalus;
- selle variandiga ei saa lahendada hallitus- ja niiskusprobleeme;
- kompensatsiooniõhu juurdevool on piiratud.

Lahendus sobib 5-korruseliste ja 9-korruseliste suurpaneelilamute kõikide korterite jaoks.

Ventilatsioonikanalid tuleb puhastada ja kaardistada. Vajadusel tuleb korter ühendada õigesse ventilatsioonikanalisse.

Soovitud tulemusi see ei lahendus üldjuhul anna, sest vajalikku õhuvooluhulka ei ole võimalik kindlustada. Samas ventilatsioonikanalite puhastamist ja kaardistamist tuleb teha ka mitmete teiste variantide puhul.

13.4.2 Loomuliku ventilatsiooni korrastamine ning värskõhuklappide lisamine

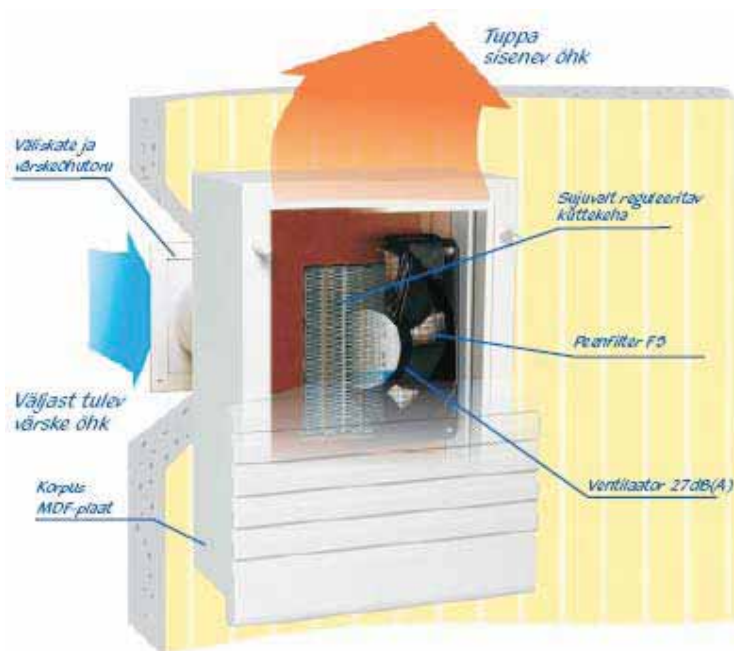
Lisaks eelnevas lahenduses (13.4.1) kirjeldatud meetmetele lisatakse korteri välisseintesse värskõhuklapid. Eelistatavaim on lahendus, kus värskõhuklapp paigaldatakse radiaatori taha. See võimaldab välisõhu ülessoojendamist enne ruumi sisenemist.

Sobib 5- ja 9-korruseliste suurpaneelilamute kõikide korterite jaoks.

Tuleb arvestada, et loomuliku ventilatsiooni väljatõmberõhk sõltub õhu tiheduste erinevusest, mis omakorda sõltub temperatuuride vahet; tähtis on ka ventilatsioonikanali kõrgus.

Saavutatav väljatõmberõhk on aga liiga väike vajaliku õhuvahetuse tagamiseks, kui kasutada tavalisi värskõhuklappe. Võrreldes väljatõmberõhuga, on värskõhuklapi takistus liialt suur, et tagada piisav õhuvooluhulk. Vajalik õhuvooluhulk on tagatud võib olla madalatel temperatuuridel ja sedagi vaid alumistel korrustel.

Et tagada vajalik õhuvahetus, tuleb paigaldada värskõhuklapp koos ventilaatoriga. Sobivaks variandiks on näiteks Mobair 2020 värskõhuklapp, vt. Joonis 13.8. Lisaks toodud näitele on saadaval ka teiste firmade tooteid.



Joonis 13.8 Mobair 2020 värskõhuklapp.

Rahuldava sisekliima tagavad ventilaatoriga väljatõmbeklapid. Kui kasutatakse ilma ventilaatorita värskõhuklappe, siis see variant vajalikku sisekliimat ei taga. Probleemiks on WC ja vannitoe ebapiisav väljatõmme, mille tõttu võivad ruumis levida ebameeldivad lõhnad.

Teine probleem on ventilaatori poolt tekitatav müra 27 dB(A). Vastavalt sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a määrusele nr. 42 „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja müra taseme mõõtmise meetodid” on tehnoseadmete poolt tekitatava müra soovituslik taotlustase 25 dB(A).

13.4.3 Mehaaniline väljatõmme köögist ja sanitaarruumidest, värskõhuklapide lisamine

Kööki paigaldatakse pliidikubu, sanitaarruumidesse – väljatõmbe ventilaatorid, magamistubadesse ja elutuppa – värskõhuklapid. Olemasolevad ehituslikud kanalid puhastatakse ja vajadusel tihendatakse.

Selle variandiga on võimalik tagada korteris rahuldav sisekliima suhteliselt väikese alginvesteeringuga. Energiakulu süsteemil on suur, kuna puudub soojustagastus (väljapuhkeõhuga kompensatsiooniõhu soojendamine).

Normaalaasta energiakulu õhu soojendamiseks on 3 MWh, õhuvooluhulk 14 h päevas on 35 l/s ja 10 h päevas 10 l/s. Praeguste energiahindade juures on see u. 3000 krooni aastas (kahetoalise korteri kohta). Lisandub elektrienergia kulu ventilaatorite ja pliidikubu tööks.

Et vältida tuuletõmbust ja külma välisõhu töötsooni jõudmist oleks kõige parem paigaldada värskõhuklapid radiaatori taha.

Kuna peale renoveerimist on õhuvahetus suurem, suureneb ka ruumide soojusvajadus. Probleem muutub oluliseks, kui renoveerimine toimub korterite kaupa ning hoone küttevõimsust reguleeritakse kvalitatiivselt soojussõlmes, korteris puudub kvantitatiivne reguleerimine.

Sobib 5-korruselistele hoonetele ning 9-korruseliste hoonete 8. ja 9. korruse jaoks.

Plussid:

- odav algmaksumus;
- on võimalik saavutada rahuldav sisekliima.

Miinused

- suur energiakulu.
- värskõhuklapid tuleks paigaldada radiaatorite taha või radiaatorite kohale.
- olemasolevate ventilatsioonikanalite tihedus.
- kui renoveeritakse suurpaneelamused vaid osa kortereid, ei piisa olemasolevast küttevõimsusest õhu soojendamiseks.

Vajaliku lisasoojuse kompenseerimiseks on järgmised võimalused:

- küttekehade vahetamine suurema võimsusega küttekehade vastu. Seda lahendust saab kasutada vaid kahetoru küttesüsteemis. Selline lahendus aga tõstab oluliselt renoveerimise maksumust;
- kasutada elektrisoojendusega värskõhuklappe. Iga klapi juurde on vaja elektrikaablit, mis samuti tõstab renoveerimise maksumust;
- elektrilised lisaküttekehad.

Vajalik soojusvõimsus õhu soojendamiseks:

$$\Phi_{\circ} = L \cdot \rho_{\circ} \cdot \Delta t$$

kus

Φ_{\circ} soojusvõimsus õhu soojendamiseks, W;

ρ_{\circ} õhu tihedus, kg/m³;

Δt siseõhu ja välisõhu temperatuuride vahe, °C;

Suurpaneelamute kütte projektis oli tavaliselt õhuvooluhulgaks valitud 60 m³/h ehk 17 l/s. Kui peale renoveerimist on õhuvooluhulk 35 l/s, saab leida vajaliku lisasoojusvõimsuse.

Vajalik maksimaalne lisasoojusvõimsus välisõhu temperatuuri -22 °C juures on:

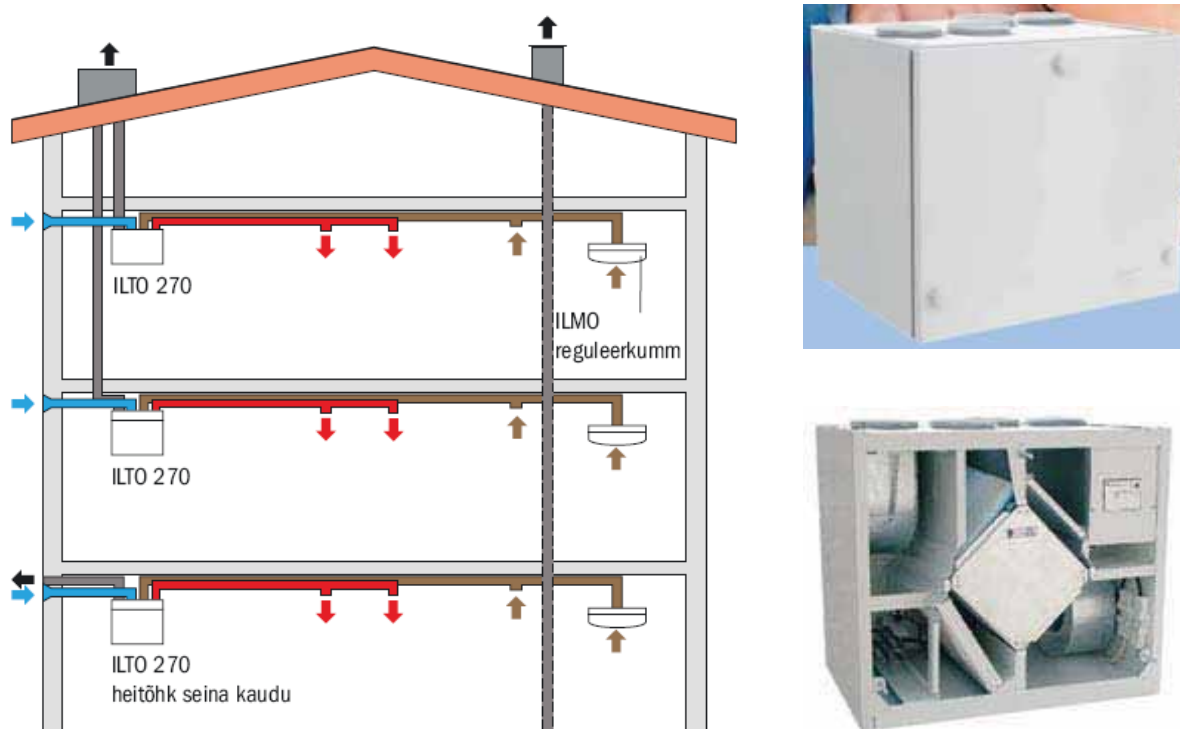
$$\Phi = (35 - 17) \cdot 1,2 \cdot (20 + 22) = 907 \text{ W.}$$

13.4.4 Mehaaniline sissepuhke/väljatõmme korteripõhise ventilatsiooniagregaadiga

Ventilatsiooniagregaat paigaldatakse esikusse või kööki. Värske õhk võetakse läbi välisseina. Värske õhu torustik läbimõõduga 125 mm asub köögi lae all. Õhuvõtu torustik tuleb isoleerida kondensaadivastaselst.

Sissepuhkeõhk antakse elutuppa ja magamistubadesse. Sissepuhke torustik läbimõõduga 100 mm asub lae all seina ääres. Õhujaotajana kasutatakse ULA100 seinapealseid plafoone või ULA100 laeplafoone. Laeplafoonide kasutamisel on korteris parem õhujaotus, kuid keset lage paiknev ventilatsioonitoru jääb tõenäoliselt segama. Väljatõmbeõhk juhitakse ära köögist, vannitoast ja WC-st URH100 plafoonide kaudu ja köögist pliidikubu kaudu. Väljatõmbebetorustik läbimõõduga 100 mm asub lae all, seina ääres. Heitõhk juhitakse olemasolevasse ventilatsioonikanalisse. Olemasolevad ehituslikud ventilatsioonikanalid tuleb puhastada ja vajadusel tihendada.

Korteri ventilatsiooni renoveerimine, kasutades korteripõhist ventilatsiooniagregaati, nt. ILTO 270, vt. Joonis 13.9. Lisaks toodud näitele on saadaval ka teiste firmade tooteid. Agregaat töötab kahel tootlikkusel: 35 l/s ja 10 l/s. Kui ruumid on kasutuses, töötab agregaat suuremal tootlikkusel, muidu väiksemal tootlikkusel. Suuremal kiirusel töötab agregaat 14h päevas ja väiksemal 10h päevas. Soojustagasti keskmiseks soojustagastusteguriks on võetud 0,8. Elektrienergiakulu kütteperioodil õhu soojendamiseks on siis 0,6 MWh. Praeguste energiahindade juures on see u. 600 krooni aastas.



Joonis 13.9 Kortripõhise soojatagastiga mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooni põhimõttelise skeem ILTO270 seadme baasil

Lahendus sobib 5- ja 9-korruseliste elamute kõikide korterite jaoks.

Plussid

- korteri ventilatsiooniagregaat tagab väga hea sisekliima;
- energia kokkuhoid, kuna väljapuhutava õhuga soojendatakse sissepuhkeõhku.

Miinused

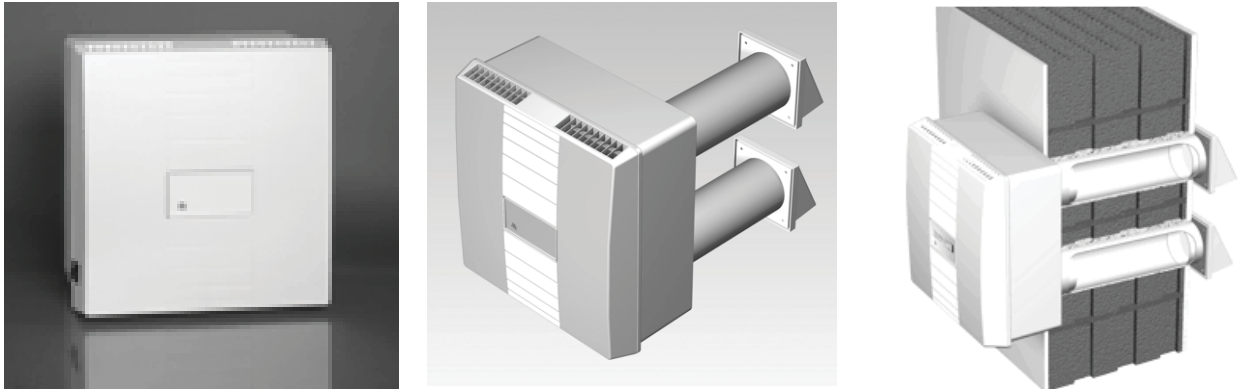
- õhujaotuskanalid on vaja paigaldada korterisse;
- olemasolevate ventilatsioonikanalite tihedus võib saada takistuseks;
- suur alginvesteering: süsteemi ehitamine läheb maksma ~ 50 000 krooni korteri kohta.

13.4.5 Ruumi sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniagregaadid

Ruumides ventilatsiooniagregaadid (nt M-WRG agregaadid) ja väljatõmme WC-st, vannitoast, köögist. Värskeõhuklapp paigaldatakse kööki. Agregaadid paigaldatakse elutuppa ja magamistubadesse. Lisaks on kasutamise ajal väljatõmme köögist pliidikubu kaudu. Vannitoast ja WC-st on väljatõmme väljatõmbeventilaatorite kaudu (hädavajadusel vaid ruumide kasutamise ajal ning lühidalt peale ruumide kasutamist).

Agregaatidel on soojustagastid, mille keskmiseks kasuteguriks on võetud 0,8. Elektrienergiakulu kütteperioodil õhu soojendamiseks on 0,6 MWh. Praeguste energiahindade juures on see u. 600 krooni aastas

Sobib 5-korruseliste hoonetele ning 9-korruseliste hoonete 8. ja 9. korruse jaoks.



Joonis 13.10 Ruumi sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniagregaadid

Plussid

- korteri ventilatsiooniagregaat tagab väga hea sisekliima;
- energiakokkuvõtte, sest väljapuhutava õhuga soojendatakse sissepuhkeõhku.

Miinused

- kui toimub väljatõmme köögist ja vannitoast tuleb õhk kompenseerida värskeõhuklapi kaudu;
- suur alginvesteering: agregaadi hind ~ 12 000 krooni (1 agregaad toa kohta).

Vajaliku lisasoojuse kompenseerimiseks on järgmised võimalused:

- kasutada elektrisoojendusega värskeõhuklappe. Iga klapi juurde on vaja elektrikaablit;
- elektrilised lisaküttekehad.

14 Suurpaneelamute energiatarbe analüüs

14.1 Suurpaneelamute soojusbilanss, energiasääst erinevate renoveerimispakettide rakendamisel;

Uuritud suurpaneelamute energiatarbe analüüsi lähtesuuruseks oli elamute tegelik soojustarbimine. Selleks kasutati kraadpäevadega taandatud kolme aasta keskmisi soojustarbimise väärtusi (vt. Tabel 14.1). Tabelis on esitatud nii elamute soojuskaod läbi piirdetarindite, energiakulu õhuvahetuseks ja soojatarbevee soojendamiseks, tulemusi on võrreldud mõõdetud energiakuluga. Nagu tabelist näha, on arvutuslikud suurused hästi kokkulangevad mõõdetud energiakuluga, seega võib kasutatud piirdetarindite sooja-juhtivust ja õhuvahetuse kordarve lugeda tegelikkusele vastavateks. Tabelis esitatud soojusbilanss võimaldab tuvastada elamute energiatarbe kitsaskohad ja leida sobivaimad meetmed hoonete tõhususe tõstmiseks.

Tabel 14.1 Uuritud suurpaneelamute soojusbilansid

Kood / tüüpseeria /	Korruste arv / Hoone ehitusaasta	Arvutatud energiakulu				Mõõdetud kogukulu
		Soojuskadu läbi piirdetarindite	Energiakulu õhuvahetuseks ja infiltratsiooniks	Energiakulu sooja vee valmistamiseks	Arvutatud kogukulu	
		MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a	MWh/a
1010 / 464	5k. / 1962	461	53	113	627	626
1030 / 464	9k. / 1984	1174	290	269	1733	1735
1040 / 121	9k. / 1984	1389	204	775	2368	2372
1080 / 121	5k. / 1986	442	73	78	593	588
1020 / 464	5k. / 1972	360	119	82	561	558
1060 / 464	5k. / 1961	312	46	182	540	537
1050 / 464	9k. / 1969	387	67	205	659	653
1070 / 121	5k. / 1976	575	131	166	872	870
4020 / 112	5k. / 1976	591	76	138	805	799
4040 / 112	9k. / 1989	604	77	99	780	781
4010 / 464	5k. / 1973	833	180	204	1217	1215
2020 / Vene	9k. / 1979	619	84	175	878	876
2030 / Vene	5k. / 1988	687	111	123	921	921
3010 / 112	5k. / 1985	365	67	134	566	569
3020 / 112	5k. / 1977	529	75	145	749	747

* Andmete küsitavuse pärast on osa elamute andmed analüüsist välja jäänud.

14.2 Hoone energiatarbe simulatsioonid

Simulatsioonid on tehtud energiaarvutuse simulatsiooniprogrammiga mitmele erinevale lahendusvariandile, ajaperioodiks on kõikides simulatsioonides 1 aasta. Kõik teostatud simulatsioonid eeldavad renoveeritud (2-toru) küttesüsteemi olemasolu, milles on võimaldatud korteripõhine reguleerimine.

Kontrollimaks simulatsioonitulemuste korrektsust, võrreldi antud programmiga saadud tulemusi olemasoleva hoone tegelike tarbimisväärtustega, mis on teada kolme aasta kohta, olles keskmiselt 465 MWh aastas. Esialgses mudelis on korterite sisetemperatuuriks kütteperioodil võetud +24,5 °C, sest on teada, et hoone on üleküttes. Hoone konstruktsioonide tuletamise aluseks on olemasolevad plaanid ja lõiked hoonest, samuti ka oletavad tarindite soojajuhtivused Välisseina, katuslae ja akende soojajuhtivuste suurused on vastavalt 1,0, 0,8 ja 2,5 W/(m²·K). Uute (plast)akende soojajuhtivuste suurused on 1,9, rõduuksel 1,7, põrand pinnasel 0,56 W/(m²·K). Siseseinad on 140 mm betoonseinad. Hoone aastakeskmise õhuvahetuskordsus on 0,52 1/h.

Vabasojusallikatena on mudelis arvestatud valguse, seadmete, päikese ja inimeste poolt eraldatava soojusega. Vastavad koormus- ja kohaloleku profiilid on VV määruse nr. 258 kohased. Inimese soojuseraldus on 80 W. Kliimaandmetena on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaastat.

Esimese arvutusmodeli aastane tarbitav kogu kütteenergia normaalaastale korrigeeritult on 462 MWh (182 kWh/m²). Alla 1% erinevus, võrreldes tegeliku kolme aasta keskmise tarbimisega, on seega suurepärase kokkulangevus.

Et normide järgi on hoone sisetemperatuur talveperioodil +21 °C, siis on esialgse mudeli sisetemperatuuri pärast vastavusse viimist langetatud järgmistes simulatsioonides +21 °C. See alandab olemasoleva hoone aastase energiatarbe 365 MWh-ni, olles 144 kWh/m² köetava pinna kohta.

Eelmise lõigu viimane väärtus on edaspidiste simulatsioonide võrdlusemudeli (reference) väärtuseks ehk tulemuseks, mille suhtes erinevate lahenduste mõju ulatust võrreldakse. Vaadeldud on nelja kütteta olukorra lahendust, mille mõju hoone kogu energiatarbele analüüsiti: alustades hoone üksiku küttesüsteemist väljalülitatava korteri erinevast paiknemisest ning lõpetades kolme keskmise kütteta korteri koosmõjust hoone energiatarbele.

Enim huvipakkuvaks olukorraks on hoone keskel oleva korteri kütte väljalülitamine ja selle mõju kogu hoone energiatarbele ning naaberkorteritele. Simulatsioonides on eeldatud, et küttesüsteem katab vajaliku soojuskoormuse. Seega korteri väljalülitamisel kasvab naaberkorterite soojustarbimine. Kontrollimaks väljalülitatavate korterite mõju on igal analüüsitaval juhul tehtud ka simulatsioon, mille korral on küte uuritavas korteris sisse lülitatud. Keskmise korteri väljalülitamise mõju uurimisel on küttega olukorras kogu hoone energiatarve 364 MWh/a (144 kWh/m²-a), erinevus võrdlusemudelist on tingitud ümardamisest ja mudeliga saavutatavast täpsusest. Uuritavas 67 m² korteris on simulatsiooniga köetud olukorras saadud tarbimine 6,7 MWh/a. Kütteta olukorras on hoone kütteenergia tarve 363 MWh/a. Seega, kogu hoone energiasääst on kõigest 1 MWh aastas.

Oletades nüüd, et kogu hoonet hõlmanud 1 MWh muutus on maha arvatav ainult uuritavast kütteta korterist, saame kütteta olukorras antud korteris 15 % säästu, võrreldes küttega olukorras. Arvutades kütteta korteri energiatarbe põrandapinna alusel, on korteri kütteenergia tarve köetud olukorras 9,6 MWh/a. Viimasest moodustab 1 MWh sääst ligi 10%. Õigem on kasutada esimest korteri kütteenergia tarbimise väärtust köetud olukorras, kuna simulatsiooniprogramm arvestab korteri asukohta. Viimasest tuleb selgesti välja tarbitav kütteenergia erinevus, mis on otsaseintes paiknevatel korteritel tegelikkuses suurem kui hoone keskel olevatel.

Kütteta korteri mõju naaberkorteritele avaldub ligi 28% kütteenergia tarbe tõusus, võrreldes köetud olukorraga. Naaberkorterite kütteenergia tarve tõus on veelgi suurem olukordades, kus kütteta korter paikneb otsaseinas või ülanurgas. Kuna sellise paigutusega kortereid ei tohiks kütteta jätta, pole antud lahenduste mõju kirjeldatud.

Seega, määrates kogu hoone soojussäästu küttesüsteemist väljalülitatava korteri osaks, on viimase väljalülitamisel saadav sääst ligi 15% köetud olukorraga võrreldes. Korteri kütte väljalülitamine ja kütte eest maksimisest keeldumine ei ole põhjendatud. Kütteta korteri soojusvajadus kaetakse naaberkorterite suurenenud soojustarbimisega. Kuna korteritevahelised vaheseinad ei ole soojustatud, võib ka seinte pinnatemperatuur langeda liialt madalale. Õigem alus kütteta korteri küttearve alandamiseks on kogu hoone kütteenergiatarbe osas saavutatud vähenemise määramine antud korterile ning selle alusel saadud tulemus, mis teeb suurusjärgus -15% põhjendatud hinnaalanduse kütteta korterile.

15 Hoonesiseste tehnikommunikatsioonide olukord

15.1 Soojusallikas

Enamiku suurpaneelilamute soojusega varustus toimub kaugküttesüsteemist soojussõlmede vahendusel.

Reeglina on soojussõlmedes soojusenergia arvestid. Levinuim küttesüsteemide ühendus on sõltumatu – soojusvaheti abil. Kasutatakse ka sõltuvat kütte ühendust. Soovitatav reguleerimisautomaatika on digitaalne. Soojussõlmede, katlamajade kuumavee torustik peab olema soojustatud.

Enamikus uuritud elamutes olid soojussõlmed kaasajastatud 2000. aasta alguses, vt. Joonis 15.1.



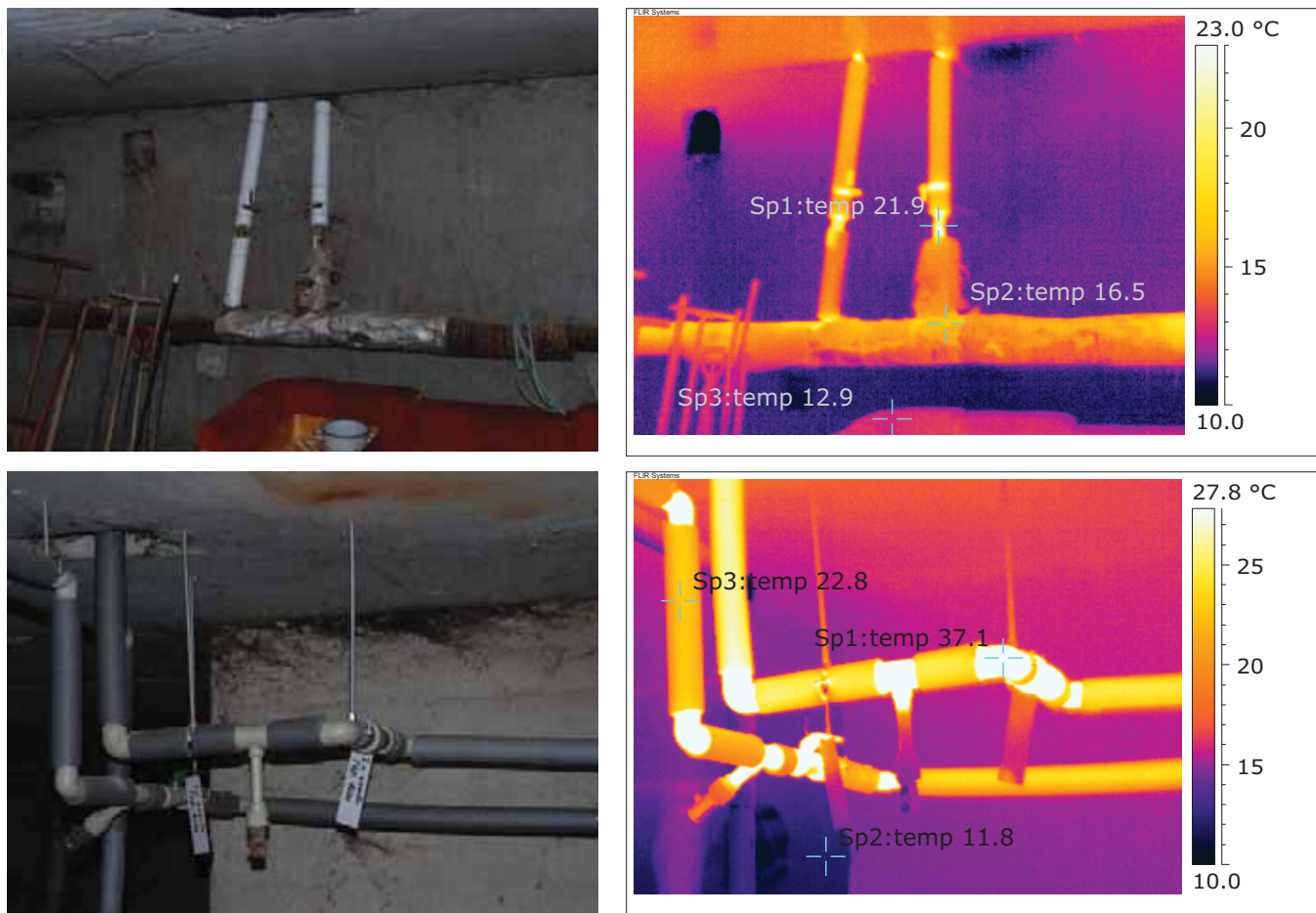
Joonis 15.1 Uus soojussõlm

15.2 Küttesüsteem

Suurpaneelilamutes on valdavalt kasutusel ühetoru küttesüsteem. Suurpaneelilamute küttesüsteemide torustikud ja malmsektsoon-radiaatorid on tavaliselt heas seisukorras. Kehvem on olukord vanade terasplekk-radiaatoritega, need on oma ressursi ammendamas. Vahel võib olla probleeme keldri magistraalide seisukorraga (magistraalid on soojustamata või osaliselt soojustatud), vt. Joonis 15.2. Ühetoru süsteemi suur puudus on selle vähene reguleerimise võimalikkus.



Joonis 15.2 Osaliselt soojustatud või soojustamata küttemagistraalid keldris.



Joonis 15.3 Kui küttemagistraalid on soojustamata, jääb osa soojust keldrisse.

Põhiprobleem on selles, et küttesüsteemid ei ole reguleeritavad küttekeha tasandil, vahel puuduvad ka tasakaalustusventiilid. Sageli on vajalik küttemagistraalide täiendav soojustamine. Ühetoru küttesüsteemide renoveerimisel kahetoru küttesüsteemiks on soovitatav kütte sõltuv ühendusskeem asendada sõltumatuga – soojusvahetiga.

Küttesüsteemi renoveerimisel on põhiülesanne küttekeha ühendussõlme reguleeritavaks muutmine ja küttekeha soojusväljastuse automatiseerimine. Selle lahenduse realiseerimine ühetoru süsteemi baasil sõltub olemasoleva küttesüsteemi tehnilisest seisukorrast, nende perspektiivsest tööeast.

15.3 Veevarustus

Külmavee süsteemis terastorustiku kasutamine halvendab vee kvaliteeti, seega niisugused torustikud tuleks renoveerida.

Tsingitud terastorudest soojatarbevee süsteemi tööiga on 20 aasta piires. Seetõttu on niisuguse süsteemi renoveerimine väga aktuaalne probleem, renoveerimisel on enam kasutatavad plastitorud.

Soojavee ringlustorustik tuleb tasakaalustada. Soojatarbevee süsteemi renoveerimisel tuleb nii pealevoolu kui ka ringlustorustik, seega kogu ringluskontuur korralikult soojustada ja vältida tehnosahtidesse otsese välisõhuga ühenduses olemist. Kangsegistite kasutamine vähendab veetarbimist ja energiakulu.

Probleemid on ka lekkivate WC-pottidega. Kahesüsteemsed WC-potid peaksid kujunema standardlahenduseks.

15.4 Kanalisatsioon.

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

Vihmavee äravoolutorude juures täheldati mitmes kohas lekkeid ja pinnakondensaati, vt. Joonis 15.4



Joonis 15.4 Lekkiv (vasakul) ja kondensaadiga kaetud (paremal) kanalisatsioonitoru.

15.5 Elekter

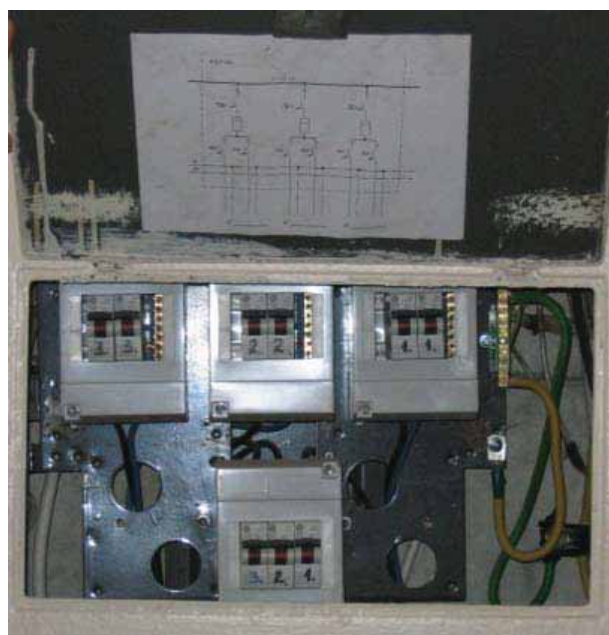
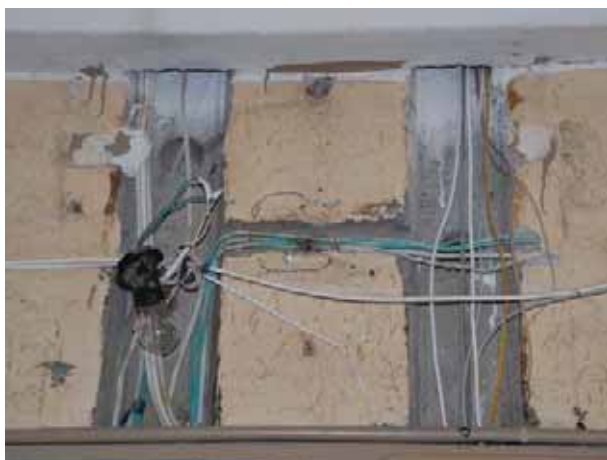
Uuritud suurpaneelilamutesse projekteeriti toleaaegse elektriohutusseaduse järgi TN-C juhtidega elektrisüsteem, mis tähendab seda, et korterite elektrifitseerimiseks kasutati kahesooneelist kaablit, millest üks oli faasi ja teine neutraalsoon, ning kogu elektrisüsteemi maandus toimib neutraalsoone abil.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

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

Suurpaneelilamutes tehtud kaabeldus kulgeb paneelide sisse valatud torustikes. Pistikupesade, lülite ja harukarpide toosid paigaldati samuti tehases ning on süvistatuna paneelidesse valatud. Erinevalt tänapäeva plastiksulamitest valmistatud harukarpidest olid NSVL-i tingimustes valmistatud harukarbid metallist ning lekkevoolu tekkides põhjustavad kergesti süsteemis lühise. Uuringu projekti käigus korterites vaatlust tehes võis silmata lagede ülaosades harukarpide kohtades ka tahmunud jälgi, mille teiseks põhjuseks on kindlasti toleaaegsed kaabliühendused.

Tänapäeva elektriinstallatsioonikaablite isolatsioon on valmistatud elastsest polüvinüülkloriidist mantli ja veidi jäigemast polüvinüülkloriidist soone kaitsest. Topeltisolatsioon kaitseb kaablit muljumisest või nõtkumisest põhjustatud võimalike kahjustuste eest. Vanemate kaablite kesta kaitseb õhuke ühekordne polüvinüülkloriidist isolatsioon, mis oma ea tõttu on kergesti rabenev. See omakorda põhjustab juhistikes lekkevoolu ning kahe soone isolatsiooni rabenedes võib põhjustada lühist.

Kõigis vaadeldud korterites oli kasutusel veel ehitusaegne elektriinstallatsioon, osa korterites oli välja vahetatud pistikupesad, kuhu oleks võimalik ühendada täna kasutusel olevaid elektriseadmeid. Seevastu korterilamute kilpidesse on tänaseks juba toodud maanduskontuur ning korterite peakaitsete korkkaitsmed on asendatud kaitselülititega. Seega, korterite kilpidesse on loodud võimalus korterites välja ehitada nüüdisaegne ja tänastele elektriohutusnõuetele vastav elektrisüsteem.



Joonis 15.5 Käepäraste vahenditega lubamatud elektrilahendused (vasakul). Korterite uued peakaitselülitid (paremal).

Samas on paljudes tollaegsetes suurpaneelilamutes jäetud elektrisüsteem renoveerimata. Peamiseks põhjuseks on korteriühistute rahapuudus ning teadmatus elektriohutusest. Rikete ilmnmisel ei kutsuta ilmtingimata elektrikut ning proovitakse probleemist ise jagu saada, näiteks käepäraste vahenditega lekkiv elektrikaabel ära isoleerida.

16 Korteriomanike hinnangud ja strateegilised hoiakud

Käesoleva uuringuga seotud korterelamute pilootkorterite elanikke intervjueriti küllaltki mahuka ankeediabil, kus küsimused puudutasid põhiliselt korteri tehnilist seisundit, ruumide kasutust, rahulolu sisekliimaga ning soojusliku mugavusega. Osa küsimusi eeldas ja võimaldas täpset vastust millegi olemasolu või ilmumise kohta (ja-ei põhimõttel). Samas olid ka küsimused, kus vastused tuli asetada etteantud skaalale ühest äärmusest teise (näiteks soe-külm; värske-umbne õhk).

Elanike käest ei küsitud mingeid 'rahalisi' andmeid ei leibkonna ega korteri ülalpidamiskulude kohta. Selleks, et rahalised parameetrid oleksid usaldusväärset võrreldavad, on vaja uurida korteriühistu 'arvepidamise' hetkeseisu elamus tervikuna ning samas teada ka konkreetse leibkonna sissetulekute taset. Samas toimusid elanike küsitlused elamutes ka küllaltki pika (aasta) ajavahemiku jooksul, mistõttu vastused, mis on seotud majandusliku olukorraga, muutuvad raskelt võrreldavaks – üldjuhul on elanikel mees viimased tasumised. Kuidas summad on aga aja jooksul muutunud (ka erinevatel aastaaegadel), sellele küsimusele on raske 'täpset' vastust saada. Tulemuseks oleks hulk arvandmeid, mis mingil juhul ei pretendeeri täpsusele, samas ei ole ka küsitlute arv suur, mistõttu üldistuse tegemine oleks tegelikult võimatu.

Rahaliste andmete küsimisel on oluliseks takistuseks ka elanike hulgas väljakujunenud 'traditsioonid' – mõisted ei ole selgelt määratletud ning igal korteriomanikul on erinev arusaamine 'üürist' ning 'kommunaalmaksetest'. Käesolevas aruandes ei ole otstarbekas peatuda nendel probleemidel üksikasjalikumalt.

Uuringu objektiks olnud korterelamutes paiknevatest korteritest saadi elanike ankeetidele vastuseid kokku 30 (75% uuritud korteritest). Selline arv ei ole mingil juhul piisav ulatuslike ning usaldusväärsete üldistuste tegemiseks, mingi ülevaate hetkeolukorrast saab ikkagi esitada. Enamikus elamutes viidi läbi energiaauditid, mille korraldamise käigus anti ülevaade ka hoones tehtud olulisematest rekonstrueerimistöödest. Selgub, et kõikides auditeeritud elamutes on tehtud hulgaliselt erinevaid, erinevas mahus ning erineva kvaliteeditasemega rekonstrueerimistöid. Varem tehtud töid ei ole võimalik võrrelda ei kvalitatiivselt ega kvantitatiivselt, pigem vaid loetleda.

16.1 Kütteenergia tõhusa kasutamise ettevõtmised elamutes

Kuigi eri ajal tehtud tööde mõju üksikult ja tervikuna hoone energiatõhususele avaldub vaid pikemaajaliste vaatluste tulemusel, on eeltoodu põhjal võimalik teha siiski olulisi järeldusi.

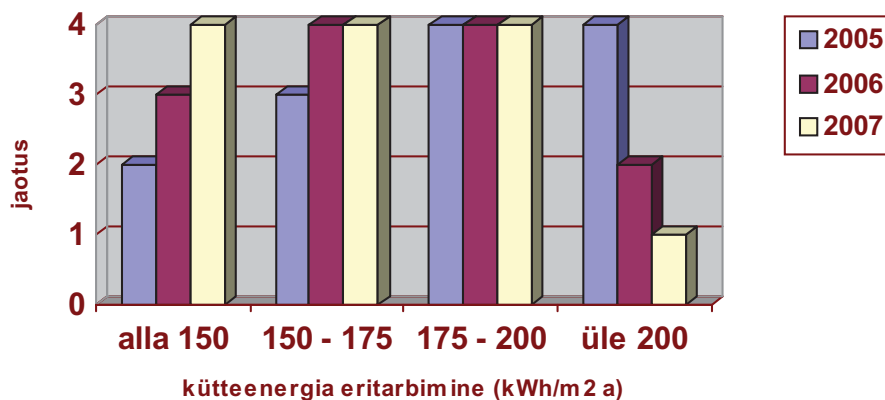
- Korterelamute haldamiseks on valitud korteriühistu vorm, mis juba iseenesest annab tunnistust soovist säilitada kaasomandis olevat vara (vaid üks korterelamu kuulus juriidilisele isikule, mistõttu tegemist oli üürikorteritega).
- Praktiliselt igal aastal või üle aasta läbiviidavad olulisemad rekonstrueerimistööd annavad tunnistust sellest, et korteriomanike poolt on võetud endale erineva suurusega, kuid siiski olulisi finantskohustusi.
- Võttes aluseks soojusenergia eritarbimise köetava pinna kohta aastas (kWh/(m²a)), on samas näha, et uuritud elamutes on vastava näitaja keskmine aastate lõikes pidevalt langenud/vähenenud, mis samuti annab selget tunnistust elanike ühistegevusest, mis on ilmselt suunatud pikemaajalisele tulemuslikkusele

Tabel 16.1 Uuritavate elamute energia eritarbimine köetava pinna ühikul

	Eritarbimine köetava pinna ühikule kWh/(m ² a)		
Aastad	2005	2006	2007
Aritmeetiline keskmine	174	170	166
Mediaankeskmine	176	172	168

Et aritmeetiline keskmine on madalam mediaanist, tuleneb sellest, et valikusse on sattunud üks küllaltki madala eritarbimisega (113 kWh/(m²a)) hoone; selle väljajätmisel on mõlemad keskmised tegelikult võrdsed.

Eelkirjeldatud hoiakuid toetab ka järgnev joonis (vt Joonis 16.1), kus on näha energiaauditi läbi teinud elamute põhjal eritarbimise dünaamika vähenemine.



Joonis 16.1 Uuritavate elamute jaotumine kütteenergia eritarbimise järgi

Seega on pidevalt vähenenud korterelamute arv, mille kütteenergia eritarbimine on üle 200 kWh/(m²a) ning vastavalt on suurenenud säästlike (alla 150 kWh/(m²a)) ning keskmise tasemega elamute arv (vahemik 150-175 kWh/(m²a)). Põhjuseks on ilmselt elanikkonna hulgas välja kujunenud arusaam vajadusest säästa energiat, mistõttu elluviidavad renoveerimismeetmed aasta-aastalt siiski väljenduvad energiaefektiivsuse paranemises. Võib arvata, et lähtekohaks ei ole ilmselt niivõrd missioonitunne kui just majanduslik otstarbekus. Millist osa Eestimaa korterelamutest selline suhtumine kirjeldab, seda on käesoleva analüüsi tulemuste põhjal raske hinnata.

Eeltoodud andmed kirjeldavad eelkõige elanike kollektiivset käitumist, samas on iga korteriomanik alati isiksus, kes kujundab kodu (antud juhul korteri) oma soovide ja võimalustest tulenevalt. Juba aastaid iseloomustab sellist suhtumist mõiste 'euroremont' kasutuselevõtt, seda just korterite puhul nende seisundit promodes.

Kuna ühiselt tehtud remonditööde hulgas ei ole loetletud korterite akende vahetamist (ühise aktsioonina on ette võetud vaid trepikodade akende vahetust), siis individuaalne akende vahetamine (vaatamata sellele, milline on konstruktiivne lahend ning tööde kvaliteet) näitab eelkõige elanike (antud juhul korteriomanike) soovi muuta oma elamistingimused paremaks, s.o kvaliteetsemaks.

Küsitletud korteritest saadud vastuste alusel 2/3 vastasid, et nende korteris on viimase 10 aasta jooksul aknad vahetatud.

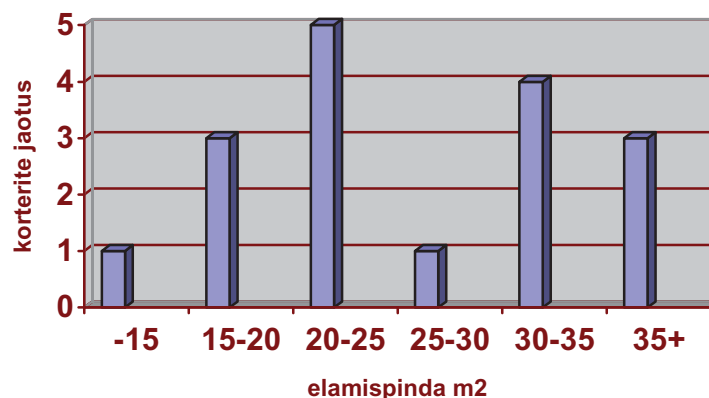
16.2 Elamistingimused

Anketeeritud korterite elanikest 27 (90% küsitletutest) olid omatarbe-kasutajad, seega omanikud ise on korteri kasutajad. Seejuures kõik üürikorterid asusid Tallinnas. Küsitletutest 14-l juhul on elatud korteris korterelamu ehitamise algusest. Kõik elamu algaastatest korterelamus elanud isikutest väidavad, et on viimase 10 aasta jooksul oma korteri aknad (ilmselt mitte alati kõik) vahetanud. Järeldus: tegemist on koduga, mille hubasuse nimel tehakse individuaalseid kulutusi ning ilmselt võetakse ka pikaajalisi kohustusi.

Eluasemepoliitikas on enim levinud moodus iseloomustada elanike heaolulaset ruutmeetritega elaniku kohta. Kõnealuste korterite puhul kujunevat jaotust vt Joonis 16.2.

Huvitaval kombel on äärmiselt vähe valikusse sattunud just statistilisi 'keskmise' (Eesti keskmine on suurusjärgus 28 m²/elanikule) majutustihedusega kortereid. Ilmselt on vaja ka igapäeva-otsustes arvestada sellega, et 'keskmisi' ongi vähe ning üldjuhul on tegemist probleemidega: ühest küljest üleasustus, teiselt poolt probleemid korrashoiukulude tasumisega, sest elanikke on vähe, kuid kasutatav pind suur. Sellise kahe küüruga kaameli kujunemine on erastamise paratamatu tulemus ning alles pikema ajaperioodi jooksul saab hakata rääkima normaalsest jaotusest.

Otsides seletust eelkirjeldatud jaotusele, selgub, et kõikides nendes korterites, kus leibkonnad elavad elamu ehitamisest alates, on elamispinda elanikule üle 'keskmise' (vaid ühel juhul vähem). Samas lastega perede elamistingimusi iseloomustavad majutustiheduse alumise piiri näitarvud (madalaim tase 13,2 m² elanikule). Ka siin on vaid ühel juhul majutustihedus üle 'keskmise'. Vaid kolmel juhul on lastega pered märkinud, et elavad korteris elamu ehitamise algusest saadik.



Joonis 16.2 Elamispinda elaniku kohta uuritud korterites

Olles tervikuna kursis probleemidega eluasemekorralduses, on siiski ootamatu, et ka sellise väikese uurimisvalimi puhul ilmnes kahe äärmusega jaotus ning selle küllaltki usaldusväärne selgitus leibkondade sotsiaalse staatuse kaudu. Igal juhul saab rääkida kahest olulisest huvigrupist seoses elamu ja eluruumi strateegilise tulevikuga:

- 'põliselanikud', kes meie oludes elavad oma korterites nende ehitamise algusaastatest alates; tehtud uuring ei anna ülevaadet sellest, kas ja millised võimalused on neil osaleda korterelamu säilitusmeetmete elluviimisel ja/või elamistingimuste säilitamiseks või parendamiseks oma korteris
- 'uusasukad', kes on (ilmselt) ostnud omale korteri (40% küsitletud korteriomanikest on asunud uuritavasse korterisse elama aastast 2000 ning hiljem) ilmselt pangalaenu abil, kusjuures nendest 'uusasukatest' 2/3-l on leibkonnas lapsed; seega sellised leibkonnad on seotud oluliste kohustustega panga ees ning lisaks kulutused laste ülalpidamiseks

16.3 Korteriomaniiku strateegiline käitumine

Korteriomaniiku strateegilise käitumise hindamiseks (nii otseselt kui kaudselt) võib kasutada on akende vahetamist. Igal juhul näitab akende vahetamine korteriomaniiku hoolitsust ja huvi teha kulutusi, kuigi sageli võib tulemus olla mitte kõige mõistlikum. Siiski tuleb arvestada ka sellega, et korterites on aknaid palju ning küsitluse läbiviimise käigus ei ole võimalik kõiki aknaid üle kontrollida, sest tegemist võib olla ka osalise vahetamisega.

Vaid veerand (23.4%) küsitletutest vastasid, et viimase 10 aasta jooksul ei ole vahetatud aknaid; nendest vaid paaril juhtumil on tegemist 'uusasukatega'. Kui aga vaadata seost – kui paljud põliselanikud (kes on korterites elanud alates elamu ehitamisest) on aknaid vahetanud, siis see osakaal on napilt 30%.

Ootamatult selgelt jagunevad aga aknaraamid materjali järgi – kolmandikul küsitletutest on puitaknad (vanad, vahetamata aknad), ülejäänutel plastaknad (uued, vahetatud aknad), kusjuures enamuse plastaknaid on kasutusel väljaspool Tallinna.

Paljuski ootamatu on ka vastus küsimusele – millised on olnud suuremad remonditööd korteris viimase 10 aasta jooksul (kapitaalremont). Kolmandik vastanutest ei ole teinud midagi, pooled teinud n-ö muid töid. Kuna küsitud oli eraldi ka korteri sisemine soojustamine ning WC/vannitoa remont, siis eeltoodud vastust saab vaadelda kui kinnitust sellele, et vahetatakse aknaid ja koos sellega tehakse sanitaarremonte (elu)tubades. Hoone ja elamistingimuste jaoks on aga oluline just niiskusraam ja kvaliteetse sanitaartechnika kasutamine.

16.4 Niiskuskahjustused

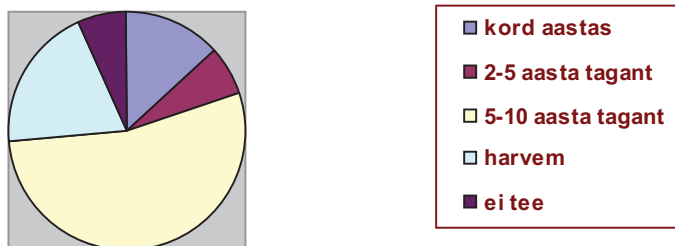
2/3 korteritest on olnud korteris niiskuskahjustusi; nendest veerandi puhul ei ole tehtud viimasel ajal ka mingeid remonditöid. Seega ülejäänud juhtumitel on tegemist olnud ikkagi eluruumide olulise korrastamisega, mis on küllaltki loomulik. Samas ca veerand vastajatest väidab, et neil on korteris olulised niiskuskahjustused, samas pole nendes korterites tehtud mingeid kapitaalset töid. Kõige sagedasemad kahjustuste tüübid on WC/vannitoad (17% vastanutest) ning muud (23% vastanutest), mille alla lähevad eelkõige välisseinte kahjustused. Vaid 13% märgib kahjustusi seoses katuste läbijooksuga.

Küllaltki sarnane on vastus küsimusele seoses niiskuskahjustustega tubades. Veidi üle poolte vastanutest väidab, et elutubades ei ole mingeid niiskuskahjustusi; ülejäänutel on need kas harvemad või sagedasemad.

Niiskuskahjustuste ning nendega kaasnevate avariide vähendamiseks kasutatakse veetõket. Vaid kolmandik vastanutest väidab, et nende WC-des ja vannitubades on paigaldatud veetõke, ülejäänutel see puudub. Vaid kahel juhul (!) ilmneb, et kui on tehtud WC ja vannitoa suuremamahtuline remont, siis on olemas ka põranda veetõke.

16.5 Sanitaarremond

Siiski enam kui pooled (53% küsitletutest) väidavad, et nad teevad sanitaarremonti intervalliga 5–10 aastat; samas ca 1/3 küsitletutest teevad seda harvem või üldsegi mitte.



Joonis 16.3 Sanitaarremondi tegemise sagedus

Loomulikult on võimatu leida universaalset kriteeriumi, et hinnata tehtava sanitaarremondi mahtu ning kvaliteeti. Igal juhul ilmneb eeltoodust soov näidata oma suhtumist. Seejuures on

'põliselanike' tüüpiline vastus '5-10 aasta tagant'; 'uusasukad' ei ole samas veel tegelenud sanitaarremontidega.

16.6 Hinnang sisekliimale

Läbiviidud ankeetküsimused viidi läbi intervjuu vormis, kusi vastuseid andsid elanikud ise.

Enamikud sisekliimaküsimused tõid välja, et probleeme esineb, kuid need ei ole suured kõikides korterites. Siseõhu hindavad elanikud pigem umbseks. See viitab puudulikule ventilatsioonile. Raske on kommenteerida, mida vastaja on silmas pidanud, kuid ilmselt ei häiri ventilatsiooniseadmed seetõttu, et neid lihtsalt ei ole; seega üldjuhul on tegemist loomuliku ventilatsiooniga.

Oma elamistingimustele tervikuna anti hinnanguid ka siis, kui vastati küsimustele seoses oma tervisega ning remondivajadusega.

Enamik vastanutest (v.a üks juhtum) ei kurda tervikuna terviseprobleemide üle kodus. Kõige sagedamini siiski (16%) on märgitud ära sagedane kurgu kuivus ning köha; on viidatud ka vastaja allergiale või õhu kuivusele. Seega vastuste põhjal, mida elanikud on andnud, puuduvad neil sellised tervisehäired, mida väga üheselt saaks seostada elamistingimustega. Antud vastuste puhul ei selgu loomulikult ka see, kas vastaja on silmas pidanud vaid iseennast või teinud üldistusi kogu leibkonna kohta.

16.7 Korteris seisund ning selle erinevad aspektid.

Arutelud müraprobleemide üle on muutunud avalikkuse ees küllaltki sagedaseks ja sellele problemaatikale reageerivad küsitlusele vastajad. Suurimad müraprobleemid seonduvad vahelagedega, seega tavapraktikas tähendab see ülemiste ja alumiste naabrite igapäeva-tegevusest tulenevat müra. Vaid viiendik vastanutest ei toonud siin välja mingeid probleeme, mille puhul ei saa väita, et tulemus on saavutatud konstruktsioonide olulise parendamise, pigem erineva elustiiliga naabritega. Küllaltki sarnane on hinnang vaheseinte olukorrale.

Suhteliselt üksmeelselt väidavad kõik vastajad, et puudub tehnosüsteemide nii pidev kui ka ajutine müra. See tulemus läheb kokku ka vastustega, mida anti seoses hinnanguga kütte- ja ventilatsioonisüsteemi tööle.

Puuduvad probleemid päevavalgustusele; nii siseruumides kui ka üldkasutatavates ruumides on elanike arvates päevavalgust piisavalt.

Kogu küsitluse kõige probleemsemad ja ootamatud vastused on seotud hinnangutega oma korteri tehnilisele seisundile. Küsiti järgmisi hinnanguid:

- seinte olukord;
- lagede olukord;
- põrandate olukord;
- siseuste olukord;
- vannitoa, WC ja köögi märgade tsoonide veetõke;
- pinnaniiskuse kaardistus;
- hallitusjäljed välisseinal;
- hallitusjäljed märgades ruumides.

Kõikide punktide osas oli kõige sagedamini antud hinnang – KORRAS! Vaid üks vastaja andis kõikidele küsimustele vastuse PUUDUS! Tegemist on leibkonnaga, kes on elanud korteris elamu ehitamisest alates ning suuremaid remonditöid tehtud ei ole.

17 Ülevaade radoonist Eesti elamutes

Radoon on üks meid ümbritseva keskkonna ioniseeriva kiirguse allikatest, mis normaaltingimustes annab üle poole elanikkonna poolt saadavast kiirgusdoosist.

Radoon tekib loodusliku uraani radioaktiivsel lagunemisel. Looduslikku uraani leidub mineraalides, kivimites, setetes, mullas; samuti ka suuremal või vähemal määral mineraalse koostisega ehitusmaterjalides. Radoon on lõhnatu, värvitu inertne gaas. Radooni radioaktiivsel lagunemisel tekkivad alfakiirgus ja radooni tütarproduktid. Sageli kasutatakse mõistet radoon tähenduses radoon pluss radooni tütarproduktid. Kuna tegemist on gaasiga, siis on kiirguse peamiseks märklauaks hingamisteed ja kopsud. Välisõhus on radoonikontsentratsioon tavaliselt väike ega kujuta endast ohtu inimese tervisele. Hoonetes aga, kus on õhutihedad piirded ja vähene õhuvahetus, on radoonikontsentratsioon, võrreldes välisõhuga, kõrgem ning seega tervistkahjustav mõju suurem.

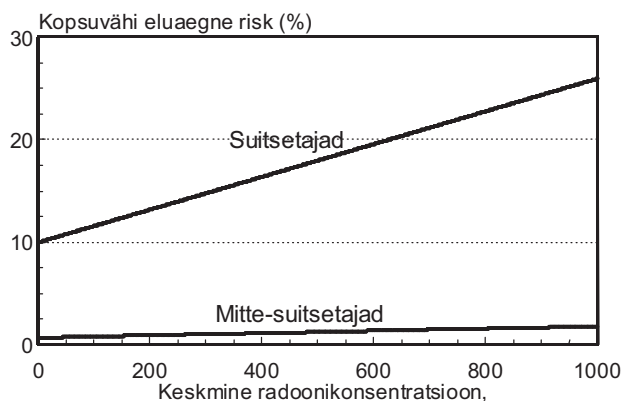
1999. aastal koostatud Eesti Keskkonnatervise Riikliku Tegevusplaani (NEHAP) (EV Sotsiaalministeerium, 1999) järgi kuulub siseõhu radoon meil enam levinud tervisele ohtlike keskkonnategurite hulka. Enamik Euroopa riike on kehtestanud radooni piirnormid elamutele ja töökohtadele. Normid on eri riikides erinevad, sõltuvalt sellest, kas on tegu olemasolevate või planeeritavate hoonetega, elu- või töökohtadega. Eesti sisekliima standard piirab aasta keskmise radoonisisalduse elu-, puhke- ja tööruumides 200 Bq/m^3 . (EVS 839:2003)

Inimeste teadlikkus radoonist on vanuseliselt erinev. Kõige vähem teavad radoonist noored vanuses 16–24 eluaastat. Vanemate seas on radooniteadlikkus kõrgem. Inimesed teavad reeglina, et radoon on looduslik ioniseeriva kiirguse allikas ning pärineb peamiselt pinnasest. Teatakse ka seda, et kõrge radoonitase võib põhjustada hingamisteede ja kopsuvähki kuid vähesed seostavad kõrgemat terviseriski suitsetamisega. Teadmised puuduvad radooni taseme näitajatest ning kontsentratsiooni sõltuvusest aastaajast (Eesti Tervisekaitse Selts, 2005).

17.1 Radooniga seonduvad terviseriskid

Radooni peetakse suitsetamise järel oluliseks kopsuvähi riskiteguriks. Euroopas ja Põhja-Ameerikas elanikkonna hulgas läbi viidud meditsiinilised uuringud tõestavad kopsuvähi ja kõrge radoonikontsentratsiooni vahelist seost.

Varasemate epidemioloogiliste uuringute käigus ei eristatud suitsetajaid ja mitesuitsetajaid. Seetõttu oli raske vastata küsimusele, milline on ainult radoonist põhjustatud kopsuvähi risk. Sellele küsimusele vastuse saamiseks viidi Rootsi Karolinska Instituudi poolt läbi epidemioloogilised uuringud, mis hõlmasid 436 kopsuvähi juhtu patsientidel, kes polnud kunagi suitsetanud (kontrollgrupp 1650 inimest). Nimetatud uuringu põhjal väidavad Rootsi teadlased, et siseõhu radoon põhjustab aastas keskmiselt 18% kõigist kopsuvähijuhtudest nende riigis, millest omakorda 90% on seotud suitsetamisega ja 10% juhtudest on tegemist üksnes radoonist põhjustatud kopsuvähiga (vt. Joonis 5.14). (Pahapill, 2000)



Joonis 17.1 Radoonist tingitud kopsuvähi risk suitsetajatele ja mitesuitsetajatele (Pahapill, 2000)

Kopsuvähk on Eestis sagedasimaks vähisurma põhjuseks, moodustades neist 21%. Eesti Vähiregistri andmeil registreeritakse meil keskmiselt 700 uut kopsuvähijuhtu aastas. Mitu uut haigusjuhtu neist võiks olla põhjustatud radoonist elamutes? Sellele küsimusele on püütud vastata, tuginedes riikliku uuringu käigus saadud näitajatele erinevate radoonikontsentratsioonide statistilisest jaotusest Eesti elamutes ja Karolinska Instituudi epidemioloogilisele uuringule radoonist tuleneva kopsuvähi riski kohta. Selgub, et radoon Eesti kodudes põhjustab 12% ehk ligikaudu 90–100 uut kopsuvähijuhtu aastas, millest omakorda 87% moodustab see osa (32%) elanikkonnast, kes suitsetab ja kõigest 13% langeb mitteduitsetajate arvele.

Kõige lihtsam viis radoonist tuleneva terviseriski vähendamiseks on suitsetamisest loobumine. Teiseks radooniohu vähendamise võimaluseks on rakendada olemasoleval ja projekteeritaval hoonel erinevad konstruktiivsed lahendusi.

17.2 Radooni sattumine hoonesse

Radoon satub hoonesse peamiselt pinnasest hoone all ja ümber, ehitusmaterjalidest ning kraaniveest. Põhiliseks radooni allikaks on pinnas, kusjuures mitte ainult looduslikud pinnasekihid. Tihtipeale on hoonete all tegemist täitepinnasega, mis koosneb mitmesugustest tootmis- või kaevandamisjäädikdest. Radoon võib tungida pinnasest hoonesse difusiooni või konvektsiooni teel.

Radooni levik difusiooni teel on küllalt piiratud, sest radooni radioaktiivne poolestusaeg on lühike – 3.8 ööpäeva. Märkimisväärselt suurem on radooni levik konvektsiooni teel. Liikudes koos õhuga erinevatesse pinnasekihtidesse, võib radoon enne lagunemist kanduda 20-40m kaugusele, kivimites olevaid lõhesid pidi, kaevanduskäikudes ja kommunikatsioonitorustikes-veelgi kaugemale. See sõltub aga eelkõige pinnase omadustest, nagu poorsus, sõmerus, vee läbilaskevõime, lõhede olemasolu jne. (Jõgioja 2004)

Radooni sattumine hoonesse sõltub ka pinnase ja hoone õhurõhkude erinevusest. Seda erinevust võib põhjustada temperatuuride erinevus sise- ja väliskeskkonna vahel. Sagedaseks alarõhu tekitajaks on ka tuul, mis oma kiiruse ja suunaga võib hoonet ümbritsevast maapinnast radooni n.ö „välja imeda“ ja sellega mõjutada radooni kontsentratsiooni ruumi siseõhus. (Riley jt 1995)

Sarnane efekt esineb talvel kütteperioodi ajal. Kuna kütteperioodil on reeglina ukсед ja aknad hästi suletud, siis ruumide ventileerimisel (ka ahjude kütmisel) tõmmatakse ruumidesse suhteliselt rohkem hoonealust õhku, mis on kontaktis pinnasega. Lisaks takistab talvekuudel külmunud maapind hoone ümber radooni väljapääsu atmosfääri. Maja all pinnas ei külmu ning sinna satub ka osa radooni sisaldavast pinnaseõhust hoone ümbruses. Seepärast on radoonisisaldus hoonetes (tavaliselt) kõige suurem talvisel ajal. Soojal aastaajal hoitakse uksi ja aknaid rohkem lahti ja õhutamisel tuleb tubadesse peamiselt välisõhk, mis alandab ruumide radooni taset (Keskikuru jt 2000)

Teatud kogus radooni eraldub tubadesse ehitusmaterjalidest (betoonist, tellistest, tuhaplokkidest jne). Kasutades ruumide siseviimistluseks graniiti, võib ka sellest materjalist tingitud radoonitase olla kõrgem. Seniste mõõtmiste põhjal pole Eestis täheldatud ehitusmaterjalidest põhjustatud kõrgeid radoonikontsentratsioone.

Radoon eraldub ka kraaniveest. Ajutine radoonitaseme tõus on jälgitav vannitoas duši või pesumasina kasutamisel ja köögis nõudepesumasina töötamisel. Tavaliselt on neis ruumides hea ventilatsioon, mis tagab ka küllalt kiire radoonisisalduse vähenemise pärast veekasutuse lõppemist.

17.3 Radooni mõõtmismetoodika

Radoonikontsentratsioonide mõõtmiseks õhus ja pinnases on mitmeid meetodeid. Eesti Kiirguskeskus kasutab radooni mõõtmiseks õhus Suurbritannias välja töötatud ja Rootsi Kiirgusohutuse Instituudi kohandatud metoodikat, mis põhineb alfatundliku filmi detektoritel (vt. Joonis 17.2).



Joonis 17.2 Alfatundlikust plastikust (CR-39) detektorid (Pahapill jt. 2003)

Detektoreid eksponeeritakse mõõdetaval objektil kütteperioodil 2-3 kuud. Tavaliselt pannakse samale objektile (majja) eri ruumidesse 2 mõõdikut, korteris näiteks elu- ja magamistuppa. Lähtudes eeldusest, et radooniallikaks on maapind, pannakse detektorid peamiselt esimeste korruste elu- ja tööruumidesse või ka keldrikorruste elu-, magamis- ja tööruumidesse, kui neid esineb. Kõnealuse meetodi mõõtmisviga on lugemile alla 200 Bq/m³ 5-15%, üle 800 Bq/m³ lugemile 5-10%. Radooni aktiivsuse kontsentratsiooni ühik on Bq/m³. Kasutatav mõõtmismetoodika võimaldab võrrelda andmeid teiste Euroopa riikidega. (Pahapill, 2002)

17.4 Radoonialased uuringud Eestis

Eestis algasid siseõhu radooni uuringud 1980. aastate lõpus seoses nn Sillamäe juhtumiga, kus lastel esinenud juuste väljalangemise ühe võimaliku põhjusena oli väidetav kõrge radoonitase Sillamäel. 1989. aastal alustas Ehituse Teadusliku Uurimise Instituut süstemaatilisi mõõtmisi, mis lõppesid 1991. aastal. 1994. aastal käivitus Riiklik Keskkonnaseire programm, mis oli üks Rootsi ja Ida-Euroopa koostööprojekti osa ning ühtlasi ka esimene Eesti–Rootsi radoonialane projekt. Keskkonnaseire programm lõppes 1997. aastal, mille järel algas kohe uus Riiklik Radooniuringu programm, mis kestis aastani 2001. Tööd finantseerisid Eesti Keskkonnafond ja Rootsi Välisministeerium.

Koostöös rootslastega jätkusid radooniuringud ka aastail 2002–2004. Lisaks Rootsi Kiirguskaitse Instituudile ja Eesti Kiirguskeskusele osalesid selles töös eraldi projektiga ka OÜ Eesti Geoloogiakeskus ja Rootsi Geoloogiateenistus eesmärgiga koostada Eesti radooniohtlike alade kaart. Projekti mõõtmistulemusi analüüsid soovitas Rootsi Kiirguskaitse Instituut tähelepanu pöörata ka radooniuringutele lasteasutustes, mille ajendil tehtigi aastal 2005-2006 vastavad mõõtmised. 2007. aastal alustati järjekordsete mõõtmistega, mis lõppesid 2008. aastal.

Radooniuring 1989-1991

Radooniuringud viidi läbi ETUI (Ehituse Teadusliku Uurimise Instituut) ehitusfüüsika osakonnas. (Pahapill jt. 1993)

Mõõtmistulemused:

- mõõtmised tehti 400 elamus: (90% elamud, 10% lasteaias, koolid ja haiglad);
- 72%-il elamutest oli radoonitase <100 Bq/m³;
- 4% -il elamutest oli radoonitase >800 Bq/m³;
- suurim mõõdetud radoonitase oli 6700 Bq/m³;
- norme ületavaid radoonieraldusi ehitusmaterjalidest ei tuvastatud;
- põhiline radooniallikas elamus oli pinnas.

Radooniuring 1994-1997

See uuring oli esimene Eesti–Rootsi radooni projekt, mis oli üheks Rootsi ja Ida-Euroopa koostööprojekti osaks. Mõõtmisi tehti riikliku keskkonnaseire programmi alusel. Keskkonnaseire raames tehti mõõtmisi mingis kindlas asulas (linnas), seega väiksemal maa-alal, mille piires mõõdeti rohkem maju. (Pahapill jt. 2003; Pahapill 2000)

Uuringu eesmärkideks olid:

- määrata üldine radoonitase Eestimaa elamutes;
- selgitada välja radooniohtlikud piirkonnad Eestis;
- selgitada välja radooniohtlikud hoonetüübid

Mõõtmised tehti 700 elamus, mis paiknesid radooniohtlikes piirkondades. Keskmise mõõtmiskestvus oli kolm kuud kütteperioodi ajal.

Mõõtmistulemused:

- mõõtmistulemuste keskmine radoonitase oli 102 Bq/m³;
- 65% elamutest oli radoonitase alla 100 Bq/m³;
- 3% elamutest oli radoonitase üle 800 Bq/m³;
- ühepereelamutes oli radoonisisaldus reeglina suurem kui korterelamus;
- selgitati välja eriti radooniohtlik elamutüüp, mis tänu ventilatsioonirestidele esimese korruse põrandas loob eriti soodsad tingimused pinnasest radooni sattumisele elamusse. Sellises hoones mõõdeti ka kõige kõrgem radoonitase, 12000 Bq/m³ Kundas.

Radooniuring (1997) 1998-2001

1997. aastal algas Riiklik Radooniuringu programm. Riikliku uuringu käigus määrati radoonitasemeid valdades ja juhuslikult valitud majades, kusjuures mõõtmispunktide hulk oli proportsionaalne elumajade hulgaga antud piirkonnas. Riikliku uuringu käigus tehti tihedat koostööd kohalike tervisekaitsetalituse töötajatega. Põhilised mõõtmistööd algasid 1998. aastal. (Pahapill jt. 2003; Pahapill 2000)

Uuringu eesmärkideks olid:

- kogu Eestit hõlmavad mõõtmised määramiseks radoonitasemeid meie elamutes ning siseõhu radoonist tulenevat terviseriski;
- tagada korralik baas radoonikaitsealaseks tööks.

Mõõtmised toimusid ühepereelamutes ja korterelamute alumistel korrustel. Tulemused saadi 515 juhuslikult valitud elamu kohta.

Mõõtmistulemused:

- keskmine radoonitase ühepere-elamus oli 103 Bq/m³;
- keskmine radoonitase elamu esimesel korrusel 78 Bq/m³;
- keskmine radoonitase kõigis elamuruumides 60 Bq/m³;
- 67% elamutest oli radoonitase alla 100 Bq/m³;
- 1% elamutest ületas radoonitase 400 Bq/m³;
- maksimaalne mõõtmistulemus 1044 Bq/m³ (Haljalas);
- peamisteks radoonisisalduse mõjutajateks siseõhus on geoloogilised faktorid;
- kõrged tulemused saadi Lääne-Virumaal ja Harjumaal. Lääne-Virumaa maksimaalne väärtus oli 1044 Bq/m³ ja aritmeetiline keskmine 130 Bq/m³. Harjumaal oli keskmine; 45 Bq/m³ ja keskmine 115 Bq/m³;
- radooniohutud piirkonnad on Hiiumaa, Saaremaa, Läänemaa, Järvamaa ja Pärnumaa; Jõgevamaa, Põlvamaa, Tartumaa, Valgamaa, Viljandimaa ja Võrumaa on normaalse radooniriski piirkonnad. Ida- Virumaa on kõrgendatud riskiga piirkond;
- Eestis on põhjustanud elamutes leiduv radoon umbes 90 uut kopsuvähijuhtu 700-st;
- mõõtmistulemuste otsest sõltuvust elustiilist ei täheldatud;
- valmis kaart, mis näitab keskmist radoonitaset elamute siseõhus maakondade kaupa;
- valmis kaart, mis näitab keskmist radoonitaset elamute siseõhus valdade kaupa.

Radooniuring 2002-2004

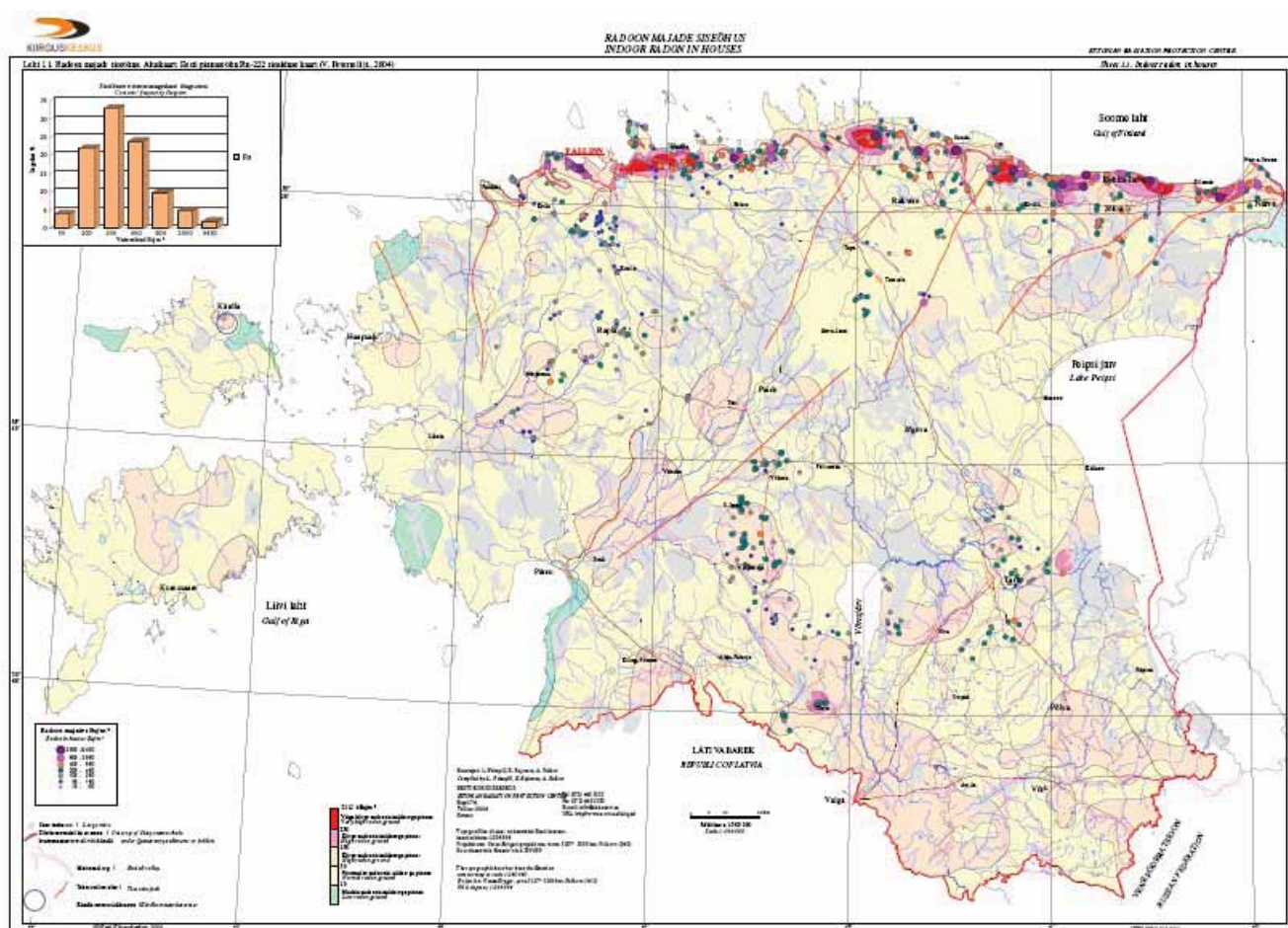
Tegemist on Eesti-Rootsi ühisuringuga. Lisaks Rootsi Kiirguskaitse Instituudile ja Eesti Kiirguskeskusele osalesid selles töös eraldi projektiga ka OÜ Eesti Geoloogiakeskus ja Rootsi Geoloogiateenistus. Uuringu Eesti-poolne rahastaja oli Keskkonnainvesteeringute Keskus, kelle abiga viis Kiirguskeskus läbi projekti „Radoon majades“. (Rulkov, Pahapill 2004)

Uuringu eesmärgiks oli: Eesti alade radooniriski kaardi koostamine

„Radoon majades“ projekti eesmärk:

- mõõtmistega majades tagada vajalik algmaterjal eesti radooniriski kaardi tarvis, mis baseerub nii neil mõõtmistel kui ka geoloogilisel informatsioonil;
- elanikkonna, omavalitsuste, tervisekaitsjate ja projekteerijate teavitamine radooniga seonduvatest probleemidest.

Mõõtmistulemused on esitatud punktväärtustena kaardil „Radoon majade siseõhus“ (vt. Joonis 17.3)



Joonis 17.3 Kaart „Radoon majade siseõhus“ (Rulkov, Pahapill 2004)

Radooniuring 2005-2006

Selle uuringu käigus mõõdeti radoonitaset 208 lasteasutuses. Uuringuks valiti sellised piirkonnad, kus elamutes oli varasemalt tuvastatud kõrget radoonisaldust. Peamiselt on radooniohtlikud Põhja-Eesti, kohati ka Lääne-Virumaa ning Tartumaa. Kokku uuriti 30 valla ja linna 208 lasteasutuse hoonet. Antud uuring viidi läbi kütteperioodil, kuid jäi mõnes piirkonnas osaliselt ka koolivaheajale, mil ruume realselt ei kasutatud. (Pesur 2006)

Uuringu eesmärgiks oli: määrata radoonikontsentratsioon lasteasutuste siseõhus

Mõõtmistulemused:

- uuringu käigus tuvastati, et peaaegu pooltes lasteasutustes ületab radoonisisaldus standardis sätestatud piirväärtust;
- keskmine radoonisisaldus oli lubatud piirväärtusest kõrgem 66 hoones;
- 36 hoones oli probleeme ühes või mitmes mõõdetud ruumis;
- radoonisisaldus vastas nõuetele 106 hoones;
- suurimad ületamised tuvastati Ida-Virumaal, kuid ka Harjumaal ning Lääne-Virumaal oli kõrgeid sisaldusi. Tartumaal olid tulemused üldjuhul madalamad.

Radooniuring 2007-2008

Käesoleva raporti koostamise ajaks selle radooniuringu tulemusi veel raporteeritud ei ole.

17.5 Radooniriski vähendamise põhimõttelised renoveerimislahendused

Radooniohutu elamu ehitamiseks on mitmeid erinevaid meetodeid. Sageli aga ei ole võimalik sellised meetmeid rakendada olemasolevates elamutes.

Kuna arvukad uuringud näitavad, et õhk tungib põranda alt esimese korruse ruumidesse põhiliselt seinte ja põranda nurkade, seinas paiknevate pistikupesade ja põrandat läbivate torude läbiviikude kaudu, tuleb esmajärjekorras pöörata tähelepanu just nende õhupidavaks muutmisele. Tihendada tuleb ka vundament ja keldripõrand, samuti seinu ja põranda liitekohad.

Sageli suudab vundamenti hüdroisolatsioon tõhusalt takistada radooni tungimist hoonesse. Juhul kui hüdroisolatsioon ei ole küllaldane, võib radoonitaseme alandamiseks kasutada erinevaid ventilatsioonisüsteeme.

Radoon võib pinnasest eluruumi sattuda ka betoonpõrandatarindeid läbivate pragude kaudu. Probleemi likvideerimiseks freesitakse prao kohal põrandasse soon, mis täidetakse elastse vuugitäitega ning liimitakse peale radoonitõkkeriba.

Hästi õhku läbilaskva pinnase (kruusa) või elamu ehitamise ajal tehtud killustikpadja korral võib saavutada häid tulemusi radoonikaevu meetodiga.

17.6 Kokkuvõte

Radoon moodustab suure osa loodusest tulenevast kiirgusest ning omab tervistkahjustavat mõju, mis on eelkõige seotud hingamisteede ja kopsuvähiga. Terviseriskide vähendamiseks on enamus Euroopa riike, sh. ka Eesti kehtestanud piirnormid nii elamutes kui ka töökohtadel. Eesti normide kohaselt peaks aasta keskmine radoonisisaldus ruumiõhus jääma alla 200 Bq/m³. Radoon satub hoonesse läbi pragude ja ebatiheduste peamiselt hoonealuse pinnase kaudu.

Mitmete Eestis läbiviidud radooniuringute kohaselt on kõige radooni-ohhtlikumateks piirkondadeks:

- Põhja-Eesti s.o Harjumaa;
- Lääne-Virumaa;
- Ida-Virumaa.

Kõige kõrgem radoonitase on mõõdetud Kundas (12000 Bq/m³).

Radooniohutud piirkonnad on:

- Hiiumaa;
- Saaremaa;
- Läänemaa;
- Järvamaa;
- Pärnumaa.

Normaalse radooniriski piirkonnad on:

- Jõgevamaa;
- Põlvamaa;
- Tartumaa;
- Valgamaa;
- Viljandimaa;
- Võrumaa.

Mõõtmistulemusi üldistades võib öelda, et 68% mõõdetud elamutes oli radoonitase alla 100 Bq/m³. Radoonisisaldus üle 800 Bq/m³ mõõdeti ainult 2.7% majadest. Keskmine radoonitase ühepere-elamus oli 103 Bq/m³, korterelamu esimesel korrusel 78 Bq/m³ ning kõigis elamuruumides 60 Bq/m³.

Radoonitaseme vähendamiseks olemasolevates hoonetes tuleb tähelepanu pöörata eelkõige piirete õhupidavusele. Hoonesse tungiva radooni hulka on võimalik vähendada põrandaaluste ja keldrite välisõhuga ventileerimise teel. Õhku hästi läbilaskva pinnase puhul kasutatakse ka radoonikaevu.

18 Kokkuvõte põhimõttelistest renoveerimislahendustest

Korterelamute ebapiisav hooldus ja remont on tekitanud neile suure renoveerimisvõla. Seda võlga tasumata võivad mitmed hooned seista pankroti ääres: korterelamud ei täida enam ehitusseadusest tulenevaid ehitisele esitatavaid olulisi nõudeid:

- mehaaniline tugevus ja stabiilsus;
- tuleohutus;
- hügieenilisus, tervise- ja keskkonnaohutus;
- kasutusohutus;
- kaitse müra eest;
- energiasääst ja energiatõhusus.

Kuna renoveerimise vajadus on suur, nõuab see suuri kulutusi. Suurim küsimus renoveerimislahenduste valiku juures on nende ulatuse ja taotletava taseme üle otsustamine. Probleeme leidub alati, kui vaid piisavalt otsida. Esmatähtis on hoone ohutuse ja tervisliku sisekliima tagamine (esimesed neli ja osaliselt ka viies olulist nõuet); seejärel tuleb energiasääst ja mugavustaseme parandamine. Sõltuvalt renoveerimistööde ulatusest on renoveerimistööd jaotatud kolmeks tasemeks: A, B, C:

- **Tase A.** Selle juures on silmas peetud eelkõige hoone **ohutust** (kandevõime, tuleohutus, kasutusohutus, keskkonnaohutus) ja **tervislikkust**. Lahenduste puhul keskendutakse hoonele esitatavate oluliste nõuete miinimumnõuete täitmisele, tegemata järeleandmisi tervislikkuse ja turvalisuse osas;
- **Tase B.** Taseme B renoveerimislahenduste abil on võimalik parandada rohkem hoone **energiatõhusust** ja pikendada **säilivust** ning **kasutusiga**;
- **Tase C.** Renoveerimislahendused parandavad oluliselt hoonete **kvaliteeti** ja pakuvad täiendavaid **mugavusi** elanikele. Energiatõhususe osas pakuvad lahendused väiksemat energiakulu, kuid praeguste energiahindade juures võib investeeringu tulukuse määr olla väiksem, kui taseme B korral. Kahjustunud tarindid vahetatakse välja või ehitatakse uued. Teatud osas võib C tasemele renoveeritud hoonet võrrelda uue hoone tasemega.

Põhimõtteliste renoveerimispakettide juures peab alati järgima põhimõtet, et enne järgneva taseme töödega alustamist, peavad olema eelmise taseme tööd tehtud. Ei ole õige teha investeeringuid mugavusele, kui energiatõhususe tööd (näiteks hoonepiirete soojustamine, küttesüsteemi või ventilatsioonisüsteemi renoveerimine jne) ei ole tehtud või ei ole tagatud ohutus (konstruktsioonide kandevõime) või tervislik elukeskkond (näiteks ventilatsiooni renoveerimine). Seetõttu ei ole neid töid erinevates pakettides korratud.

Põhimõtteliste renoveerimispakettide väljatöötamise juures on lähtunud nii käesoleva uurimistöö tulemustest kui ka varasemate uuringute (EstKONSULT 1996, EKK 1994, EKHHL 2002) tulemustest. Lahendusi on korrigeeritud, arvestades vahepeal (13–16 aasta jooksul) tehtud enam levinuid töid.

Hoone erinevate osade juures võib kasutada erineva taseme renoveerimislahendusi. Siiski nõuab osa renoveerimislahendusi teatud tööde kompleksust (näiteks akende vahetamine ja ventilatsiooni renoveerimine või piirdetarindite lisasoojustamine ja küttesüsteemi tasakaalustamine). Käesolevas raportis on esitatud renoveerimislahenduste põhimõttelised lahendused. Kuigi suurpaneelilamud on ehitatud tüüpprojektide alusel, on igal elamul erinev renoveerimisvajadus. A tasemest parema renoveerimislahenduse kasutamine ja selle põhjendatus tuleb otsustada alati lähtuvalt konkreetset hoonest, arvestades ehitustehnilist seisukorda ja sisekliimat, hoone kasutusea pikendamist, hoonete energiatõhusust, keskkonna (nii linna- kui ka looduskeskkonna) saastamise vähendamist, majanduslikku otstarbekust jne.

Kahjustunud tarindi või mittetoimiva süsteemi renoveerimise juures on esmatähtis probleemi põhjuse likvideerimine ja alles seejärel tagajärgedega võitlemine.

Kuna ressursse pole kunagi piisavalt, tuleb renoveerimistööd viia läbi säästlikult. Suurim sääst seisneb õigesti tegemises ja mitu korda ümbertegemata jätmises.

18.1 Piirdetarindid ja ehituskonstruksioonid

18.1.1 Välisseinad

Tabel 18.1 Välisseinte renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Välisseinad			
Välisseinad	<ul style="list-style-type: none"> Kontrollitakse välisseinapaneeli sisemise ja välimise plaadi vahelisi sidemeid ja otsaseinapaneelide väljanihkumist, vajadusel tuleb teha tugevdustööd; Paneelidevaheliste vuukide korrastamine; Betooni parandamine ja pindamine; Külmasildade likvideerimine hoone välispidise lisasoojustamisega; 	<ul style="list-style-type: none"> Välisseinad lisasoojustatakse (15...10cm, otsaseinad 20...15cm), lahtised vuugid täidetakse montaaživahuga; 	
Ääre-, serva ja katteplekid	<ul style="list-style-type: none"> Olemasolevad plekid parandatakse. 	<ul style="list-style-type: none"> Uued plekid. 	<ul style="list-style-type: none"> Uued plekid.

18.1.2 Rõdud, varikatused

Tabel 18.2 Kahjustatud rõdude, lodžade ja varikatuste renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Rõdud, varikatused			
Rõdu kande-konstruksioonid	<ul style="list-style-type: none"> Kandekonstruksioonid remonditakse, parandades paljastunud sarruse ja tõmbide ankurdust, armatuuri korrosioonikaitset ja kaitsekihti. Likvideeritakse külmasillad hoone välispidise lisasoojustamisega; Rõdu ja varikatuse kattematerjal uuendatakse. Serva ja katteplekid parandatakse. 		<ul style="list-style-type: none"> Kahjustunud konstruksioonid eemaldatakse ja ehitatakse uued rõdud ja varikatused toetatuna maapinnale (likvideeritakse sisemisele välisseina betoonplaadile toetusest tekkiv külmasild).
Rõdude piirded	<ul style="list-style-type: none"> Olemasolevate rõdupiirete kinnitust remonditakse, et oleks tagatud rõdul olijate turvalisus ja oleks välditud piirete allakukkumine. Täiesti kahjustunud piirdeosad, mida parandada ei saa, asendatakse. 	<ul style="list-style-type: none"> Paigaldatakse uued rõdupiirded (avatud rõdude korral). Rõdud/lodžad ehitatakse kinni ühtse lahenduse alusel tervikuna kogu hoonel lisasoojustatud välispiiretega. 	<ul style="list-style-type: none"> Kinniehitatud ja lisasoojustatud rõdud ühendatakse korteri siseruumidega ühtseks ruumiks.

18.1.3 Katused

Tabel 18.3 Katuste renoveerimistöõde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Katused			
Katusekate	<ul style="list-style-type: none"> Katusekate hermetiseeritakse osalise parandamisega või katte täieliku uuendamisega. Suletud katuslae korral kontrollitakse olemasoleva soojustuse olukorda, et see ei oleks märgunud. Antakse katusele piisavad kalded veeäravoolu tagamiseks. Parandatakse katuse katte- ja servaplekid ja tagatakse katuslae olemasoleva tuulutussüsteemi toimivus (tuulutusavad välisseinas või tuulutuskorstnad). 	<ul style="list-style-type: none"> Ehitatakse madal kaldkatvus. 	<ul style="list-style-type: none"> Ehitatakse hoonele peale lisakorrus.
Lisasoojustus	<ul style="list-style-type: none"> Katus lisasoojustatakse, kui asendatakse kogu katusekate. 	<ul style="list-style-type: none"> Katus lisasoojustatakse 20–30 cm mineraalvillaga või vahtpolüstüreeniga ning rajatakse uus tuulutus lisasoojustuse peale. Originaalsed tuulutusavad suletakse aasta peale katuse lisasoojustamist, et aja jooksul kogunenud niiskus saaks välja tuulduda. 	
Korstnad, lõõrid ja äravoolud.	<ul style="list-style-type: none"> Korrastatakse või asendatakse kahjustatud või puuduvad lõõride ning korstnate otsad, vajadusel ehitatakse lõõre ning korstnaid pikemaks. Puhastatakse ummistunud veeäravoolud, paigaldatakse neile katted, mis väldivad prügi sattumist äravoolutorudesse. 	<ul style="list-style-type: none"> Madala lamekatuse korral ehitatakse uus veeäravoolusüsteem ning pikendatakse lõõrid ja korstnad uue katusega sobivaks. 	<ul style="list-style-type: none"> Ehitatakse uus veeäravoolusüsteem, pikendatakse lõõrid ja korstnad ning lisatakse viimase korruse ventilatsioonilõõrid.

18.1.4 Vahelaed

Tabel 18.4 Vahelagede renoveerimistöõde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Katused			
Vahelagi	<ul style="list-style-type: none"> • Tagatakse vahelaie õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 50dB$ • Tagatakse vahelaie taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 58dB$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Tagatakse vahelaie õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 55dB$ • Tagatakse vahelaie taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 53dB$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Tagatakse vahelaie õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 58dB$ • Tagatakse vahelaie taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 48dB$

18.1.5 Uksed, aknad

Tabel 18.5 Uste ja akende renoveerimistöõde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Uksed, aknad			
Trepikodade välisüksed	<ul style="list-style-type: none"> • Olemasolevad uksed remonditakse või asendatakse uutega. 		<ul style="list-style-type: none"> • Paigaldatakse fonolukusüsteem.
Trepikodade aknad	<ul style="list-style-type: none"> • Olemasolevad aknad remonditakse või asendatakse uutega pidades silmas tulekahju tingimustes trepikojast suitsu eemaldamise võimalikust. 		
Korterite uksed	<ul style="list-style-type: none"> • Paigaldatakse tulekindlad uksed. 		<ul style="list-style-type: none"> • Paigaldatakse kõikidele korteritele ühesugused tulekindlad uksed.
Korterite aknad ja rõduuksed	<ul style="list-style-type: none"> • Olemasolevad aknad remonditakse või asendatakse uutega. • Koos akende vahetuse või tihendamisega renoveeritakse ka ventilatsioonisüsteem. 		<ul style="list-style-type: none"> • Asendatakse uutega, fassaadi paksu lisasoojustuse kihi tõttu võidakse ka aknaid väljapoole tuua. • Koos akende vahetuse või tihendamisega renoveeritakse ka ventilatsioonisüsteem.

18.1.6 Trepid, trepikojad

Tabel 18.6 Trepidide ja trepikodade erinevate renoveerimistasemete kokkuvõte.

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Trepid, trepikojad			
Sisetrepid	<ul style="list-style-type: none"> Kaitstakse paljastunud armatuur korrosiooni vastu ning taastatakse armatuuri kaitsekiht. 		
Käsi puud	<ul style="list-style-type: none"> Korrastatakse vastavalt turvalisuse ja tuleohutuse nõudeid silmas pidades 		<ul style="list-style-type: none"> Paigaldatakse uued tänapäevasema välimusega käsi puud.
Trepikodade seinad ja laed			<ul style="list-style-type: none"> Parandatakse kahjustunud kohad ning värvitakse uuesti üle.
Välis trepid	<ul style="list-style-type: none"> Kaitstakse paljastunud armatuur korrosiooni vastu ning taastatakse armatuuri kaitsekiht. Äravajunud trepiplaatide algne asend taastatakse. 		<ul style="list-style-type: none"> Ehitatakse täiesti uued pääslad koos uute välis treppidega.

18.1.7 Keldriseinad, sokkel

Tabel 18.7 Keldriseinte ja sokli renoveerimistöde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Keldriseinad, sokkel			
Soklid	<ul style="list-style-type: none"> Paneelidevaheliste vuukide korrastamine; Betooni parandamine ja pindamine; 	<ul style="list-style-type: none"> Soklid lisasoojustatakse analoogselt välisseintega või 5 cm õhema soojustusega, lahtised vuugid täidetakse montaaživahuga; 	
Keldriseinte maa-alune osa	<ul style="list-style-type: none"> Vajadusel tehakse hüdroisolatsioon. 	<ul style="list-style-type: none"> Paigaldatakse lisasoojustus 5–10 cm. 	

18.1.8 Niisked ja märgad ruumid

Tabel 18.8 Niiskete ja märgade ruumide renoveerimistöde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Niisked ja märgad ruumid			
Tarindid	<ul style="list-style-type: none"> Tagatakse märgade tsoonide veetõkke hermeetilisus; Tagatakse kalded põrandatele; 		<ul style="list-style-type: none"> Paigaldatakse põrandaküte;
Ventilatsioon	<ul style="list-style-type: none"> Tagatakse niiskete ja märgade ruumide ventilatsioon. Vajadusel paigaldatakse ventilatsioonilööridesse ventilaatorid väljatõmbe parandamiseks. Tagatakse, et ventilatsiooniavad oleks avatud, puhastatavad ja mitte õhutihedate ripplagede taga. 	<ul style="list-style-type: none"> Paigaldatakse soojusutilisaatoriga ventilatsioonisüsteem. 	

18.1.9 Müratõrje ja helipidavus

Tabel 18.9 Müratõrje ja helipidavus, renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Müratõrje ja helipidavus	<ul style="list-style-type: none"> • Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 50dB$ • Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 58dB$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 55dB$ • Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 53dB$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Tagatakse vahelae õhumüra isolatsiooniindeks $R'w, dB > 58dB$ • Tagatakse vahelae taandatud löögimürataseme indeks $L'n,w, dB < 48dB$

18.2 Tehnosüsteemid

18.2.1 Soojusvarustus

Tabel 18.10 Soojusvarustuse renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Soojusvarustus			
Soojussõlm	<ul style="list-style-type: none"> • Vana sojussõlm renoveerida 		
Torustikud	<ul style="list-style-type: none"> • Vajadusel asendada, arvestades maks. tööiga 		
Soojusenergia arvesti		<ul style="list-style-type: none"> • Puudumisel tuleb paigaldada 	
Küttesüsteemi soojusvaheti		<ul style="list-style-type: none"> • Puudumisel on soovitatav paigaldada 	<ul style="list-style-type: none"> • Puudumisel tuleb paigaldada
Tarbevee soojusvaheti		<ul style="list-style-type: none"> • Puudumisel tuleb paigaldada 	
Reguleer-automaatika	<ul style="list-style-type: none"> • Seadistada, et oleks tagatud kütteperioodil ühtlane sisetemperatuur 		
Tsirkulatsiooni-pumbad		<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollida sobivus, vajadusel asendada 	
Sulg- ja ohutusarmatuur	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollida, mittekorras toruarmatuur asendada 		

18.2.2 Küte

Tabel 18.11 Küttesüsteemi renoveerimistöõde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Küte			
Küttesüsteem	<ul style="list-style-type: none"> Ühetorusüsteemi seadistamine õigele temperatuurigraafikule ja vooluhulgale, et kõikides korterites oleks tagatud vajalik temperatuur 	<ul style="list-style-type: none"> Variant 1: ehitatakse kahetorusüsteem Variant 2: ühetoru süsteemi renoveerimine koos individuaalse temperatuuri reguleerimise võimalusega 	<ul style="list-style-type: none"> Küttekulu korteripõhine mõõtmine. Tuleb tagada, et kõikides korterites oleks tagatud nõuetekohane sisekliima (temperatuur, suhteline niiskus). Olemasolev kulude jaotussüsteem nõuab täpsustamist ja lisauuringuid
Küttetorustikud sh. keldrimagistraalid	<ul style="list-style-type: none"> Vajadusel asendada, arvestades maks. tööiga 		
Püstikute ja magistraalitorustiku tasakaalustamine	<ul style="list-style-type: none"> Vajalik 		
Püstikute sulgearmatuur	<ul style="list-style-type: none"> Vajadusel asendada või paigaldada 		
Küttekehad	<ul style="list-style-type: none"> Kontrollida, amortiseerunud asendada 		
Õhutusventiilid	<ul style="list-style-type: none"> Vajadusel asendada või paigaldada 		
Isolatsioon	<ul style="list-style-type: none"> Kütmata ruumides ja keldris tuleb torustik soojustada 		

18.2.3 Ventilatsioon

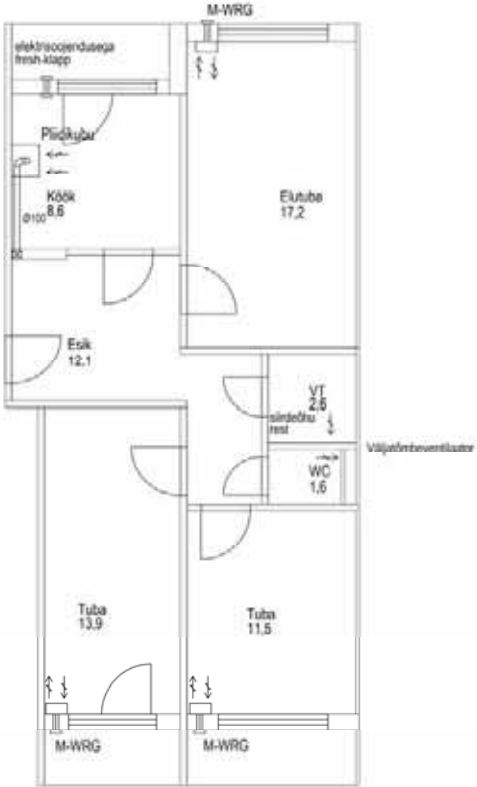
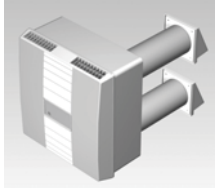
Tabel 18.12 Ventilatsioonisüsteemi renoveerimistöõde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Ventilatsioon			
Korterite ventilatsioon	Variant 1: Loomulik ventilatsioon <ul style="list-style-type: none"> Ventilatsioonikanalite puhastamine; Loomuliku ventilatsiooni korrastamine ja värskõhuklappide lisamine. Variant 2: Mehaaniline ventilatsioon <ul style="list-style-type: none"> Ventilatsioonikanalite puhastamine; Mehaaniline ventilatsioon, kasutades ruumipõhiseid agregate; Mehaaniline ventilatsioon, kasutades korteriagregate. 	<ul style="list-style-type: none"> Mehaaniline sissepuhkeväljatõmbe ventilatsioon koos soojatagastiga 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilatsiooniõhu tarbekohane reguleerimine (CO₂, RH)
Trepikodade ventilatsioon	<ul style="list-style-type: none"> Loomuliku ventilatsiooni korrastamine, reguleeriv ventiiil viimase korruse laes 		

Mehaaniline sissepuhe/väljatõmme korteripõhise ventilatsiooniagregaadiga: korteri tüüp 121.

Algolukord	Korteris puudub mehaaniline ventilatsioon ja normidele vastav sisekliima.	
Eesmärk	Ehitada süsteem, mis tagab väga hea sisekliima kõikides ruumides. Tase B. Sobib kõikidele hoonetele.	
Lahendus	<p>Ventilatsiooniagregaat paigaldatakse esiku lae alla. Värske õhk võetakse läbi välisseina. Värske õhu torustik läbimõõduga 125 mm asub kõogi lae all. Õhuvõtu torustik tuleb isoleerida.</p> <p>Sissepuhkeõhk antakse elutuppa ja magamistubadesse.</p> <p>Sissepuhke torustik läbimõõduga 100 mm asub lae all. Õhujaoajatena kasutatakse nt. ULA100 seinapealseid plafoone.</p> <p>Väljatõmbeõhk tõmmatakse ära köögist, vannitoast ja WC-st nt URH100 plafoonide kaudu ja köögist pliidikubu kaudu.</p> <p>Väljatõmbe torustik läbimõõduga 100 mm asub lae all.</p> <p>Heitõhk juhitakse olemasolevasse ventilatsioonikanalisse.</p> <p>Olemasolevad ehitusliikud ventilatsioonikanalid tuleb puhastada ja vajadusel tihendada.</p>	
Tööprotsess	Selgitatakse välja korteri sisekliima olukord ning õhuvahetus. Samuti kaardistatakse ehituslikke ventilatsioonikanalite asukohad ning õhupidavus. Projekteerija koostab projekti, lähtudes arhitektuursest lahendusest ja vajalikest õhuvooluhulkadest. Ehitus-montaažifirma koostab antud projekti põhjal lahenduse eelarve. Eelarvete alusel valib korteri omanik või korteriühistu tööde teostamiseks töövõtja.	
Tööjärjekord	<ol style="list-style-type: none"> 1. Olemasolevad ventilatsioonikanalid puhastatakse ja vajadusel tihendatakse. 2. Paigaldatakse agregaat projekteerija poolt ette nähtud asukohta. 3. Seintest läbiminekuks puuritakse vajalikud augud. 4. Paigaldatakse torustik ja toruarmatuur (reguleerklapid, mürasummutid) projekteeritud asukohta. 5. Paigaldatakse süsteemi lõpposad (restid, plafoonid, pliidikubu). 6. Isoleeritakse värskeõhu torustik. 7. Viimistletakse seintest läbiminekuks. 8. Vajadusel värvitakse jaotustorustik. 9. Kontrollitakse, et siseuste all on vähemalt 10 mm suurused pilud. Vajadusel tuleb uste alla vajalikud pilud saagida või paigaldada ustesse siirdeõhu restid. 10. Kui agregaadil läheduses ei ole elektrikontakti, paigaldatakse agregaadile eraldi toitekaabel. 11. Süsteem reguleeritakse ja mõõdistatakse. 	
Tööde ulatus	Töid saab teha korterite kaupa.	
Maksumus korteri kohta	<p>Orienteeruv ehitusmaksumus 52 000.- kr.</p> <p>Orienteeruv 20 aasta maksumus 120 000.- kr</p>	

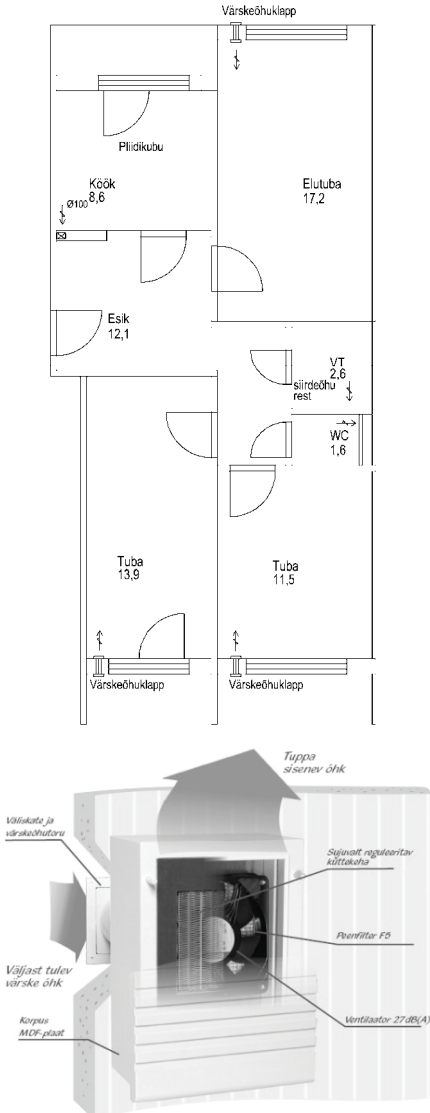
Mehaaniline sissepuhe/väljatõmme ruumipõhiste ventilatsioonisüsteemidega: korteri tüüp 121.

Algolukord	Korteris puudub mehaaniline ventilatsioon ja normidele vastav sisekliima.	
Eesmärk	Ehitada süsteem, mis tagab hea sisekliima kõikides ruumides. Tase B. Sobib kõikidele hoonetele.	
Lahendus	<p>Kasutatakse nt M-WRG agregaatide.</p> <p>Agregaadid paigaldatakse elutuppa ja magamistubadesse. Lisaks on väljatõmme köögist pliidikubu kaudu ning vannitoast ja WCst. WC ja vannitoa ventilaatori sisselülitamine toimub koos valgustusega, väljalülitamine toimub min. 30 minutit pärast valgustuse kustutamist. Pliidikubu ja/või WC ning vannitoa ventilaatori töötamise ajal kompenseeritakse puuduolev sissepuhkeõhk elektrilise kalorifeeriga värskeõhuklapi kaudu.</p>	 
Tööprotsess	Selgitatakse välja korteri sisekliima olukord ning õhuvahetus. Samuti kaardistatakse ehituslike ventilatsioonikanalite asukohad ning õhupidavus. Projekteerija koostab projekti, lähtudes arhitektuursest lahendusest ja vajalikest õhuvooluhulkadest. Ehitus-montaažifirma koostab antud projekti põhjal lahenduse eelarve. Eelarvete alusel valib korteri omanik või korteriühistu tööde teostamiseks töövõtja.	
Tööjärjekord	<ol style="list-style-type: none"> 1. Olemasolevad ventilatsioonikanalid puhastatakse ja vajadusel tihendatakse. 2. Iga agregaadid kohta puuritakse välisseina 2 auku. Värskeõhuklapi jaoks puuritakse köögi seinna auk. 3. Paigaldatakse agregaadid ja värskeõhuklapp. 4. Paigaldatakse pliidikubu ja väljatõmbeventilaatorid 5. Kontrollitakse, et köögi, WC ja vannitoa siseuste all on vähemalt 10 mm suurused pilud. Vajadusel tuleb uste alla vajalikud pilud saagida või paigaldada ustesse siirdeõhu restid. 6. Paigaldatakse agregaatidele ja värskeõhuklapile toitekaablid. 7. Süsteem reguleeritakse ja mõõdistatakse. 	
Tööde ulatus	Töid saab teha korterite kaupa.	
Maksumus korteri kohta	<p>Orienteeruv ehitusmaksumus 60 000.- kr.</p> <p>Orienteeruv 20 aasta maksumus 90 000.- kr</p>	

Mehaaniline väljatõmme ja värскеõhuklapid: korteri tüüp 121.

Algolukord	Korteris puudub mehaaniline ventilatsioon ja normidele vastav sisekliima.	
Eesmärk	Ehitada süsteem, mis tagab rahuldava sisekliima kõikides ruumides. Tase A. Sobib 5-korruseliste hoonetele ja 9-korruseliste hoonete 8. ja 9. korrusele.	
Lahendus	<p>Paigaldada kööki pliidikubu ja sanitaarruumidesse väljatõmbe ventilaatorid, magamistubadesse ja elutappa paigaldada värскеõhuklapid. Olemasolevad ehituslikud kanalid puhastada ja vajadusel tihendada.</p>	
Tööprotsess	Selgitatakse välja korteri sisekliima olukord ning õhuvahetus. Samuti kaardistatakse ehituslike ventilatsioonikanalite asukohad ning õhupidavus. Projekteeija koostab projekti, lähtudes arhitektuursest lahendusest ja vajalikest õhuvooluhulkadest. Ehitus-montaažifirma koostab antud projekti põhjal lahenduse eelarve. Eelarvete alusel valib korteri omanik või korteriühistu tööde teostamiseks töövõtja.	
Tööjärjekord	<ol style="list-style-type: none"> 1. Olemasolevad ventilatsioonikanalid puhastatakse ja vajadusel tihendatakse. 2. Värскеõhuklappide jaoks puuritakse augud. 3. Paigaldatakse värскеõhuklapid. 4. Paigaldatakse pliidikubu ja väljatõmbeventilaatorid 5. Kontrollitakse, et köögi, WC ja vannitoa siseuste all on vähemalt 10 mm suurused pilud. Vajadusel tuleb uste alla vajalikud pilud saagida või paigaldada ustesse siirdeõhu restid. 6. Süsteem reguleeritakse ja mõõdistatakse. 	
Tööde ulatus	Töid saab teostada korterite kaupa.	
Maksumus korteri kohta	<p>Orienteeruv ehitusmaksumus 7 000.- kr. Orienteeruv 20 aasta maksumus 123 000.- kr</p>	

Loomulik ventilatsioon ja ventilaatoriga värskõhuklapid: korteri tüüp 121.

Algolukord	Korteris puudub mehaaniline ventilatsioon ja normidele vastav sisekliima.	
Eesmärk	Ehitada süsteem, mis tagab rahuldava sisekliima kõikides ruumides. Tase. A Sobib kõikidele hoonetele.	
Lahendus	<p>Paigaldada magamistubadesse, elutuppa ventilaatoriga värskõhuklapid. Olemasolevad ehituslikud kanalid puhastada ja vajadusel tihendada.</p>	
Tööprotsess	Selgitatakse välja korteri sisekliima olukord ning õhuvahetus. Samuti kaardistatakse ehituslike ventilatsioonikanalite asukohad ning õhupidavus. Projekteerija koostab projekti, lähtudes arhitektuursest lahendusest ja vajalikest õhuvooluhulkadest. Ehitus-montaažifirma koostab antud projekti põhjal lahenduse eelarve. Eelarvete alusel valib korteri omanik või korteriühistu tööde teostamiseks töövõtja.	
Tööjärjekord	<ol style="list-style-type: none"> 1. Olemasolevad ventilatsioonikanalid puhastatakse ja vajadusel tihendatakse. 2. Värskõhuklappide jaoks puuritakse augud. 3. Paigaldatakse värskõhuklapid. 4. Kontrollitakse, et köögi, WC ja vannitoa siseuste all on vähemalt 10 mm suurused pilud. Vajadusel tuleb uste alla vajalikud pilud saagida või paigaldada ustesse siirdeõhu restid. 5. Süsteem reguleeritakse ja mõõdistatakse. 	
Tööde ulatus	Töid saab teostada korterite kaupa.	
Maksumus korteri kohta	<p>Orienteeruv ehitusmaksumus 13 000.- kr. Orienteeruv 20 aasta maksumus 122 000.-kr</p>	

18.2.4 Veevarustus

Tabel 18.13 Veevarustussüsteemi renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Veevarustus			
Majaühendus	<ul style="list-style-type: none"> Kontrollida, lekke korral remontida 		
Veemõõdu-sõlm	<ul style="list-style-type: none"> Vajadusel asendada toruarmatuur, veearvesti 		
Külma vee torustik	<ul style="list-style-type: none"> Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga 		
Sooja vee torustik	<ul style="list-style-type: none"> Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga 		
Segistid	<ul style="list-style-type: none"> Kontrollida, lekke korral remontida 	<ul style="list-style-type: none"> Vanad segistid asendatakse nn kangsegistitega 	
Korteri veearvestid	<ul style="list-style-type: none"> Vajadusel taadeldakse, asendatakse või paigaldatakse, kui puuduvad 		
Korteri sanitaarseadmed (WC loputuskast)	<ul style="list-style-type: none"> Kontrollida, lekke korral remontida 	<ul style="list-style-type: none"> Kasutatakse 2-süsteemset loputuskasti 	

18.2.5 Kanalisatsioon

Tabel 18.14 Kanalisatsioonisüsteemi renoveerimistööde erinevate tasemete kokkuvõte

Nimetus	Tase A	Tase B	Tase C
Kanalisatsioon			
Soojussõlme kanalisatsioon	<ul style="list-style-type: none"> Puudumisel rajada 		
Kanalisatsioonipüstikud, korterisisene torustik	<ul style="list-style-type: none"> Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga 	<ul style="list-style-type: none"> Kanalisatsioonivee kasutamine sooja tarbevee eelsoojendamiseks (nõuab põhjalikumat süsteemi ümberehitust) 	
Keldripõranda alune torustik	<ul style="list-style-type: none"> Renoveeritakse vastavalt vajadusele, arvestades maks. tööiga 		

18.3 Energiatõhusus

Energiatõhususe renoveerimispakettidesse on koondatud erinevad meetmed. Nende jaotus ei vasta eelkirjeldatud A, B, C klassifikatsioonile, vaid kõik käsitlevad B taset. Seetõttu on nende renoveerimispakettide nimetused ka B-1, B-2, B-3. Tabel 18.15-s on esitatud erinevate renoveerimispakettide raames tehtavad tööd:

- Pakett B-1 vastab olukorrale, kus on renoveeritud küttesüsteem, korterelamute otsaseinad, katus ja aknad ning ukсед. Loomuliku väljatõmbe ventilatsioonisüsteem on renoveeritud ja õhuvahetuse kordsus on viidud suurusele 0,6 1/h.
- Pakett B-2 sisaldab kõiki B-1 paketi tehtud töid ja lisaks sellele on renoveeritud ja lisasoojustatud ka küljefassaadid. Õhuvahetuse kordsus on võrdne B-1 paketi.
- Pakett B-3 sisaldab kõiki B-2 paketi tehtud töid ja lisaks sellele on kasutusele võetud soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem, õhuvahetuse kordarv on viidud suurusele 0,75 1/h.

Kõikide pakettide korral renoveeritakse alati küttesüsteem. Küttesüsteemi renoveerimisel varustatakse küttekehad termostaatventiilidega (individuaalne temperatuuri reguleerimise võimalus). Küttesüsteemide renoveerimisel tuleb püstikute vooluhulgad tasakaalustada ja süsteem seadistatakse õigele temperatuurigraafikule ja vooluhulgale, et kõikides korterites oleks tagatud vajalik temperatuur. Renoveerimisel on kaks võimalikku varianti.

- Esimest varianti kasutatakse juhul kui küttesüsteemi torustik ja küttekehad (nt. malmradiaatorid) on heas korras ja neil on piisavalt pikk tööiga. Sel juhul 1-toru küttesüsteem renoveeritakse selliselt, et küttekeha juurdeviikudele paigaldatakse 1-toru küttesüsteemile ettenähtud termostaatventiilid. Küttekeha möödaviikudele on soovitatav paigaldada kas drosselseib või seadeventiil.
- Teist varianti rakendatakse juhul, kui küttesüsteemi põhiosade: küttekehade või ka torustiku kasutusressurss on ammendumas. Sellisel juhul 1-toru küttesüsteem renoveeritakse 2-toru küttesüsteemiks. Tuleb märkida, et teise variandi maksumus on neliviis korda suurem esimese variandi hinnast.

Piirete soojajuhtivuste juures on arvestatud redutseeritud soojajuhtivusega, mis sisaldab ka külmasildade mõju. Seetõttu nn. ühemõõtmelise arvutuse korral peab soojajuhtivuse arvutustulemus olema veel väiksem.

Tabel 18.15 Energiatõhususe renoveerimistöõde erinevate tasemetega kokkuvõte

Nimetus	Pakett B-1	Pakett B-2	Pakett B-3
Energiatõhusus			
Kõik välisseinad	• Välisseinte remont, vuukimine	• Välisseinte remont, vuukimine	• Välisseinte remont, vuukimine
Otsaseinad koos sokliga	• Lisasoojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Lisasoojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Lisasoojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Külgeinad koos sokliga	• Lisasoojustatakse katuse ja seinaga liitekoht	• Soojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Soojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Katuslagi	• Soojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Soojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Soojustamine soojajuhtivuseni $\leq 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Akenda vahetus	• Asendada uutega soojajuhtivusega $\leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Asendada uutega soojajuhtivusega $\leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Asendada uutega soojajuhtivusega $\leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Rõduksed	• Asendada uutega soojajuhtivusega $\leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Asendada uutega soojajuhtivusega $\leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Asendada uutega soojajuhtivusega $\leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Välisüksed	• Asendada soojustatud turvaustega soojajuhtivusega $\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Asendada soojustatud turvaustega soojajuhtivusega $\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	• Asendada soojustatud turvaustega soojajuhtivusega $\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Ventilatsioonisüsteem	• Olemasolev loomuliku väljatõmbe süsteemi korrastamine; • Ventilatsioonikanalite puhastamine;	• Olemasolev loomuliku väljatõmbe süsteemi korrastamine; • Ventilatsioonikanalite puhastamine;	• Mehaaniline sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon koos soojatagastiga

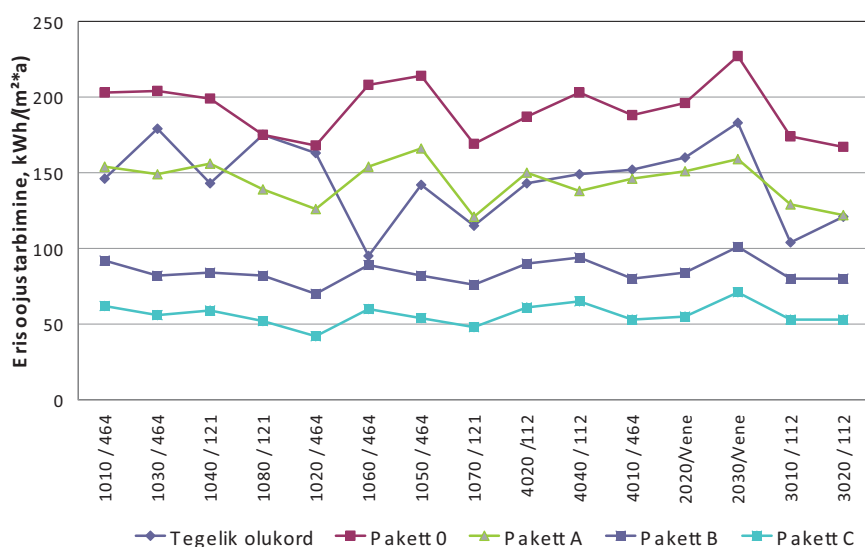
Eesti eluasemefondi suurpaneelilamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga

Nimetus	Pakett B-1	Pakett B-2	Pakett B-3
	<ul style="list-style-type: none"> • Loomuliku ventilatsiooni korrastamine ja värskõhuklappide lisamine. • Mehaaniline väljatõmbe ventilatsiooni ehitus. 	<ul style="list-style-type: none"> • Loomuliku ventilatsiooni korrastamine ja värskõhuklappide lisamine. • Mehaaniline väljatõmbe ventilatsiooni ehitus. 	
Küttesüsteem	<ul style="list-style-type: none"> • Malmradiaatoritega 1-toru süsteemi puhul küttesüsteem renoveerida; • Plekkradiaatorite korral ehitada küttesüsteem 2-toru süsteemiks. • Torustiku isoleerimine keldris 	<ul style="list-style-type: none"> • Malmradiaatoritega 1-toru süsteemi puhul küttesüsteem renoveerida; • Plekkradiaatorite korral ehitada küttesüsteem 2-toru süsteemiks. • Torustiku isoleerimine keldris 	<ul style="list-style-type: none"> • Malmradiaatoritega 1-toru süsteemi puhul küttesüsteem renoveerida; • Plekkradiaatorite korral ehitada küttesüsteem 2-toru süsteemiks. • Torustiku isoleerimine keldris

Järgnevalt (vt. Tabel 18.16 ja Joonis 18.1) on esitatud erinevate renoveerimispakettide soojuse eritarbimised. 0-olukorra puhul on välja jäetud juba tehtud renoveerimistööd ja tarindite soojajuhtivus ning õhuvahetuse kordsus (0,45 1/h) on viidud ehitusjärgsesse olukorda.

Tabel 18.16 Uuritud elamute soojuse eritarbimine erinevate renoveerimispakettide lõikes

Kood / tüüpseeria /	Korruste arv /Ehitusaasta	Soojuse eritarbimine köetava pinna kohta, kWh/(m ² ·a)				
		Olemasolev olukord	0-olukord	Pakett B-1	Pakett B-2	Pakett B-3
1010 / 464	5k. / 1962	146	201	156	88	62
1030 / 464	9k. / 1984	179	203	136	74	56
1040 / 121	9k. / 1984	143	198	143	76	59
1080 / 121	5k. / 1986	175	173	131	78	52
1020 / 464	5k. / 1972	164	167	118	66	42
1060 / 464	5k. / 1961	95	206	146	86	60
1050 / 464	9k. / 1969	142	212	154	74	54
1070 / 121	5k. / 1976	115	168	113	72	48
4020 / 111	5k. / 1976	143	185	142	86	61
4040 / 111	9k. / 1989	149	202	130	90	65
4010 / 464	5k. / 1973	152	187	138	77	53
2020 / Vene	9k. / 1979	160	196	143	80	55
2030 / Vene	5k. / 1988	183	227	159	97	101
3010 / 111	5k. / 1985	104	172	121	76	53
3020 / 111	5k. / 1977	121	166	114	77	53



Joonis 18.1 Elamute soojuse eritarbimine erinevate renoveerimispakettide korral

Tabel 18.16-st on näha, et algolukorras, enne igasuguseid renoveerimistöid (0-olukord), on hoonete keskmine soojustarbimine on 191 kWh/(m²·a), see suurus on esitatud hoone köetava pinna kohta. Erinevate hoonete puhul on kõrvalekalded -25 kuni +36 kWh/(m²·a).

Tegeliku olukorra madalamad soojuse eritarbimised on tingitud eelkõige puudulikust ventilatsioonist, mõnede hoonete puhul lisandab ka teatud tarindite renoveerimisest saavutatav sääst. Tuleb märkida, et tegelikus olukorras soojuse eritarbimine on 24% väiksem, kui 0-olukord ehk hoonete ehitusjärgses olukorras, seejuures märgitud 24% hinnanguliselt vähemalt 15% langeb madalast õhuvahetusest tingitud kokkuhoiule.

Paketi B-1 rakendamisel, kui küttesüsteem toimiks ideaalselt, väheneb hoonete soojustarbimine tegeliku olukorraga võrreldes keskmiselt 6%. Suhteliselt väike soojuse sääst on tingitud õhuvahetuse suurenemisest ja ventilatsiooni soojatagastuse puudumisest. Paketi B-2 rakendamisel, kui küttesüsteem toimiks ideaalselt, on teoreetiline soojustarbimise vähenemine 48%. Paketi B-3 rakendamisel, kui küttesüsteem ja soojustagasti toimiksid ideaalselt, on teoreetiline soojustarbimise vähenemine tegeliku olukorraga võrreldes 60%. Tegelik reaalne sääst pakettidel B-2 ja B-3 võib olla ~10% väiksem. Vahe tuleneb sellest, et küttesüsteemi reaalne efektiivsus on arvutuslikust väiksem. Paketi B-3 hinnanguline reaalne rahaline sääst on madalam ka seetõttu, et korteri soojustagastis toimub õhu järelsoojendamine elektrikalorifeeridega.

Pakettidega saavutatakse energiasääst ainult küttesüsteemi küttekehade soojusväljastuse automatiseerimise tingimustes, see tähendab, et küttekehade juurdeviikudele on paigaldatud termostaatventiilid.

19 Renoveerimistöõde maksumuse hindamine ja tehnilis-majanduslik põhjendatus

Projekti raames läbiviidud ehitusmajandusliku analüüsi põhieesmärgiks oli tehnilistest uuringutest tulenevate parandusmeetmete majanduslik hindamine. Kompleksse hindamise läbiviimiseks tuleb püüda hinnata nii soovituslike meetmete investeerimis- kui ka kasutuskulusid. Samuti on püütud hinnata meetmete mõju kvalitatiivsetele teguritele (nt mugavus, turvalisus).

Tasuvusarvutuste põhieesmärk on leida majanduslikult kõige otstarbekam tehniline lahendus. Uusehituse puhul võib arvutuste aluseks olla mis tahes tehniline lahendus, renoveerimistöõde puhul pööratakse reeglina enam tähelepanu hoone tehnilist seisukorda ning sisekliimat parandavatele ja kasutuskulusid vähendavatele meetmetele võrdlusele. Samas on aga renoveerimistöõde puhul sageli tegemist meetmega, mille tasuvusaeg on pikk või seda pole isegi võimalik määrata. Sellised meetmed on aga vajalikud järgmistel põhjustel.

- **Likvideerivad avariiohtliku olukorra.**

Näiteks mitmekihilise raudbetoonist välisseina välimise kihi täiendav kinnitamine ei anna ilmselt säästu tulevaste kasutuskulude osas, samas on äärmiselt vajalikud elanike ohutuse ja hoone üldise hea tehnilise seisukorra tagamiseks. Analoogne on hinnang ka rõduplaatide renoveerimisele.

- **Tagavad turvalisuse.**

Trepikoja välisukse vahetamine turvalisemaga võib anda teatud säästu küttekulude osas (uus uks on veidi soojapidavam), kuid kogu hoone energiabilansis on selle mõju siiski tühine. Sellise investeeringu tasuvusaeg on pikk, kuid ilmselt on see meede vajalik turvalisuse ja esteetilise väljanägemise tagamiseks. Rõdupiirete renoveerimisel paraneb hoone turvalisus ja esteetiline väljanägemine, kuid renoveerimismeetmel puudub mõju energiasäästule.

- **Tagavad tervislikud elutingimused.**

Inimene hingab ööpäevas sisse vähemalt 15 000 liitrit õhku, veetes seejuures keskmiselt 70...90% ajast erinevates siseruumides. Kuigi suur osa ajast ollakse tööl, on paljude ametite puhul võimalik ning põhjendatud ka töötamine kodus. Paljud eakad või haiged inimesed viibivad praktiliselt kogu aeg kodus, seega korteris või ühes toas. Siseõhu kvaliteedil on inimese tervise seisukohalt väga oluline roll.

Tervis on inimese kõige kallim vara, ometi on majandusarvutustes terviseriskide suurenemise-vähendamise arvessevõtmine väga keeruline. Siin avaldavad mõju mitmed tegurid, kõigi nendega arvestamine igal objektil on võimatu. Halb sisekliima võib tähendada puudulikku ventilatsiooni, liigniisket või -kuiva siseõhku, liigkõrget või -madalat siseõhutemperatuuri jne. Siiski on nende ja paljude teiste negatiivsete tegurite mõju inimestele väga erinev ja ilmselt ei ole tegurid hoonetes ühesuguse intensiivsusega.

- **Suurendavad mugavustaset**

Mugavuse all võib mõista nii seda, mida inimene füüsiliselt tunneb (näiteks soojapidavama paketi aken kiirgab külmal talvapäeval akna läheduses viibijale vähem ebameeldivat jahedust kui väiksema soojataktusega aknapakett; tegemist on soojusliku mugavusega), kui ka seda, mis teeb kasutaja elu mugavamaks (fonoluku kasutamine säästab korruselamus aega). Mugavus ja tervislikkus väga tihedalt seotud ning sageli on raske selgelt eristada kriteeriumi, mille täitmiseks kõnealune meede on kavandatud.

- **Tõstavad hoone esteetilist väärtust.**

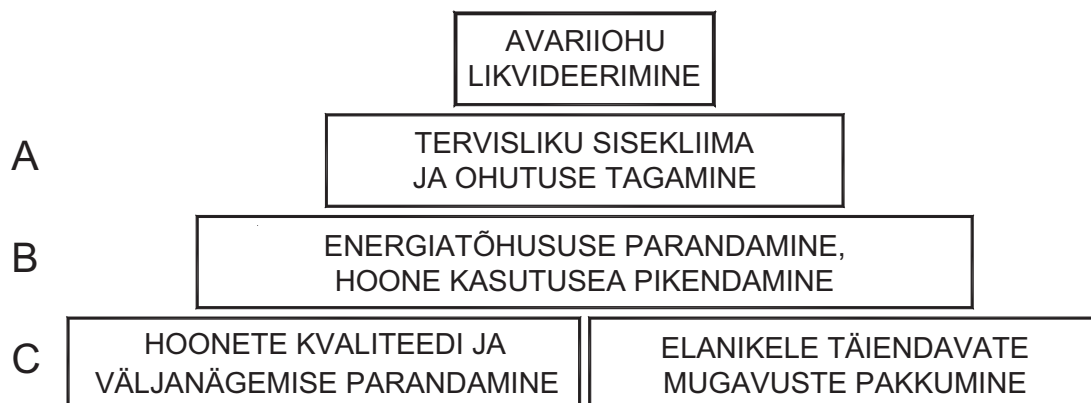
Reeglina on renoveerimist vajavate hoonete välispiirded mitte ainult tänapäeva nõuetele ja vajadustele mittevastava soojapidavusega, vaid ka esteetiliselt halvas seisundis (nt seintelt koorunud värv, pudenenud krohv jne.). Selliste meetmete kasutamisel tuleks hinnata esteetilise välisilme taastamise majanduslikkust, mida on aga praktiliselt võimatu teha. Võrreldes samaväärse hoonega teiste tegurite samaks jäädes peaks sellise hoone ja korterite väärtus olema ilmselt kõrgem. Kuid on veel üks vastuoluline probleem. Kui sellise renoveerimise arhitektuurne lahendus on puudulik, töid on tehtud ebakvaliteetselt või materjalid ei ole vastanud kvaliteedinõuetele, võib kujunenud olukorras elanikel puududa võimalus lähiajal töid uuesti ette võtta.

Oluline on rõhutada veel üht renoveerimistöodega seonduvat aspekti. Elamu hea käekäik sõltub väga palju ka sellest, kui teadlikud ja aktiivsed elanikud seal elavad. Paremat elukvaliteeti soovivad ja suurema sissetulekuga elanikud võivad kolida ära ja elamusse jäävad need, kes rahulduvad vähemaga, aga ei suuda elamut tervikuna ülal pidada ega leia endas ka initsiatiivi elamut korras hoida. Aktiivsemate elanike ära kolides võib selline arengutsenaarium käivituda ja seda eelkõige seetõttu, et korteriomanike (elanike) hulgast ei leita neid, kes sooviks ja suudaks elamu käekäigu eest vastutada.

Praktikas esinevad eelloetletud tegurid üldjuhul kombineeritult, üldjuhul on suund kasutuskulude vähendamisele. Näiteks suurpaneelilamute välisseina lisasoojustamine ja krohvimine toob kaasa reeglina järgmised mõjud:

- Suurpaneelilamute välispiirettesse on juba algselt sisse projekteeritud ja ehitatud tõsised külmasillad. Praeguseks väljakujunenud sisekliima puhul on hallituse teke või veeauru kondenseerumine külmasildade sisepindadel paratamatu, kuigi lubamatu. Kui lisasoojustus katab olemasolevad külmasillad, väheneb tunduvalt oht sisepindadel hallituse tekkeks või veeauru kondenseerumiseks.
- Suurpaneelilamute fassaadipaneelide betooni külmakindlus varieerub väga suurtes piirides, üldistavalt saab öelda, et projektis katsetatud hoonete raudbetoonpaneelide seisund külmakindluse seisukohast on halb. Lisasoojustamine vähendab sademete mõju fassaadile ja väldib betooni edasist külmumist-sulamist ning seeläbi fassaadi külmakindluse vähenemist. Kui on tegemist välisseinaga, millest on külma- ja niiskuskahjustuste mõjul eraldunud materjalitükke, suurendab välisseina puhastamine ja lisasoojustamine inimeste turvalisust, sest lagunevast seinast kukuvad tükid võivad realselt ohustada inimesi ja vara.
- Lisasoojustamisega suureneb välisseina soojapidavus, mille tulemusena väheneb soojusenergia läbivool läbi seina.
- Õigesti kavandatud soojustussüsteemi ehitamisega kaasneb seina niiskusrežiimi paranemine.
- Professionaalselt ettevalmistatud välisseina renoveerimise käigus selgub seina tehniline seisund ja vajadusel peab seina ka tugevdama. Näiteks võib ilmned vajadus mitmekihilise suurpaneelahoone välisseina välise betoonikihi lisaankurdamiseks sisemise kihi külge. Seina lisasoojustamine võib professionaalse tegevuse korral aidata kaasa avariohtliku olukorra ennetamisele või likvideerimisele.
- Soojustatud ja krohvitud välisseina esteetiline välimus paraneb oluliselt, võrreldes olemasoleva olukorraga.

Nähtub, et meetodiliselt ei ole õige renoveerimismeetmete põhjendatuse analüüsimisel arvestada vaid majanduslikku tasuvust; meetmete puhul tuleb üritada hinnata ka teisi, üldjuhul kvalitatiivseid tegureid. Käesolevas projektis väljapakutud meetodika kohaselt tuleb renoveerimistöde kavandamisel lähtuda alltoodud otsustusmudelitest (vt. ka ptk. 18 Kokkuvõtte põhimõttelistest renoveerimislahendustest lk. 149).



Joonis 19.1 Renoveerimistöde otsustusmudeli komponendid.

19.1 Ehitusmajandusliku analüüsi meetoodika

Ehitusmajandusliku analüüsi koostamisel on lähtunud järgmisest meetoodikast:

- On valitud uuringus enam esinevad hoonetüübid:
 - 464-D-84 (nn. Mustamäe 9-korruseline tüüp);
 - 464-A (nn. Mustamäe 5-korruseline tüüp);
 - 121 (nn. Lasnamäe 9-korruseline tüüp);
 - 111-133 enne 1980. a (nn lintakendega);
 - 111-66;
 - 111-133 pärast 1980. a (nn vahvelvälisseinaga).
- Vastavalt elamute tehnilistele dokumentidele ja väljapakutud renoveerimislahendustele, koostati ehitusmahtude arvutus. Renoveerimistöõde mahud arvutati hoonetüüpide kaupa.

Renoveerimislahendused võib jagada järgmisteks pakettideks: A, B, C (vt. ptk. 18 Kokkuvõtte põhimõttelistest renoveerimislahendustest lk. 149).

Renoveerimismeetmeid võib hinnata ka nende mõju kaudu kvalitatiivsetele kriteeriumitele. Sisekliima kvaliteedi muutust, mõju hoone või selle oluliste tarindite elueale ning elukeskkonna kvaliteedi muutust (hoone välisilme, turvalisus) on hinnatud järgmise hindamiskaala alusel (vt. Tabel 19.1):

Tabel 19.1 Renoveerimismeetmete mõju hinnang kvalitatiivsete tegurite osas

Renoveerimismeede	Sisekliima kvaliteedi muutus	Mõju hoone või selle oluliste tarindite elueale	Elukeskkonna kvaliteedi muutus (hoone välisilme, turvalisus)
Otsaseinte lisasoojustamine ja krohvimine	xxx	xxxx	xxxx
Pikiseinte lisasoojustamine ja krohvimine	xxx	xxxx	xxxxx
Pikiseinte vuukide avamine, tugiköie paigaldamine, elastse mastiksiga täitmine (koos tuulutustorudega)	x	xx	x
Lamekatuse lisasoojustamine, uus kattekiht	xxx	xxxxx	xx
Akende ja rõduuste asendamine uutega	xxx	xx	xxxx
Välisuste asendamine uutega	0	x	xxxxx
Sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi väljaehitamine koos soojatagasti kasutusega	xxxxx	xxxx	0
Värske õhu klappide paigaldus eluruumidesse, mehaaniline väljatõmbe-ventilatsioonisüsteem	xx	xxxx	0
Küttesüsteemi ümberehitus nn kahetorusüsteemiks, automaatregulaatorite paigaldus radiaatoritele	xxx	xxx	0
Küttesüsteemi korrastamine, reguleerimine	xx	x	0
Rõdude murenenud betooni eemaldamine koos sarruse roostest puhastamisega, betoonist kaitsekihi taastamine, uued rõdupiirded.	0	xxxx	xxxx
xxxxx	Meede tagab suurepärased tulemused vastava hindamiskriteeriumi osas		
xxxx	Meede tagab väga head tulemused vastava hindamiskriteeriumi osas		
xxx	Meede tagab head tulemused vastava hindamiskriteeriumi osas		
xx	Meede tagab rahuldavad tulemused vastava hindamiskriteeriumi osas		
x	Meede tagab kasinad tulemused vastava hindamiskriteeriumi osas		
0	Võrreldes praegusega, ei muutu meetme kasutamisel olukord vastava hindamiskriteeriumi osas,		

Renoveerimislahendusi võib jagada ka järgmiselt:

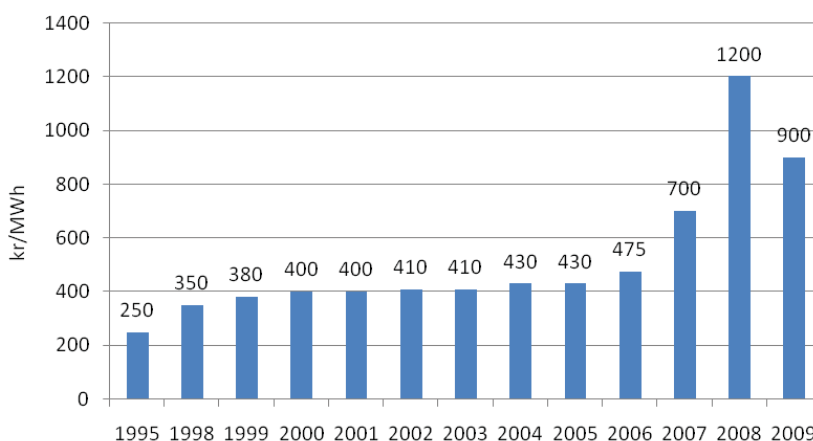
- ökoloogiliselt parim (väikseim mõju keskkonnale): renoveerimisettepanekute maksumus, mis tagab hoone kasutusea vältel väikseima looduskeskkonda kahjustavate tegurite mõju (eelkõige õhkupaisatavate CO₂ hulga);
- kasutusea kulusid minimeeriv: renoveerimisettepanekute maksumus, mis tagab hoone kasutusea vältel väikseimad kulud;
- suurim investeeringu tasuvus (lühima tasuvusajaga): renoveerimisettepanekute maksumus, mille puhul investeeringute tagastatavus on kõrgeim.

Tehtavate tööde maksumuste määramisel kasutatakse konstruktiivlemendi maksumuse määramise meetodikat. Ühikhinnad sisaldavad ehitamise otsekulusid (tööjõud, materjalid, ehitusmasinad-seadmed), ehitusplatsi ja -firma üldkulusid, kasumit ja käibemaksu. Arvutuste aluseks on lahendused, mis hõlmavad üldehituslikke töid ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemi.

Ökonoomikaarvutustes kasutatavate sisendandmete puhul lähtutakse järgnevalt:

- hoone renoveerimiseks võetava laenu intressimäära kasutamisel lähtutakse 7,5% intressimäärast valitud laenu tagasimakse ajale;
- laenu tagasimakse perioodiks on valitud 15 aastat;
- energiakandja hinnaks on võetud Tallinna Kütte poolt kehtivale hinnakirjale arvutuse tegemise hetkel (2009. a) kehtinud hind 907 kr/MWh;
- liht-tasuvusaja arvutustes eeldatakse energiahinna püsivust arvutuse tegemise hetkel olevaga ning ei arvestata investeeringute tegemiseks võetud laenu intressimääraga;
- võrdlusarvutustes eeldatakse energiahinna tõusu keskmiselt 5% aastas ning intressimäärasid 5% ja 10%.

Tsentraalse küttesüsteemi puhul on kütteeenergia hind viimastel aastatel kiiresti tõusnud. Järgnevalt on toodud kütteeenergia hinna muutusi illustreeriv graafik Tallinna Soojuse poolt teenindatavate piirkondade kohta (kütteeenergia hind erineb soojatootjate lõikes). Kütteeenergia hind on muutunud kütteperioodi ja kalendriaasta vältel, graafikus on toodud vastava aasta keskmised tasemed.



Joonis 19.2 Kütteeenergia hinna (kr/MWh) dünaamika aastatel 1995–2009 (koostatud Tallinna Soojuse andmete põhjal).

Renoveerimispakettide maksumused ja energiasääst väljendatakse järgnevalt:

- renoveerimispaketi üldmaksumus, kr;
- renoveerimispaketi maksumus hoone köetavale pinnale, kr/m²;
- renoveerimispaketi elluviimisega saavutatav energiasääst, MWh/aastas;
- laenu tagasimakse kuus, kr;
- laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale, kr/m².

Arvutustulemuste esitamise täpsus on käesolevas töös järgmine:

- renoveerimispaketi ühikmaksumus krooni täpsusega (nt. 1534 krooni/m²);
- liht-tasuvusaeg täpsusega aasta (nt. 8 aastat).

Projekti raames koostatud maksumushinnang on orienteeriv, st konkreetse objekti renoveerimiseks tuleb koostatud projektdokumentide alusel korraldada hinnapakkumiste küsimine potentsiaalsetelt ehitustöid tegevatest ettevõtjatelt. Ehitusmaksumus sõltub nii ajahetkest, objekti asukohast kui ka tellija poolt koostatud töövõtuprogrammist.

Märkused renoveerimistööde maksumuste kalkulatsiooni kohta:

- arvutuste aluseks olev hinnainfo pärineb analoogobjektide tegelikest hinnapakkumistest ning lisaks on küsitud ka konkreetsete hoonete osas ehitustöödele tehtud hinnapakkumisi ja on kasutatud ka hinnainfot tööde tegelikust maksumusest sarnastel objektidel;
- mahuarvutuse tegemisel, energiasäästu arvutamisel ning tööde pakettideks jaotamisel on abimaterjalidena kasutatud näidiselamutele tehtud energiaauditeid;
- arvutustes, kus on arvestatud pangalaenu intressiga, eeldatakse, et renoveerimist rahastatakse täies mahus laenurahaga;
- kui meede viiakse ellu täies ulatuses, eeldatakse olukorda, et eelnevalt ei ole meetme osas töid tehtud;
- arvutused ei sisalda projekteerimiskulusid, lubade ja kooskõlastuste taotlemisega seotud kulutusi; need kulutused on samas vajalikud, kuid neid tuleb arvestada täiendavalt meetmete elluviimisel ning need kulud katab (tavaliselt) renoveerimistööde tellija;
- kulutusi elektrienergia ja vee tarbimisele meetmete elluviimise käigus.

Investeeringu keskmise tootluse leidmiseks on investeeringu sisemise tasuvuse määr jagatud vastava valitud arvestusperioodi pikkusega.

Investeeringu sisemise tasuvuse protsendi puhul on jagatud vastaval ajaperioodil saavutatav energiasäästu meetmete paketi tulenev rahaline kokkuhoid paketi maksumusega ja tulemus esitatud protsentides.

Investeeringute tasuvust võib hakata mõjutama ka ehitushindade muutumine, mille dünaamikat ei ole käesolevas töös prognoositud. Ehitushindade tõusmisel ning muude tegurite samaks jäämisel investeeringu tasuvus väheneb, kui ehitushinnad aga langevad võrreldes arvutuses eeldatuga, investeeringute tasuvus suureneb.

Renoveerimistööde maksumused on hinnangulised ja konkreetse objekti puhul tuleb koostatud projektdokumentide alusel küsida hinnapakkumisi ehitustöid tegevatest ettevõtjatelt. Vajaliku täpsusega tehniliste dokumentide olemasolu (tööjoonised) võimaldab ka täpsemalt määratleda renoveerimismeetmete tasuvusaegu ning muid tehnomajanduslikke näitajaid. Siinkohal tuleb rõhutada renoveerimise kavandamise, so tehniliste lahenduste projekteerimise olulisust. Projektlahenduste põhjendatus, detailsus ja põhjalikkus mõjutavad ilmselgelt tööde kvaliteeti ja ka renoveerimise tehnilist ning majanduslikku tulemust.

Renoveerimistööde tegemiseks soodsaimatel tingimustel on soovitatav, et tellija küsib hinnapakkumisi mitmelt potentsiaalselt töid tegevatest ettevõtjatest; seda võib tellija läbi viia ise või kasutada konsultandi abi. Oluline on siinkohal märkida, et valiku tegemise objektiivsuse ja tulemuslikkuse tagamiseks tuleks väga selgelt määratleda tööde koosseis ja maht (koostada täpne mahutabel) ning määratleda muud olulised projekti tulemust mõjutavad tegurid (nt kvaliteedinõuded, ehituskestus jms). Tuleb tagada pakkumuste esitamine ühtsetel alustel ja võrreldavana; selle eelduseks on projektdokumentide olemasolu. Samas tuleks nõuda pakkujatelt hinnapakkumuste esitamist ühtse struktuuri alusel, kasutades ehituskulude liigitamise süsteemi (nt EVS 885:2005 Ehituskulude liigitamine). Kavandatavate renoveerimistööde mahutabelid annavad võimaluse määratleda pakkuja jaoks tööde koosseisu ja esitatava pakkumiseelarve detailsustaseme.

Tehtud ehitustöödele antakse töid teinud ettevõtjate poolt vähemalt 2-aastane garantiid (lamekatustele reeglina vähemalt 10-aastane garantiid). Hinnanguliselt aasta jooksul ettevalmistatud ja korraldatud renoveerimistööde tulemusena saab elamu põhitarindite ja tehnosüsteemide eluiga pikendada 25–40 aastat; suureneb ka korterite turuväärtus ning hoone välisilme muutub esteetiliselt paremaks. Eelpool nimetatud aspekte on rõhutatud ka allikates (EstKONSULT. 1996, Zavadskas jt. 2008, Ginevicius jt. 2008).

Oluline on rõhutada just komplekssete renoveerimistöde majanduslikkust. Investeeringute mahukusest sõltub üldjuhul säästetav energiakogus – mida suuremad on tehtavad investeeringud, seda suurem absoluutselt on ka säästetav energiakogus. Selle seose olemasolu on kinnitanud ka maailmas juba läbiviidud uuringud. Näiteks küttesüsteemi osade isoleerimine on reeglina väikest investeeringut nõudev ja lühikese tasuvusajaga meede, mille sisemine tasuvus oli ligikaudu kolmkümmend korda suurem kui välispiirete täiendaval soojustamisel. Energiasääst esimese meetme puhul, võrreldes teisega, on ligikaudu viiesteist korda väiksem (Gorgolewski 1995). Seose olemasolu sõltub konkreetsetest meetmetest, ressursside hinnatasemest, energiahinnast ja selle muutumise dünaamikast jne.

Suhteliselt suuremahuliste renoveerimistöde kompleksel tegemisel saavutatakse absoluutselt oluline sääst. Mitmeid meetmeid eraldi tehes tekib pigem näiline majanduslik sääst, kuid tagajärjeks võib olla ka tõsiste tehniliste ja tervist ohustavate probleemide teke (nt tulenevalt õhupidavate avatäidete asendamisest ventilatsioonisüsteemi korrastamata).

Elamu renoveerimisega seonduvalt tekivad üldjuhul järgmised kulutused (lihtsustatud loetelu):

- korterelamu olemasoleva tehnilis-majandusliku olukorra hindamine vastavate spetsialistide poolt – kulutused uuringutele;
- arhitektuurse ja tehniliste projektdokumentide koostamine ning ehitusloa taotlemine – kulutused projekteerimisele ja vastavate lubade taotlemisega seotud kulud;
- renoveerimistöde hanke korraldamine – kulutused (ajalised, rahalised) hanke ettevalmistamiseks; vajadusel kulutused konsultantidele;
- tööde tegemiseks vajalike rahaliste vahendite leidmine – kulutused laenu põhiosa ja intresside tagasimaksmiseks;
- renoveerimistöde tegemine – kulutused ehitusettevõtjale tehtud tööde eest;
- kulutused omanikujärelevalvele.

19.2 Tulemused

Maksumusarvutuste koondtulemused on Tabel 19.2. Arvutustes on arvestatud energiahinna tõusuga keskmiselt 5% aastas.

Arvutustest nähtub, et kõige kallimaks osutub pakett B-3; samas saab arvutustest järeldada ka järgmist:

- suuremahuliste (ja kallimate) renoveerimistödega on võimalik saavutada ka absoluutväärtuses suuremat energiasäästu ning sellega seoses ka rahalist säästu;
- väga oluliseks mõjuteguriks on ventilatsioonisüsteemi renoveerimine; investeeringud on pakettis B-3 suured (soojatagastiga sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem), kuid ka potentsiaalne energia kokkuhoid on oluline;
- välisseinte soojustamise valikvariantidest tuleb hoiduda vaid 50 mm paksuse soojusisoleerimismaterjali valikust; hetkel kehtivaid energia- ja ehitushindu arvestades tuleks valida 150 mm soojustuskiht; paksema soojustusega kaasnevad küll teatud lisakulud soojustusele ja kinnitusvahenditele, kulud tellingutele ning viimistlusele (nt krohv) ei suurene, samas suureneb välispiirde soojapidavus märgatavalt; samas veelgi paksema soojustusega võivad kaasneda juba tehnilised (liskasoojustuse kinnitus) ja esteetilised (avatäited asuvad liiga seina nn sees) probleemid;
- eluea kulusid kõige enam minimeerivaks osutub pakett B-3, samas lühima tasuvusajaga pakettiks on aga B-2; kuna energiasääst on otseselt seotud ka keskkonnasäästlikkusega (so keskkonnale kahjulike gaaside emissiooni vähenemisega), siis ka siin on pakettide paremusjärjestus B-3, B-2 ja B-1;
- põhiarvutused on tehtud eeldusel, et energiahind ei muutu; siiski on väga suur tõenäosus, et energia hind lähitulevikus tõuseb (pakettide tasuvus on võrdluseks läbi arvutatud eeldusel, et energiahind tõuseb aastas keskmiselt 5%).

Tabel 19.2 Renoveerimistööde pakettide majandusliku põhjendatuse koondtulemused

Pakett	Maksumus (tuh. kr)	Maksumus hoone kütavale pinnale, kr	Energia kokkuhoid aastas, kWh/m ²	Laenu tagasimakse kuus kütavale pinnale, kr/m ²				Investeeringu keskmine tootlus aastas, %			
				Periood 15 a.		Periood 20 a.		Periood 15 a.		Periood 20 a.	
				Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 5%	Intress 7,5%	Intress 5%	Intress 7,5%
464-A (5. korrust, 4 trepikoda, 80 korterit, kütav pind 3508m ²)											
B-1	3 080	878	45	7	8	6	7	3,5	4,3	3,2	2,6
B-2	4 983	1 420	113	11	13	9	12	4,9	7,1	4,4	3,6
B-3	8 399	2 394	139	19	23	16	20	3,9	4,8	3,6	2,9
464-D (9. korrust, 6 trepikoda, 215 korterit, kütav pind 11160m ²)											
B-1	9 591	859	55	7	8	6	7	5,6	4,7	5,8	4,7
B-2	13 037	1 168	122	9	11	8	10	9,2	7,8	9,5	7,7
B-3	24 207	2 169	139	17	20	14	18	6,0	5,1	6,3	5,1
121 (9. korrust, 4 trepikoda, 144 korterit, kütav pind 8335m ²)											
B-1	8 593	1031	67	8	10	7	8	4,9	4,1	5,1	4,1
B-2	11 122	1 334	129	11	13	9	11	8,7	7,3	9,0	7,3
B-3	18 396	2 207	147	18	21	15	18	6,2	5,3	6,4	5,2
111-133 (<1980) (5. korrust, 5 trepikoda, 75 korterit, kütav pind 4650m ²)											
B-1	4 087	879	43	7	8	6	7	7,0	6,1	7,2	5,9
B-2	6 606	1 421	99	11	13	9	12	7,4	6,2	7,6	6,2
B-3	10 211	2 196	124	18	21	15	18	5,3	4,6	5,5	4,5
111-133 (>1980) (9. korrust, 2 trepikoda, 72 korterit, kütav pind 4583m ²)											
B-1	4 844	1 057	72	8	10	7	9	6,8	5,8	7,0	5,7
B-2	7 093	1 548	112	12	15	10	13	6,9	5,9	7,2	5,9
B-3	10 751	2 346	137	19	22	16	19	5,9	4,8	5,8	4,8

Tabelist 19.2 on näha, et kõige odavam renoveerimise energiasäästupakett on pakett B-2: energia kokkuhoiu maksumus 12,1 kr/(kWh/m²/aastas) (erinevate hoonetüüpide min. 9,6 kr/(kWh/m²/aastas), maks. 14,4 kr/(kWh/m²/aastas)). Keskmise maksumusega on renoveerimise energiasäästupakett on pakett B-3: energia kokkuhoiu maksumus 16,5 kr/(kWh/m²/aastas) (erinevate hoonetüüpide min. 15,0 kr/(kWh/m²/aastas), maks. 17,7 kr/(kWh/m²/aastas)). Kõige kallim on renoveerimise energiasäästupakett on pakett B-1: energia kokkuhoiu maksumus 17,1 kr/(kWh/m²/aastas) (erinevate hoonetüüpide min. 14,7 kr/(kWh/m²/aastas), maks. 20,4 kr/(kWh/m²/aastas)).

Kõrvutades kvantitatiivsete tegurite maatriksit renoveerimistööde maksumuse hinnanguga võib järeldada, et:

- Pakett B-1 – renoveerimistööde maksumus on märkimisväärne, kuid energiasääst ja kvalitatiivsete tegurite paranemine on tagasihoidlikud;
- Pakett B-2 – renoveerimistööde maksumus on kõrge, tööde tulemusena tekib märkimisväärne energiasääst võrreldes paketiga B-1, kuid korterelamu esteetiline väljanägemine ja ventilatsioonisüsteem ei taga parimat võimalikku tulemust; paketi kasutamine on aga praeguste sisendandmete (energiahind, ehitustööde hind) puhul kõige parema investeeringu sisemise tasuvusega;
- Pakett B-3 – renoveerimistööde maksumus on kõrge; tööde tulemusena tekib suur energiasääst ning hoone on kvalitatiivsete näitajate poolest lähedane mitmete parameetrite osas uue samalaadse hoonega; renoveerimistööde tasuvus on võrreldav paketiga B-1, nõudes samas suuremat alginvesteeringut.

Võrreldes pakettide maksumusi, taandades neid hoone köetavale pinnale, ilmneb paketi B-3 kasutamisel kaasnev probleem tööde rahastamisega – kulud 1 m² köetavale pinnale ületavad pankade poolt seatud orienteeruvat piiri 2000 kr/ m².

Kokkuvõtteks võib öelda, et eelkõige tuleb renoveeritavates hoonetes luua inimeste tervisele ohutu elukeskkond, selle tagamiseks on mõeldud paketi A+B-1 tehtavad tööd. Seades eesmärgiks nii ohutuse, tervislikkuse kui ka märkimisväärse energiasäästu, oleks soovitatav majanduslikult lähtudes ellu viia pakett B-2; suurema mugavuse ja esteetika taotluste puhul ning rahastamise võimaluse olemasolul pakett B-3. Kõikide pakettide puhul jääb sisemine tasuvus suhteliselt väikeseks (keskmiselt 2–5% aastas); eeldades energiahinna tõusu keskmiselt 5% aastas, kujuneb sisemise tasuvuse määraks ca 4–7%. Arvutused näitavad, et kui võtta eesmärgiks rahastada renoveerimistöid laenu abiga, tagades paketi B-3 tasuvus 15 aasta jooksul, tuleks nt hoone tüüp 464-A renoveerimist toetada ligikaudu 1700 krooniga ühele hoone köetava pinna ühikule (sõltub konkreetsest hoone tüübist, tehtavatest töödest jne).

Järgnevalt on toodud majandusarvutuste tulemusi mõjutavad mõjurid:

- ehitustööde hind – hinna tõustes ja teiste mõjurite samaks jäädes tasuvusajad pikenevad;
- energiahind – energiahinna tõustes ja teiste mõjurite samaks jäädes tasuvusajad lühenevad;
- rahastamistingimused – laenu intressimäära tõustes ja teiste mõjurite samaks jäädes tasuvusajad pikenevad;
- renoveerimistöde majanduslik efekt sõltub ka sellest, milliseid töid ja mis mahus on hoone puhul juba eelnevalt tehtud (mõned paketti kuuluvad tööd jäävad siis arvutustest välja);
- pakettides sisalduvate renoveerimistöde osas võivad kogu paketi majanduslikku tulemit mõjutada ka tehnilised üksikasjad, nt avatäide soojapidavus (ja seos nende maksumusega), tehnosüsteemide energiasäästlikkus jne, mille detailsem arvestamine ei olnud käesolevas projektis ette nähtud.

Lisaks arvutustes toodule võib suurpaneel lamute renoveerimisel kaaluda ka järgmisi tehnilisi lahendusi:

- tehniliste võimaluste olemasolul lisakorruse pealeehitamine koos uue kaldkatuse ehitusega; tekib täiendav elamispind, mille müügist on võimalik rahastada korterelamu renoveerimist (sellise katusekorruse pealeehitamise orienteeruv maksumus 12 –15 tuh. krooni/m²);
- vastavalt läbiviidud müraprobleemide uuringule annaksid renoveerimislahendused helipidavust tõstva efekti ja tööde maksumuse parima suhte need variandid, kus vahelae plaadile lisatakse massiivne betoonist ujupõrand elastsel alusel ja korteritevahelisele seinale on paigaldatud täiendav kipsplaadist sein; sel juhul oleks nii vahelae kui ka korterite vahelise seina õhuhelipidavuse indeks 55 dB ja vahelae löögimürataseme indeks 53 dB (sellise ettepaneku maksumus korteri netopinnale on orienteerivalt 900 kr/m²);
- korteriuste vahetus uute, ühesuguste EI 30 tüüpi tuletõkkeuste vastu (lahenduse orienteeriv maksumus 8000 kr/tk),
- olemasolevate rõdude lammutamine ning uute metallkarkassil rõdude ehitamine (orienteeriv maksumus 7000 kr/rõdu põrandapinna m²);
- ventilatsioonisüsteemi väljaehitus korteri- või ruumipõhiste seadmete abil (orienteeriv maksumus näiteks 70 m² korteri puhul ~50 tuh. krooni);

Tasuvusarvutuste puhul tuleb silmas pidada järgmisi aspekte. Arvutused on tehtud eeldusel, et hoone renoveerimiseks võetud laenu makstakse tagasi nõ jooksvalt kogutud finantsvahenditest, seega ei ole tegemist eelneva remondivahendite kogumise ja pangakontol hoidmisega. Kui aga võrrelda olukorda, kus elanikel on sääste, mis seisavad arveldusarvel (intressimäär väike) olukorraga, kus neid sääste kasutatakse hoone renoveerimiseks (ja sellega kaasneva energiasäästu saavutamiseks), siis lisandub siin majanduslik motivaator renoveerimise teostamiseks. Küsimus on siiski keerukam, kuna investeerimisvõimalusi on mitmeid ja ilmselt oleks kortermaja elanike osas problemaatiline leida säästudele ühine kasutusotstarve.

Arvutustes ei ole kajastatud ehituskulude muutust, mis väljendub renoveerimistöde maksumuses ja mõjutab oluliselt tasuvusarvutuste tulemusi. Ehituskulude dünaamikat on prognoosida väga keeruline, näiteks aastatel 1997-2008 tõusis aasta-aastalt Eesti Statistikaameti andmetel remondi- ja rekonstrueerimistöde hinnaindeks summaarselt 174%,

ajavahemikul maikuu 2008-maikuu 2009 aga langes 15,8%. Juhul, kui võrreldes käesolevas uuringus kasutatud ehitustööde hinnatasega tööd odavnevad, suureneb renoveerimistööde sisemise tasuvuse määr. Siiski on tõenäolisem, et võrreldes ehitustööde hinnatasega suvi 2009, lähi-aastatel ehitushinnad tõusevad ja seega oleks muude tegurite (nt energiahind, intressimäär) samaks jäädes renoveerimistöid läbi viia käesoleval hetkel majanduslikult kasulikum kui seda teha mõne aasta pärast.

Ka kortermaja elanike sissetulek mõjutab renoveerimistööde kavandamist. Oluline on maksevõime olemasolu renoveerimislaua tagasimaksmiseks, kuid ka elanike sissetulekute võimalik kasv avaldab mõju renoveerimistööde edukuse hindamisele Näide: renoveerimislaua tagasimakse on 2009.aastal 13 kr/m², köetav pind 70 m², igakuine makse 910 krooni, elaniku sissetulek 10 000 krooni. Nende andmete alusel maksab elanik sissetulekust 9,1% renoveerimislaua tagasimakseks. Kui eeldada, et laenuitingimused on kümne aasta pärast samad, kuid sissetulek on kasvanud keskmiselt aastas 5%, siis sissetulek on 16 289 krooni ja sellest 910 krooni ehk 5,6% kulub renoveerimislaua tagasimaksmiseks. Seega, kuigi laenuitingimused käesoleva näite puhul ei muutunud, vähenes laenumakse osakaal sissetulekus.

19.3 Arvutusnäide

Näitena on järgnevalt toodud suurpaneelamute tüüp 464-A renoveerimistööde paketi B tehnilis-majanduslikud arvutused koos kommentaaridega. Pakett koosneb renoveerimismeetmetest, mille hinna määramise aluseks on ehitusettevõtjate hinnapakkumised (aastatel 2008/2009) ning analoogsete objektide hinnainfo. Renoveerimismeetmete rakendamise tulemusena tekkiv energiasääst on arvatud energiakulutusi simuleeriva arvutitarkvara abil.

Tabel 19.3 Arvutuste lähteandmed

Ehitustöö	Maht	Ühikhind (kr/ühik)	Maksumus (tuh kr)	Kokkuhoid energiatarbimises aastas (MWh)
Otsaseinte soojustamine min.villaga 150mm ja katmine mineraalse krohviga	340 m ²	710	241,4	32
Pikiseinte soojustamine min.villaga 150mm ja katmine mineraalse krohviga	1410 m ²	850	1 198,5	134
Lamekatuse lisasoojustamine 200mmsoojustus + uus rullkate	861 m ²	550	473,6	97
Akende ja rõduuste asendamine uutega, sh. ääreplekid, avapõskede viimistlus	538 m ²	2500	1 345,0	94
Välisuste asendamine uutega, ääreplekid, ustepõskede viimistlus	8 m ²	4000	32,0	3
Keldrilagi (energiasääst tasakaalutemperatuuri alanemisest)	861 m ²			51
Värkeõhuklappide paigaldus eluruumidesse, mehaaniline väljatõmbe-ventilatsioon	3508 m ²	100	350,8	46
Küttesüsteemi ümberehitus nn kahetoru-süsteemiks, radiaatorite asendamine, automaatregulaatorite paigaldus	3508 m ²	200	701,6	0
Rõdude murenenud betooni eemaldamine koos sarruse roostest puhastamisega, betoonist kaitsekihi taastamine, rõdupiirete remont.	64 tk	10000	640,0	0
	Kokku		4 982,85	457

Suurpaneelilamute tüüp 464-A renoveerimistööde paketi B-2 maksumus on 4 982 850 krooni.

Esmalt arvutame renoveerimistööde maksumuse köetava pinna kohta:

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

$$\text{Maksumus köetava pinna kohta} = \frac{4\,982\,850}{3508} = 1420,4 \text{ kr}$$

Järgnevalt arvutame laenu tagasimakse köetava pinna kohta. Selleks peame teadma intressimäära, laenu tagasimakse aega ning seda, kui suur on renoveerimistööde rahastamisel nõutav omafinantseering. Arvutustes on eeldatud vastavalt intressimäärasid 5%, 7,5% ning 10%. Laenu tagasimaksiks on valitud vastavalt 15 ja 20 aastat. Omafinantseeringuks on arvutustes võetud 0%. Mida suurem oleks omafinantseering, seda väiksem on vajaminev laenusumma. Samas on suurem ka summa, mida korterelamu elanikud peavad eelnevalt koguma. Mida väiksem on renoveerimistööde maksumus ja pangalaenu intressimäär ning mida pikem on laenu tagasimaksmise aeg, seda väiksem on iga laenu tagasimakse.

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

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

i – intressimäär (esitatakse kümnendmurruna, nt. 7,5% antakse valemis 0,075)

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

$$\text{Annuiteeditegur} = \frac{0,075 * (1 + 0,075)^{15}}{(1 + 0,075)^{15} - 1} = 0,1133$$

$$\text{Laenu tagasimakse kuus} = \frac{4\,982\,850 * 0,1133}{12} = 47\,046 \text{ kr}$$

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

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

$$\text{Laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale} = \frac{47\,046}{3508} = 13 \text{ kr/} \text{ köetava pinna m}^2$$

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

Investeringu sisemine tasuvus

$$= \frac{\text{Rahaline sääst, mis tekib energia kokkuhoiust valitud perioodi vältel (kr)}}{\text{Laenu teenindamiseks makstav kogusumma valitud perioodi vältel (kr)}}$$

ehk

$$= \frac{\text{Energiasääst remondipaketi rakendamisel (MWh)} * \text{Energia hind} \left(\frac{\text{kr}}{\text{MWh}}\right) * \text{arvutusperiood (a)}}{\text{Köetav pind (m}^2\text{)} * \text{laenu tagasimakse kuus köetavale pinnale} \left(\frac{\text{kr}}{\text{m}^2}\right) * \text{arvutusperiood (a)}}$$

$$\text{Investeringu sisemine tasuvus} = \frac{457 * 907 * 15}{3508 * 13 * 12 * 15} * 100 = 73\%$$

Näitest järeldub, et kasutatud algandmete puhul tagastub investeeringust 15 aastase laenuperioodi jooksul 73%. Rahalise säästu arvutamisel tuleb arvutuses eeldada kas energia hinna muutumatust valitud ajavahemiku jooksul või hinna stabiilset keskmist muutumist. Laenu teenindamiseks kuluva rahasumma arvutamisel on eeldatud, et intressimäär on kogu ajavahemiku vältel muutumatu. Arvutustes on kasutatud Tallinna Kütte soojusenergia hinda 907 kr/MWh (seisuga 1.märts 2009), energiahind ei ole erinevate soojusenergia müüjate puhul sama ja seda tuleb arvestada juba konkreetse hoone kohta tehtavate arvutuste puhul.

Järgnevalt arvutame investeeringu keskmise tootluse.

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

$$\text{Investeeringu keskmine tootlus aastas} = \frac{73}{15} = 4,9\%$$

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

$$\text{Laenu tagastamise kuus} = \frac{4\,982\,850 * 0,1133}{12} = 47\,046 \text{ kr}$$

$$\text{Annuiteeditegur} = \frac{0,075 * (1 + 0,075)^{15}}{(1 + 0,075)^{15} - 1} = 0,1133$$

$$\text{Laenu tagastamise kuus koetavale pinnale} = \frac{47\,046}{3508} = 13 \frac{\text{kr}}{\text{m}^2} \text{ koetava pinna m}^2$$

= investeeringu sisemine tasuvus =

$$\frac{\text{(Rahaline sääst, mis tekib energia kokkuhoidust valitud perioodi vältel (kr))}}{\text{/(Laenu teenindamiseks makstav kogusumma valitud perioodi vältel ($$

$$\frac{8\,944\,293}{8\,468\,354}) * 100 = 106\%$$

$$\text{Investeeringu keskmine tootlus aastas} = \frac{106}{15} = 7,1\%$$

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

15 aasta jooksul hoitakse energiasäästu tulemusena kokku 6 217 485 krooni. Laenu teenindamiseks makstav summa valitud aja jooksul on 8 208 720 krooni. Seega investeeringust jääb tagastumata 8 208 720 – 6 217 485 = 1 991 235 krooni. Jagades selle summa koetava pinnaga saame: 1 991 235 / 3508 = 568 krooni, mis oleks ka vajaliku toetuse suurus eeldusel, et investeeringu sisemine tasuvus peaks olema 100%. Muutes algandmeid, võime leida, et nt. paketi B3 (kõige suuremat energiasäästu ja mugavuse-turvalisuse kasvu tagav pakett) puhul on 15 aastase tagasimaksega laenu ja 7,5% laenuintressi puhul investeeringu 100% tasuvuseks vajalik toetuse ligikaudu 1700 krooni.

20 Kokkuvõte

Kande- ja piirdetarindite üldine olukord

Välisseinapaneelide ehk kõige suurem probleem on nendesse sisse projekteeritud külmasillad. Vaatamata välisseinapaneelide üldisele rahuldavale seisukorrale esineb paneelide vuukide juures siiski veel tõsiseid puudusi: esines paneelidevaheliste vuukide täitmist nii jäiga tsementseguga, kui ka polüuretaanvahuga, mis päikese käes kiirelt laguneb. Välisseinapaneeli armatuur oli korrodeerunud vaid juhul, kui kaitsekihi paksus oli väga väike (<1 cm) nii fassaadipinna kui ka soojustuse poolel. Välisfassaadipaneeli pinna kahjustusi esines vaid üksikutel hoonetel ja seda fassaadivärvi või -krohvi mahakooremise näol. Välisseinapaneelide puurimine näitas, et soojustuse paksus võib varieeruda suures ulatuses nii hoonel, kui ka samal paneelil. Seetõttu tuleb olla väga ettevaatlik lisasoojustuse kinnitamisega vaid välimisele koorikule. Enne renoveerimistõid ja lisasoojustamist tuleb alati kontrollida välisseinapaneelide üldist ehitustehnilist seisukorda.

Suurpaneelilamute katuste peamised probleemid on katustekatte ebatihedus, külmasillad, eriti välisseina ja katuslae liitekohas ning lodžade, šahtide ja läbiviikude juures, ebapiisav soojapidavus, konvektsiooni ja difusiooni teel siseruumidest tuulutusvahesse sattunud veeauru kondenseerumine välimise betoonpaneeli või katusekatte sisepinnal ja selle tilkumine tagasi soojustusse, katuse ebapiisav tuulutus, lekked katusekatte ülespöörete juures, veeloigud katusel, ebapiisavad kalded (eriti korstnate ja muude läbiviikude juures), ummistunud sadevee äravoolud, lagunened ja remonti vajavad korstnad.

Rõduplaatidel esines tõsiseid kahjustusi, mis olid põhjustatud peamiselt rõdude veetõkke puudumisest või katkiseist veetõkkest (rõduplaat on pidevalt märg) ning armatuuri või rõdu piirdetõkkide korrosioonist. Vundamentide silmnähtavaid vajumeid ega kerkeid üldiselt ei esinenud. Hoone ümbruse vajumist võis täheldada aga mitme hoone juures. Vahelagede ja -seinte kandevõime seisukohast olulisi puudusi enamasti ei esinenud.

Niisketes ja märgades ruumides uuritud korterites üldiselt tõsiseid probleeme ei esine. Hallitust ja veetõkke läbijookse esineb üksikutes korterites. Pinnaniiskused on kõrged korterites, kus pole seintesse ja põrandasse paigaldatud veetõkkeid. Probleemsed kohad on pesumasina ja segistite ümbrused.

Akende osas tuleb olulisima puudusena välja tuua asjaolu, et akende vahetamisega ei ole kaasnenud ventilatsioonisüsteemi renoveerimist. Kuna õhuvahetud vanades suurpaneelilamutes toimus peamiselt läbi akende ebatiheduste, peab akende vahetamisega alati kaasnema ventilatsioonisüsteemi renoveerimine.

Tuleohutuse seisukohalt võib peamiste puudustena välja tuua: tule ja suitsu leviku takistamisega seotud probleemid: korterite välisüksed ei ole tuletõkkeüksed, vaheseinte ja -lagede madal õhupidavus ei takista suitsu levikut läbi tuletõkkepiirete, torustike vahetamisel ei ole tuletõkkeseptsioonidest läbiviikude juures tagatud tuletõkkepiirde tulepüsimisnõuded (EI60).

Fassaadibetooni olukord

Fassaadipaneelide betooni külmakindlus varieerub väga suurtes piirides, kuid üldistavalt võib öelda, et uuemates hoonetes on olukord parem. Kui 1962. aastal ehitatud elamus ei vastanud nõuetele ükski proov, siis 1979. aastal ning 1990. aastal ehitatud elamutes ei vastanud nõuetele kummaski üks proov, kusjuures lubatud piiri ületati vähe.

Suurpaneelilamute projekti kohane betooni survetugevus välisseina paneelidel oli M150, mis on sisuliselt 15 N/mm². Kõik katsetulemused ületasid seda suurust. Suurem survetugevus võib olla põhjustatud suuremast tsemendi kogusest betoonis. Tsemendi kogust suurendati, kuna tooteid oli vaja kiiresti toota. Suurem tsemendikogus võib põhjustada näiteks suuremat mahukahanemist ja sellega kaasnevat pragusid betoonis. Kivipuistega välisseinapaneeli puhul ei ole võimalik pragusid visuaalselt tuvastada. Praod betoonis võivad vähendada betooni külmakindlust.

Fassaadipaneelide betoon on karboniseerunud keskmiselt 2-3 cm sügavuseni, kuid võib leiduda ka 5-7 cm sügavuseni karboniseerunud betooni (vanematel hoonetel). Värvkatttega fassaadide karboniseerumine oli oluliselt kiirem, kui kivipuistega fassaadide karboniseerumine ($p < 0.002$). Tugevama betooni karboniseerumise sügavus on keskmiselt väiksem.

Uuritud proovidel ei avastatud armatuurraua läbiroostetamist, kuid mõnel vanimal 47 aastasel elamul oli armatuurraua korrosioon juba kaugele arenenud. Sarrusetarase korrosiooni hindamisel tuleb arvesse võtta ka asjaolu, et teras võis olla pindmiselt roostetanud juba enne betooni valamist. Betoonis leiduvate sarruse korrosiooni soodustavate soolade uuringul selgus, et sealt ei leitud kloriide või sulfaate. Järelikult põhjustab uuritud proovide sarrusetarase korrosiooni valdavalt betooni karboniseerumisest tingitud kaitsevõime vähenemine. Korrosioon on seda ulatuslikum, mida hõredam on betoon.

Karboniseerumise uurimiseks võetud proovides ei avastatud betooni korrosiooni põhjustavaid sooli (kloriidid, sulfaadid).

Välisseinapaneelide niiskusrežiimi arvutuslik analüüs

Kondensaadi tekkimine suurpaneelilamute välisseintesse on tõenäoline. Kondenseerumisperioodi pikkus on 3–4 kuud ja kondensaadi väljakuivamine kestab 2–3 kuud. Kondenseerunud veeauru kogused on siiski väikesed.

Seina niiskusrežiimi mõjutavad oluliselt ruumide niiskuskoormus, materjali omadused ja materjalide paiknemine seinas. Kahte viimast olemasolevatel hoonetel muuta ei ole võimalik. Siseruumide niiskuskoormust on aga võimalik vähendada ruumide parema ventileerimisega.

Seinte lisasoojustamine parandab oluliselt seinte niiskusrežiimi. Lisasoojustamisel tuleb arvestada, et olemasolev sein hakkab kuivama. Seega tuleb arvestada, et pärast lisasoojustamist satub sein teatud perioodiks kõrgema niiskuskoormuse alla (materjalides sisalduva niiskuse väljakuivamine).

Külmasillad

Suurpaneelilamute välispiiretes on tõsised külmasillad: hallitus ja pinnakondensaadi teke on selliste külmasildade korral täiesti paratamatu. Külmasildade probleemi lahendamiseks on suurpaneelilamute välispiirete lisasoojustamine ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide renoveerimine hädavajalikud.

Raudbetoon suurpaneelilamute konstruktsioonilahendusest tingituna on välisseina-katuslae liitekoht suureks külmasillaks. Seega tuleb katuslae lisasoojustamisel soojustada ka vähemalt välisseina ülaosa (kuni ülemise korruse akendeni) või tervikuna kogu välisfassaad

Raudbetoon-suurpaneelilamute välispiirded sisaldavad tõsiseid külmasildasid. Energiaarvutuses, hoone soojakadude leidmisel, on nendega arvestamine mõõdapääsmatu. Külmasildasid võib arvestada eraldi „piirdekomponendina” või võtta külmasillad arvesse välispiirete redutseeritud soojajuhtivuses. Raudbetoon-suurpaneelilamute külmasilla konduktantsid on oluliselt suuremad, kui Energiatõhususe miinimumnõuete määruuses toodud: renoveeritavatele hoonetele on vaja kasutada uute elamute suurustest erinevaid suurusi.

Seespoolne lisasoojustus suurendab külmasildade mõju. Lisaks seespoolset lisasoojustatavale korterile kahjustatakse ka naaberkorteri sisekliimat.

Hoonepiirete õhupidavus

Kõikide mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv oli $q_{50} = 4,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (min. $1,1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, max $15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) ja õhuvahetuvus 50Pa juures oli $n_{50} = 6,4 \text{ 1/h}$ (min. $1,5 \text{ 1/h}$, max 22 1/h). Eesti korterelamute keskmine õhulekkearv on $q_{50} = 3,8 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ (mõõteandmed 2008 kevad seisuga: 71 korterelamut min. $0,3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, max $15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$) ja $n_{50} = 5,2 \text{ 1/h}$ (77 korterelamut, min. $0,4 \text{ 1/h}$, max 24 1/h).

Vanemate suurpaneelamute energiaarvutustes tuleks kasutada suuremat õhulekkearvu, kui on antud energiatõhususe miinimumnõuete määrukses: $3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Suurpaneelamute energiaarvutustes kasutatava õhulekkearvu baasväärtus oleks $q_{50} = 5,4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja $n_{50} = 7,7 \text{ 1/h}$.

Kuna hoonepiirded, küttesüsteem ja ventilatsioon moodustavad ühtse terviku. Kui nendest üks ei toimi normaalselt, siis korralikust elamust on asi kaugel, on õhupidavate piiretega hoone puhul eriti oluline tagada ventilatsiooni toimivus. Õhupidavate piiretega hoone kogu õhuvahetuse peab tagama toimiv ventilatsioon. Kui pole toimivat ventilatsioonisüsteemi, siis ka õhupidavate piiretega elamus saab sisekliima rikutud. Ka korralik kütte- ja ventilatsioonisüsteem ei taga energiatõhusust hoonel, mille piirded ei ole õhu- ja soojapidavad.

Ehitusmaterjalide ja siseõhu mikrobioloogiline olukord

Korterite sisepindadelt avastatud hallitusseened on põhiliselt I tüüpi allergia potentsiaalsed tekitajad. Hallitusseente esinemine on valdav kõrgematel korrustel. Selle põhjusteks võib pidada ülemiste korruste väiksemat ventileeritust ja katuse-välisseina liitekohas paiknevat külmasilda. Paljudes proovides (28%) esines vaid tahma ja prahti, seente oosiseid ei esinenud. Tahma selektiivne kogunemine on samuti külmasilla indikaatoriks.

Uuritud ruumide andmetest ületas talveaja osakeste kogua ja normi ligi pooled. Kõikides proovides, kus osakeste üldarv ületas 2500 ühiku, oli proovis valdav osa baktereid. Enamus proove on võetud ülemise korruse korteritest nii 5- kui ka 9-korruselistes suurpaneelamutes. Alumistelt korrustelt võetud proovidest hallitusseeni ei avastatud.

Sisepiirete helipidavus

Katsete käigus uuritud korteritevaheliste piirete helipidavus ei vasta tänapäeva nõuetele. Mõõta tajumise seisukohalt uuritavates elamutes olumõõra valjus on kuni 4 korda suurem sellest, kui piirete helipidavus vastaks EVS 842:2003 soovitudele.

Mõõtmised näitasid, et eksploatatsiooni käigus piirete helipidavus oluliselt ei muutu.

Soojus- ja niiskuslik olukord korterites

Keskmine sisetemperatuur oli talvel $+21,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus $+16,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $+25,8 \text{ }^\circ\text{C}$). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 37% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 23 % ja 65 %). Keskmine sisetemperatuur suvel oli $+23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ (korterite talveperioodi keskmine temperatuur oli vahemikus $20,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $+25,2 \text{ }^\circ\text{C}$). Keskmine siseõhu suhteline niiskus oli 52% (korterite talveperioodi keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 43 % ja 70 %).

41% korterites (5% piirsuuruse lubatud ületusega) ei vastanud sisetemperatuur EVS-EN 15251:2007 standardi madalaima sisekliimaklassi III piirsuurustele (41% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 14% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil). Sisekliimaklassi II temperatuurinõuded ületati 70% korterites (65% korterites ei vastanud sisetemperatuur kütteperioodil ja 42% korterites ei vastanud sisetemperatuur suveperioodil). Suvised kõrged sisetemperatuurid ei ole suurpaneelamute suurim probleem.

Käesolev uurimistöõ toetab Eesti elamutes varem läbiviidud sisekliima mõõtmisi, mille alusel kütteperiood muutub suveperioodiks ööpäeva keskmisel välistemperatuuril $+15 \text{ }^\circ\text{C} \dots +10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Suurpaneelamute niiskuslisa arvutus suuruse (90 % kriitilisuse tasemel) võrdlus varasema uuringuga Eestis ja võrdlus Soome korterelamutega näitab, et uuritud suurpaneelamutes olid oluliselt suuremad niiskuskoormused. Selle peamine põhjus on puudulik ventilatsioon ja suur niiskustootlus (suur asustustihedus, pesu kuivatamine siseruumides jne). Kui Eesti korterelamutes varasemate tehtud uuringute alusel oli niiskuslisa arvutus suuruse 6 g/m^3 , siis praegused uuringud näitasid oluliselt suuremat niiskuskoormust. Arvestades suurpaneelamute välispiiretes olevaid suuri külmasildasid, on see väga muretekitav. Ventilatsiooni tõhustamine

niiskuskroomuste alandamiseks ja välispiirete lisasoojustamine piirete sisepinnatemperatuuride tõstmiseks on möödapääsmatu.

Ventilatsiooni toimivus

Möödetud siseõhu süsihappegaasi (CO₂) tasemete osas sisekliima uuritud korterites ei vasta Eesti sisekliima standardile. Õhu süsihappegaasi osas vastas madalaima sisekliima klassi nõuetele (<1500 ppm) ainult 3 korterit. Keskmiselt jäi CO₂ kontsentratsioon alla 1500 ppm 73,6 % mõõteperioodi ajast. Tasemele B (<1250 ppm) vastas ainult üks korter. Keskmiselt jäi CO₂ kontsentratsioon alla 1250 ppm 59,7 % mõõteperioodi ajast.

Võrreldes õhuvahetuse tulemusi uuritavates korterites Eesti standardi piirarvudega on näha, et uuritavates korterites õhuvahetuskordsus on nõutust väiksem. Õhuvahetuskordarvud magamistubades jäävad vahemikku 0,04 kuni 0,23. Vastavalt Eesti standardile peab õhuvooluhulk magamistubades olema vähemalt 0,7 l/s·m², mis 2,5 m toakõrguse korral vastab õhuvahetuskordsusele 1,0 (EVS 845-1:2004).

Suurpaneelilamute ventilatsioonisüsteemid vajavad põhjalikku renoveerimist.

Suurpaneelilamute energiatarbe analüüs

Hoonete algolukorras, enne igasuguseid renoveerimistöid, on nende keskmine soojustarbimine on 191 kWh/(m²·a), see suurus on esitatud hoone köetava pinna kohta. Erinevate hoonete puhul on kõrvalekalded -25 kuni +36 kWh/(m²·a). Tegelikult olukorra madalamad soojuse eritarbimised on tingitud eelkõige puudulikust ventilatsioonist. Elamute energiatarbimise parandamine on möödapääsmatu. Energiatarbimise parandamiseks tuleb läheneda komplekselt: vaja on lisasoojustada välispiirded, renoveerida kütte- ja ventilatsioonisüsteemid ja soojavarustus.

Üksiku korteri ühtsest keskküttesüsteemist väljalülitamisel kasvab naaberkorterite soojustarbimine. Küttest korteri mõju naaberkorteritele avaldub ligi 28% kütteenergia tarbe tõus, võrreldes köetud olukorraga. Naaberkorterite kütteenergia tarbe tõus on veelgi suurem olukordades, kus küttest korter paikneb otsaseinas või ülanurgas. Korteri küttest väljalülitamine ja küttest eest maksimisest keeldumine ei ole põhjendatud. Kuna korteritevahelised vaheseinad ei ole soojustatud, võib ka seinte pinnatemperatuur langeda liialt madalale.

Hoonesiseste tehnokommunikatsioonide olukord

Uuritud suurpaneelilamud on ehitatud tingimustes, kus energia oli ääretult odav ning sooviti võimalikult väikese maksumusega ehitada hästi palju kortereid. Tänapäeval, kus energia hinnad on tohutult kasvanud, on niisuguste odavate korterelamutega tõsised probleemid: nende hooldus ja eksploatatsioonikulud on kõrged, samas ei vasta sisekliima sageli soovitud mugavusnõuetele. Samas nii mitmedki tehnosüsteemid on piisavalt amortiseerunud. Hoone tehnosüsteemidest puudutab see enam tarbevee süsteem, ventilatsioonisüsteem, aga ka küttesüsteem, kuna nende lahendus ja seisukord (juhul, kui on renoveerimata) ei vasta tänapäeva nõuetele.

Renoveerimistöde maksumuse hindamine ja tehnilis-majanduslik põhjendus

Suurpaneelilamute renoveerimine, nende energiatarbimise, sisekliima ja tarindite olukorra parandamiseks on hädavajalik. Pärast avariiolekorra likvideerimist, inimestele tervisliku ja ohutu elukeskkonna loomist ning hoone kasutusea tagamist võib renoveerimismeetmete juures analüüsida ka nende majanduslikku tasuvust (eeldades, et elamut ei lammutata vaid renoveeritakse).

Et renoveerimismeetmeid saaks hinnata tervikuna, tuleb lisaks majanduslikule tasuvusele võtta arvesse ka teisi, üldjuhul kvalitatiivseid tegureid.

Renoveerimislahendused võib jagada järgmisteks nn pakettideks:

- **Tase A.** Selle juures on silmas peetud eelkõige hoone **ohutust** (kandevõime, tuleohutus, kasutusohutus, keskkonnohutus) ja **tervislikkust**. Lahenduste puhul keskendutakse hoonele esitatavate oluliste nõuete miinimumnõuete täitmisele tegemata järeleandmisi tervislikkuse ja turvalisuse osas.
- **Tase B.** Taseme B renoveerimislahenduste abil on võimalik **parandada** rohkem hoone **energiatõhusust** ja **pikendada kasutusiga**.
- **Tase C.** Renoveerimislahendused **parandavad** oluliselt hoonete **kvaliteeti** ja pakuvad **täiendavaid mugavusi** elanikele. Energiatõhususe osas pakuvad lahendused väiksemat energiakulu, kuid praeguste energiahindade juures võib investeringu tulukuse määr olla väiksem. Kahjustunud tarindid vahetatakse välja või ehitatakse uued. Teatud osas võib C tasemele renoveeritud hoonet võrrelda uusehitatud hoone tasemega.

Kokkuvõtteks võib öelda, eelkõige tuleb rekonstrueeritavates hoonetes luua inimeste tervisele ohutu elukeskkond, selle tagamiseks on mõeldud pakettis A+B-1 teostatavad tööd. Seades eesmärgiks nii ohutuse, tervislikkuse kui ka märkimisväärse energiasäästu, oleks soovitatav majanduslikust aspektist lähtudes ellu viia paketti A+B-2, suurema mugavuse ja esteetika taotluste puhul ning rahastuse võimaluse olemasolul paketti C+B-3. Kõikide pakettide puhul jääb sisemine tasuvus suhteliselt väikeseks (keskmiselt 2–5% aastas), eeldades energiahinna tõusu keskmiselt 5% aastas, kujuneb sisemise tasuvuse määraks ligikaudu 4–7%. Arvutused näitavad, et kui võtta eesmärgiks rekonstrueerimistoid laenuraha abil finantseerides tagada paketi B-3 tasuvus 15 aasta jooksul, tuleks nt. hoone tüüp 464-A rekonstrueerimist toetada ligikaudu 1700 krooniga ühele hoone köetava pinna ühikule (sõltub konkreetsest hoone tüübist, tehtud töödest jne).

21 Viidatud kirjandus

- Adan, O.C.G. 1994. On the fungal defacement of interior finishes. Doctoral thesis, Eindhoven University of Technology, pp. 224.
- Albreht, L. Ruumiõhu sündroom. Kursusetöö keskkonnatervishoius. Tartu Ülikooli arstiteaduskonna keskkonna- ja tervishoiu õppetool.
- 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., Vyszynski-Moher, D.L. 1999. Reducing relative humidity to control the house dust mite *Dermatophagoides farinae*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 1999; 104 4 Pt 1: 852-6.
- Backman, E., Hyvärinen, M., Lindberg, R., Reiman, M., Seuri, M. Kokotti H. The effect of air leakage through the moisture damaged structures in a school building having mechanical exhaust ventilation. In: *Proceedings of the Healthy Buildings 2000 Conference*. 6-10 August 2000, Helsinki, Finland.
- Batterman, S., Jia, C., Hatzivasilis, G. Migration of volatile organic compounds from attached garages to residences: a major exposure source. *Environmental Research* 2007;104(2):224-240.
- Bech-Andersen, J. Sisekliima ja hallitusseened. Eesti mükoloogia uuringute sihtasutus. Tartu 2005.
- Binamu A. Integrating building design properties “air tightness” and ventilation heat recovery for minimum heating energy consumption in cold climates. Dissertation. Tampere University of Technology, 2002.
- Bornehag, C. G., Sundell, J., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Skerfving, S., Sigsgaard, T., Verhoeff, A. 2004. Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature 1998-2000 on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air* 2004; 14 4: 243–257.
- Bornehag, C.G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järholm, B., Malmberg, P., Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G., Sundell, J. 2001. Dampness in Buildings and Health. Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects NORDDAMP. *Indoor Air* 2001; 11 2: 72-86.
- Building Regulations, BBR, of the Swedish Board of Housing, Building and Planning BFS 1998:38. Mandatory provisions and general recommendations. December 2001. P9:212.
- C3. Rakennuksen lämmöneristys. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Määräykset, 2007.
- Chang, C.-F., Chen, J.-W. The experimental investigation of concrete carbonation depth. *Cement and Concrete Research*, 2006;36(9):1760-1767
- Clifton J. R. Stone consolidating materials. National Engineering Laboratory, National Bureau of Standards. NBS technical note; 1118. 1980.
- D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet, 2007.
- DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Juli 2001, Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 4108-7:2001-08. Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 7: Airtightness of buildings, requirements, recommendations and examples for planning and performance.

- Eesti Keskkonnatervise Riiklik Tegevusplaan (National Environmental Health Action Plan of Estonia) - EV Sotsiaalministeerium, 1999. - 69 lk.
- Eesti Standardikeskus. Eesti standard EVS 885:2005 Ehituskulude liigitamine.
- Eesti Tervisekaitse Selts 51. Konverentsi ettekannete kogumik. 2005.
- Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. Vabariigi Valitsuse määrus nr. 315 (RT I 2004, 75, 525), 27. oktoober 2004.
- EKHHL (2002). Eluhoonete renoveerimise üldistatud aluste ja korralduse põhimõtted ja soovitusused omanikule. Eesti Kinnisvara Haldajate ja Hooldajate Liit, Tallinn, 2002.
- EKK (1994) Mustamäe suurelamute konstruktsioonide seisukorra ekspertiisi ning renoveerimise ettepanekud. Ehituskonstrueerimise ja katsetuste AS.
- Emmerich, S.J., Gorfain, J.E., Howard-Reed, C. Air and pollutant transport from attached garages to residential living spaces - literature review and field tests. The International Journal of Ventilation 2003;2(3):265–76.
- Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr. 258 (RTI, 28.12.2007, 72, 445).
- EPN 11.1 Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Ehitusteave (ET-1 0113-0108), 1995.
- EstKONSULT (1996). Tallinna Mustamäe linnaosa elamute rekonstrueerimine. Inseneribüroo EstKONSULT.
- EV MKM. 2007. Uuringu „Eesti eluasemefondi ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ lähteülesanne. Eesti Vabariigi Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. August 2007.
- EVS 837-1:2003. Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS 839:2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS 845-1:2004 Hoonete ventilatsiooni projekteerimine. Osa 1: Üldnõuded.
- EVS-EN 12504-1:2003 Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 1: Puursüdamikud. Võtmine, ülevaatus ja survekatse. Eesti Standardikeskus, Tallinn, 2003.
- EVS-EN 12504-2:2003 Konstruktsiooni betooni katsetamine. Osa 2: Mittepurustav katsetamine. Põrkearvu määramine. Eesti Standardikeskus, Tallinn, 2003.
- EVS-EN 13187:2001 Thermal performance of buildings - Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 13369:2006 Betoonvalmistoodete üldeeskirjad. Eesti Standardikeskus, Tallinn, 2006.
- EVS-EN 13829:2001. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method. Eesti Standardikeskus; 2001.
- EVS-EN 814:2003 „Normaalbetooni külmakindlus. Määratlused, spetsifikatsioonid ja katsemeetodid“.
- EVS-EN ISO 10211-1:2000 Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Osa 1: Üldised arvutusmeetodid Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Part 1: General calculation methods. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN ISO 13788:2001 Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods. Eesti Standardikeskus.
- EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna lähteparameetrid hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast (Indoor environmental input parameters for design and

- assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics). Eesti Standardikeskus.
- Fang, L., Clausen, G., Fanger, P.O. 1998. Impact of Temperature and Humidity on Perception of Indoor Air Quality During Immediate and Longer Whole-Body Exposures. *Indoor Air* 1998; 8 4: 276-284.
- Fanger, P.O. 1971. *Air Humidity, Comfort and Health*. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1971.
- Ginevicius, R., Podvezko, V., Raslanas, S. 2008. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 14(4): 217-226.
- Gorgolewski, M. 1995. Optimising renovation strategies for energy conservation in housing. *Building and Environment*, Vol. 30, No 4: 583-589.
- GOST 10180-90. *Concretes. Methods for strength determination using reference specimens*. Moskva, Russia, 2005. 31 pp.
- Hagentoft, C.E., Harderup, E. Moisture conditions in a north-facing wall with cellulose loose-fill insulation: construction with and without a vapor retarder and air leakage. *ASHRAE Transactions* 1995;101(1):639-46.
- Hart, B.J. 1998. Life cycle and reproduction of house-dust mites: environmental factors influencing mite populations. *Allergy* 1998; 5 48: 13-17.
- Hedenblad, G. *Materialdata för fukttransportberäkningar*. Byggeforskningsrådet-rapport T19:1996, Svensk Byggtjänst, Stockholm. 1996.
- Hens, H. (ed.). *Condensation and Energy, Guidelines and Practice*. Vol. 2, Annex 14, International Energy Agency, KU Leuven, 1990.
- Houst Y.F., Wittmann F.H. Influence of porosity and water content on the diffusivity of CO₂ and O₂ through hydrated cement paste. *Cement and Concrete Research*, 1994;24(6):1165-1176.
- Ince, R., Aricib, E. (2004) Size effect in bearing strength of concrete cubes. *Construction and Building Materials*, 2004;18(8):603-609.
- IOM Institute of Medicine 2004. *Damp Indoor Spaces and Health*. National Academy of Sciences. Washington D.C: National Academies Press.
- ISO EN 7730:1994. *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.
- Jokela, J., Kukko, H., Metso, J., Pihlajavaara, S., Sarja, A., Vesikari, E., Virtanen, J. (1980). *Kovettuneen betonin perusominaisuudet*. Tiedonanto 74, VTT, Espoo, Finland, 1980, 102 p.
- Jokisalu J, Kurnitski J. *Simulation of energy consumption in typical Finnish detached house*. Helsinki University of Technology, HVAClaboratory, Report B74; 2002.
- Jolkkonen, K., Huovinen, S. *Pinnoiteiden vaikutus sandwich-elementtien käyttöikään*. Teknillinen korkeakoulu, talorakennustekniikka. Julkaisu 112. 2000.

- Jõgioja, E "Radoonihutu elamu" OÜ Ehitusteave Tallinn 2004.
- Kalamees, T. (2006). Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering, 12(3-1), 218 – 229 (http://www.kirj.ee/public/va_te/eng-2006-3_1-6.pdf).
- Kalamees, T. Air tightness and air leakages of lightweight single-family detached houses in Estonia. Building and Environment 2007;42(6):2369-2377.
- Kalamees, T. Elamupiirete õhupidavus: Uurimistöö „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetoodika väljatöötamine“ raport. Tallinna Tehnikaülikool, 2008.
- Kalamees, T., (2006), Hygrothermal criteria for design and simulation of buildings. Doktoritöö. Tallinna Tehnikaülikool.
- Kalamees, T., 2006. Hygrothermal Criteria for Design and Simulation of Buildings. Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn: TTU Press.
- Kalamees, T., Vinha, J. Estonian Climate Analyzes for Selecting Moisture Reference Years for Hygrothermal Calculations. Journal of Thermal Envelope and Building Science 2004; 27 (3): 199-220.
- Keskikuru T., Kokotti H., Lammi S., Kalliokoski P.. Variation of radon entry rate into two detached houses. Atmospheric Environment 34 (2000) 4819-4828.
- Korsgaard, J. 1983. House-dust mites and absolute indoor humidity. Allergy 1983; 38 2: 85-92.
- Kõiv, T-A. Indoor climate and ventilation in Tallinn school buildings. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007, 13, 17-25.
- 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.
- Leskelä, M. (2008). by 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Suomen Betonitieto Oy, Helsinki, 2008. 711pp.
- Lo, Y., Lee, H.M. Curing effects on carbonation of concrete using a phenolphthalein indicator and Fourier-transform infrared spectroscopy. Building and Environment. 2002;37(5):507-514.
- Marchant, E.W. Fire safety systems—interaction and integration. Facilities 2000;18(10/11/12):444–55.
- Mattson, J., Carlson, O.E., Engh, I.B. Negative influence on IAQ by air movement from mould contaminated constructions into buildings. In: Proceedings of indoor air 2002, vol. 1. Monterey, California, USA, 2002. p. 764–9.
- Mehto, L., Pentti, M., Käkönen. Betonijulkisivujen karbonisoituminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Julkaisu 41. 1990.
- Möller, G., Petersons, N., Samuelson, P. (1980). Betonghandbok.. Svensk Byggtjänst, Stockholm, 1980.
- Neville, A.M., Properties of concrete. Second edition, Pitman publishing, Bath, 1973.
- NRCan 2004. R-2000 Standard.
- Pahapill L, Rulkov A, Rajamäe R, Åkerblom G. Radoon Eestimaa elamutes. 2003.
- Pahapill L., Jõgioja E., Rohumäe T. Indoor radon in Estonia. Proc. Of the 6-th Int.Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 4, pp 471-474. 1993.
- Pahapill L., Rulkov A., Rajamäe R., Åkerblom G.. Radon in Estonian dwellings. Results from a National Radon Survey 2003:16.

- Pahapill L.. Radoonitasemetest Eestimaa elamutes. Keskkonnatehnika 2002/1 lk 14-15.
- Pahapill, L. Siseõhu radoonist Eestis. Keskkonnatehnika 3, lk 2-7 2000.
- Pentti, M. Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys. Betonirakenteiset, muuratut ja puujulkisivut. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Raportti 33. 1988.
- Pentti, M., Mattila, J., Wahlman, J. Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus. Osa 1 Rakenteet, vauriot ja kunnon tutkiminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Julkaisu 87. 1998.
- Pesur E. „Radoon radooniohtlike alade lasteasutustes“. Magistritöö 2006.
- prEN 15242 Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration; 2005.
- REN TEKNISK 1997 Statens Bygningstekniske Etat Veiledning til teknisk forskrift til plan-og bygningsloven.
- Riley W. J., Gadgil A. J., Bonnefous Y. C., Nazaroff W. W.. The Effect of steady winds on radon-222 entry from soil into houses. Atmospheric Environment 1352-2310(95)00248-O.
- Rowan, N.J., Johnstone, C.M., McLean, R.C., Anderson, J.G., Clarke, J.A. 1999. Prediction of Toxicogenic Fungal Growth in Buildings by Using a Novel Modelling System. Applied and Environmental Microbiology 1999; 65: 4814-4821.
- RT 80-10632 Ehitise kaitseplekid (1997) 19 lk. Ehitusteabe fondi juhendteatmik.
- RT 80-10817 Ehitiste valtsimis- ja plekitööd. Üldjuhised.(2004) 12 lk. Ehitusteabe fondi juhendteatmik.
- Rulkov A., Pahapill L. „Radoon majades“ 2004.
- Sanders, C. (1996). IEA-Annex 24 HAMTIE, Final Report, Volume 2, Task 2: Environmental conditions. Laboratorium Bouwfysica, K.U.-Leuven, Belgium.
- SIA 180. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Wärmeschutz im Hochbau, Zürich. 1999.
- Silikaatbetooni Instituut. 1977. Soovituste väljatöötamine silikaatbetoonist sisepiirete kandvate konstruktsioonide väljatöötamiseks nende ehitus-akustiliste selgitamise põhjal. Tallinn, 1977.
- SNiP II-3-79, Stroitelnie Normi i Pravila, Construction Norms and Regulations, Building Heat Engineering, Gosstroj SSSR, Moscow (1979).
- Sotsiaalministri 4. märtsi 2002. a. määrus nr. 42. „ Müratase ja puhekeelal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid.“
- Sterling, E.M., Arundel, A., Sterling, T.D. 1985. Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings. ASHRAE Transactions 1985; 91 1: 611-621.
- Zavadskas, E., Raslanas, S., Kaklauskas, A. 2008. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case. Energy and Buildings; 40: 573-587.
- Thiery M., Villain G., Dangla P., Platret G. Investigation of the carbonation front shape on cementitious materials: Effects of the chemical kinetics. Cement and Concrete Research, 2007;37:1047-1058.
- Töötervishoiu keskus. Niiskus – ja hallitusprobleemid töökohtadel. Metoodiline juhend. Tallinn 2004.
- Uustalu, E. Betooni pragunemine. Ehitaja 6(59) 2001, lk. 8-11.

- Wang, F., Ward, I.C. Radon entry, migration and reduction in houses with cellars Building and Environment 2002;37(11):1153-1165.
- Viitanen, H., Ritschkoff A.C. 1991. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Report No 221, Uppsala, Sweden.
- Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, Valovirta, I., Mikkilä, A., Jokisalo, J. 2005. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpöolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. Tutkimusraportti 131. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., Kurnitski, J., Aho, H., Salminen, M., Salminen, K. ja Keto, M. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tutkimusraportti 140. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- VV määräus nr. 315. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. 27. 10. 2004 (RT I 2004, 75, 525).
- VV määräus nr. 38. Eluruumidele esitatavad nõuded. 26. 01. 1999 (RT I 1999, 9, 38).
- Wyon, D.P., Fang, L., Mayer, H.W., Sundell, J., Weirsoe, C.G., Sederberg-Olsen, N., Tsutsumi, H., Agner, T., Fanger, P.O. 2002. Limiting criteria for human exposure to low humidity indoors. Proceedings of the 9th International Congress on Indoor Air Quality, July 2-6, Monterey, USA; IV: 400-405.

