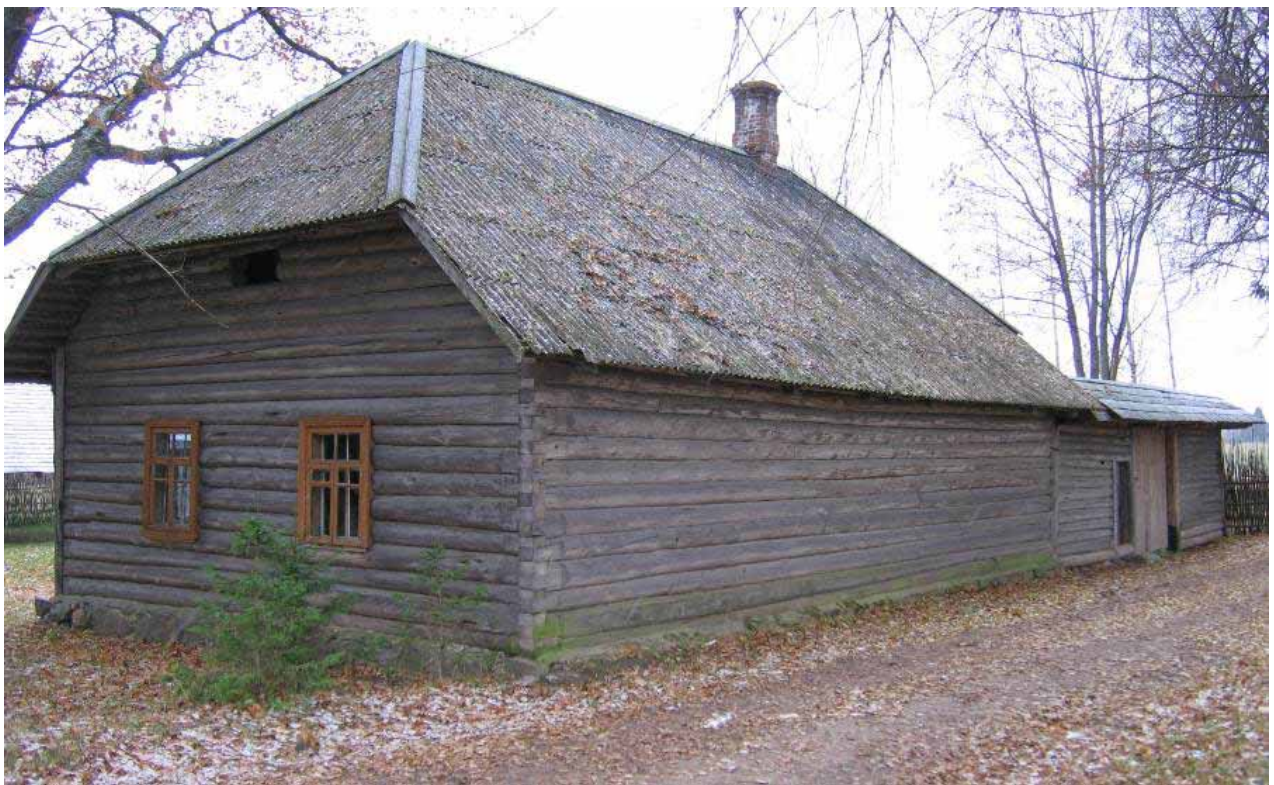


Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

Uuringu I etapi lõpparuanne



Tallinn 2011

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

Uuringu I etapi lõpparuanne

Targo Kalamees, Üllar Alev, Endrik Arumägi,
Simo Ilomets, Alar Just, Urve Kallavus

Projekti vastutav täitja ehitusinsener Targo Kalamees

Kaane kujundanud Ann Gornischeff

Autoriõigused: autorid, 2011

ISBN 978-9949-23-056-3

Eessõna

Käesolev aruanne võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetoolis ajavahemikul september 2009 kuni detsember 2010 läbiviidud uuringu „Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I“ tulemused. Uurimistöö on tehtud MTÜ Vanaajamaja tellimusel ja MTÜ Vanaajamaja, Krediidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutuse KredEx ja Tallinna Tehnikaülikooli finantseerimisel. Lisaks eelnimetatutele osales uuringus maa-arhitektuuri ja -maastike uurimise ja hoidmise riiklik programmi kaudu ka Eesti Vabaõhumuuseum.

Tallinna Tehnikaülikoolist osalesid uurimistöös järgmised isikud:

Ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool: Targo Kalamees, Üllar Alev, Endrik Arumägi, Simo Ilomets, Alar Just. Kaasa töötasid: Kätlin Miilberg, Arli Toompuu, Tõnis Agasild, Georg Kodi, Karl Öiger;
Materjaluuriringute teaduskeskus: Urve Kallavus.

Täname uurimistöö rahastajaid ning uuritud elamute elanikke oma panuse eest uurimistöö õnnestumisesse. Täname Hannes Meisterit ja Kalle Pilti Eesti Maaülikoolist pörandaalustes ruumides mõõtmise tegemise ja mõõtmistel osalemise eest.

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

Tallinn, jaanuar 2011

Tegijad

Sisukord

1	Sissejuhatus	6
1.1	Uuringu eesmärk ja oodatavad tulemused	6
1.2	Ülevaade uuritud elamutest	8
2	Uuritud elamute piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid	15
2.1	Meetodid	15
2.2	Vundamendid ja esimese korruse põrandad	15
2.2.1	Vundamentide ja esimese korruse põrandade tarindus	15
2.2.2	Vundamentide tehniline seisund ja kahjustused	16
2.2.3	Põrandate tehniline seisund ja kahjustused	17
2.3	Välisseinad	20
2.3.1	Välisseinte tarindus	20
2.3.2	Välisseinte tehniline seisund ja kahjustused	21
2.3.3	Niiskuse tõus palkseinas	25
2.4	Siseseinte lahendused, tehniline seisund ja kahjustused	27
2.4.1	Märjad ja niisked ruumid	27
2.5	Katused	28
2.5.1	Katuste konstruktsioonid ja tarindus	28
2.5.2	Katuste tehniline seisund ja kahjustused	29
2.6	Pööningu vahelaed	30
2.6.1	Lagede konstruktsioon ja tarindus	30
2.6.2	Pööningu vahelagede tehniline seisund ja kahjustused	31
2.7	Avatäidete lahendused ning tehniline seisund ja kahjustused	32
2.8	Tuleohutus	33
2.8.1	Üldised tuleohutusnõuded maaelamutele	Error! Bookmark not defined.
2.8.2	Uuritud elamute tuleohutusealane olukord	Error! Bookmark not defined.
3	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus elamutes	37
3.1	Meetodid	37
3.1.1	Sisekliimaparametrite mõõtmine	37
3.1.2	Sisekliima hindamiskriteeriumid	38
3.2	Tulemused	40
3.2.1	Väliskliima	40
3.2.2	Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist	41
3.2.3	Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist	43
3.2.4	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel	45
3.2.5	Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel	46
3.3	Sisekliima vastavus standardi sihtarvudele	47
3.4	Kütteallika mõju sisekliima stabiilsusele	48
3.5	Temperatuuri ja suhtelise niiskuse muutus perioodiliselt köetavates elamutes	51
3.6	Elanike hinnangud sisekliimale	53
4	Biokahjustuse tekke risk	55
4.1	Meetodid	55
4.1.1	Hallituse kasvuks kriitilised tingimused	55
4.1.2	Mõõtmised	56
4.2	Tulemused	57
4.2.1	Hallituse tekkeks kriitilised tingimused eluruumides	57
4.2.2	Hallituse tekkeks kriitilised tingimused põrandaalustes ruumides	58
4.3	Puidukahjustuste analüüsi tulemused	59

5	Niiskuskoormus elamutes	61
5.1	Meetodid	61
5.2	Tulemused	62
6	Külmasillad	66
6.1	Meetodid	66
6.1.1	Mõõtmine	66
6.1.2	Külmasildade hindamine temperatuurivälja arvutusmeetodiga	67
6.1.3	Külmasilla kriitilisuse hindamine	68
6.2	Tulemused	69
6.2.1	Mõõtmistulemused	69
6.2.2	Arvutustulemused	72
7	Hoonepiirete õhupidavus	73
7.1	Meetodid	73
7.2	Tulemused	76
7.3	Õhulekkekohad	78
8	Energiatõhusus	82
8.1	Energiatõhususe mõjurid	82
8.2	Meetodid	84
8.2.1	Analüüsitud tüüpelamu kirjeldus	84
8.2.2	Arvutusmodeli kirjeldus ja valideerimine	85
8.2.3	Ahju arvutusmodel	88
8.2.4	Energiatõhususarvutuste lähteandmed	90
8.2.5	Analüüsitud energiatõhususmeetmed	92
8.3	Energiaarvutuste tulemused	92
9	Põhimõttelisi renoveerimislahendusi	97
9.1.1	Välissein	99
9.1.2	Põrand	102
9.1.3	Pööningu vahelagi	105
9.1.4	Katused	106
9.1.5	Ventilatsioon ja küte	107
10	Järeldused	111
10.1	Edasiste uuringute vajadus	113
Viited	.	114

1 Sissejuhatus

Eesti traditsioonilist taluhoonestust koos kauni maastikuga võib pidada maapiirkonna miljööd väärtustavaks teguriks. Eesti maapiirkondade elamud on üle elanud mitmeid muutusi: 19. sajandi keskpaiku pärast mõisa sõltuvusest vabanemist hakati oluliselt täiendama ja parandama sajandeid muutumatuna püsinud rehielamut. Olemuslikuks uuenduseks oli küttesüsteemi ja sellega kaasnenud ruumikasutuse muutus. Korstnaga varustatud pliitide ehitamine, eraldi köögi ruumi tekkimine ning soemüüri ja lõõridega ahju ehitamine kambrite soojendamiseks muutsid kambrid püsivalt elamiskõlblikuks. Pärast Teist maailmasõda lõppes klassikaline talumajandus ja toimunud nõukogulike ümberkorralduste käigus muutus oluliselt põllumajanduse osatähtsus Eestimaa majanduses, mille tulemusena vähenes ka maarahvastik. 1990. aastate alguses Eesti maaelus toimunud muutuste tulemusena on umbes 100 000 säilinud talukoha seos traditsioonilise põllumajandusliku elulaadiga tunduvalt vähenenud. Praegu on paljud endised talumajapidamised muutumas suve- või talvekodudeks, mida talvel ei köeta või köetakse ja kasutatakse talvel vaid perioodiliselt. Samas võimaldavad tänapäeva infotehnoloogia lahendused üha rohkem kaugtöö kasutamist ja maa-elamuid võetakse kasutusse ka püsiva elukohana. Vanade ehitiste energiatõhususe parandamise lahenduste valikuvõimalused on väiksemad ja kitsendavaid tegureid on rohkem. See teeb renoveerimislahenduste väljatöötamise keerukamaks.

Traditsioonilisi maaehitisi ehitatakse ümber, sageli üpris põhjalikult, kahjuks tihtipeale ka oskamatult, kasutades vanadele ehitistele sobimatuid materjale. Tihti on ümberehitused ja renoveerimistööd aga rikkunud puithoonete ehitusfüüsikalist toimimist ja sisekliimat. Ehitusfüüsika ja sisekliima osas võib välja tuua neli olulist muutust:

- oluliselt suurem veekasutus siseruumides;
- vanade ahjude ja pliitide asendamine uutega või uute keskküttesüsteemide kasutuselevõtt;
- seni aastaringi köetavate hoonete muutumine perioodiliselt köetavateks või talvel kütmata hooneteks;
- hoonete renoveerimine ja lisasoojustamine võib muuta (nii parandada kui ka halvendada) aastakümnetega väljakujunenud tarindite soojus- ja niiskusrežiimi.

Need aspektid muudavad hoonepiirete niiskustehnilist toimivust. Ilma kasutuseta ruumide kütmist võib käsitleda põhjendamatult energiakuluna. Lisaks muutunud ehitustraditsioon (muutunud ehitusmaterjalid, uued ehituskonstruksioonid ja piirdetarindid), energiatõhusus (lisasoojustamise vajadus), kasutusotstarve (vee kasutus, niiskusköormused) ja arusaam kvaliteetsest sisekliimast seavad traditsioonilistele maaehitistele endisest erinevad nõuded.

1.1 Uuringu eesmärk ja oodatavad tulemused

See uuring keskendub maapiirkonnas asuvate üksikelaamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasäästu uurimisele. Uuring on maaelamute uuringu I etapp ja keskendub peamiselt perioodiliselt köetavatele ja kütmata palkeramutele, moodustades samas tervikliku uuringu, mida saab hiljem siduda ka teiste uuringutega.

Uurimistöö eesmärgid olid järgmised:

- uurida aastaringiselt kasutatavate, perioodiliselt kasutatavate/köetavate ja kütmata maaelamute sisekliimat ning temperatuuri- ja niiskusköormusi;
- hinnata perioodilise niiskusköormuse ja kütmise mõju siseõhu temperatuurile, hoonepiirete sisepinna temperatuurile ja suhtelisele niiskusele;
- analüüsida veeauru kondenseerumise ja hallituse tekke riski;
- analüüsida erinevaid strateegiaid perioodiliselt kasutatavate hoonete energiasäästlikuks kütmiseks;
- uurimistulemuste alusel pakkuda välja põhimõttelisi renoveerimislahendusi, mis oleksid energiasäästlikud, pikendaksid hoone kasutusiga, tagaksid parema sisekliima, kuid arvestaksid ka vana maamaja iseärasustega ja ei rikuks miljööd.

Uurimistöö käivitamisel olid oodatavad tulemused:

- erinevate kütteviiside ja kasutusaktiivsuse mõju energiasäästule ja sisekliimale (sisetemperatuurile ja suhtelisele niiskusele);
- kütmata hoonete sisetemperatuuri ja suhtelise niiskuse tasakaalutase ja stabiilsus erinevatel välistemperatuuridel;
- siseõhu niiskuskooormus eri aastaaegadel ja erinevate kütte-ventilatsiooni lahenduste ja kasutusaktiivsuse korral;
- vanemate palkhoonete välispiirete õhupidavuse tase ja peamised külmasildade ja õhulekkekohtade asukohad;
- võimalikud ehitusfüüsikalised riskid, mis on seotud maaelamute perioodilise kütmise või kütmata jätmisega;
- võimalik hallituse või mädaniku kasv hoonepiirete sisepinnal või sees;
- soovitud perioodiliselt köetavate hoonete kütmiseks lähtuvalt energiasäästu, kasutusmugavuse, parema sisekliima ning hoonete kestvuse ja säilimise seisukohalt;
- uurimistöö tulemusena saadud süstematiseeritud andmed on kasutatavad analüüsideks ning probleemide lahenduste väljatöötamiseks.

Uurimistööd alustades selgus, et uuringu all oleva elamutüübi ehitustehnilise seisukorra kohta ei ole uurimislikku tulemust. Kuna renoveerimistööd tuleb teha tervikuna kogu hoonele, on tema ehitustehnilise seisukorra ülevaade möödapääsmatu alusmaterjal. See sundis tegema uurimisprogrammi mõningaid korrektiive ja eraldama esialgsest rohkem ressursse elamute ehitustehnilise seisukorra väljaselgitamiseks. Seda tehti osaliselt renoveerimisettepanekute väljatöötamise arvelt.

1.2 Ülevaade uuritud elamutest

Uuringuobjektideks olid maapiirkondades asuvad enne Teist maailmasõda ehitatud palk-taluelamud. Uurimisobjektid valiti MTÜ Vanaajamaja, Eesti Vabaõhumuuseumi, MTÜ Piiriveere Liider ja Tallinna Tehnikaülikooli poolt pakutud kandidaatide seast. Elamud valiti lähtuvalt nende kasutusotstarbest, kütteviisist ja asukohast.

Peamised elamutüübid olid:

- lahuselamu (13 tk.);
- rehielamu (kambrid + rehetuba + rehealune) ja koosehitis (elamu koos kuuriga, laudaga vms. ühe katuse all) (11 tk.);
- Setu talu elamu (5 tk.).



Lahuselamu



Koosehitis



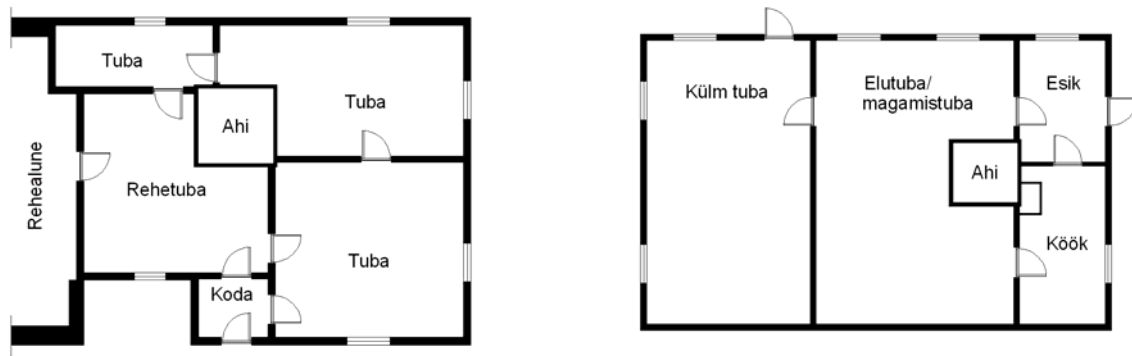
Rehielamu



Setu talu elamu (vaade teelt)

Joonis 1.1 Uuringus esinenud peamised elamutüübid.

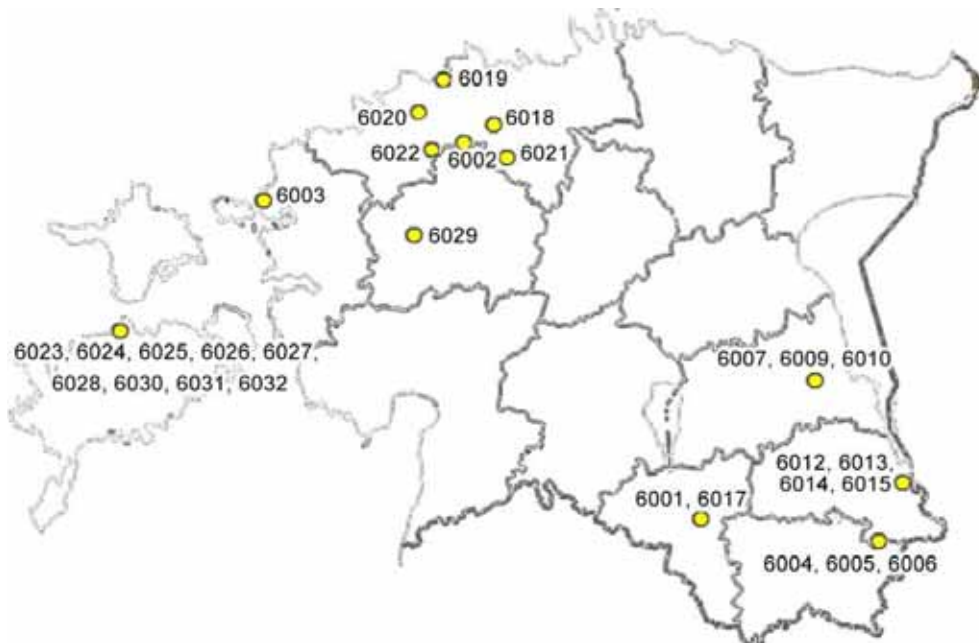
Rehielamuna on uuringus käsitletud elamut, kus ühe katuse all on rehetuba, sellest ühele poole jääb rehealune ja teisele poole jäävad eluruumid (Joonis 1.2 vasakul). Pooltel rehielamutel oli rehetuba ümber ehitatud köögiks ja/või toaks. Setu talu elamu jagunes algselt kolme ossa: ühes otsas külm tuba (ehk suvetuba), keskel magamistuba (köetav) ja teises otsas köök ning koda (üldplaan toodud (Joonis 1.2 paremal). Oluliselt renoveeritud elamutes oli kogu elamu muudetud köetavaks ja kahel juhul oli ka katusekorrus välja ehitatud.



Joonis 1.2 Rehielamu (6018) ja Setu talu elamu (6004) põhiplaanid.

Piirkondlikult olid uuritud elamud jaotunud vastavalt Joonis 1.3-le:

- Harjumaa: 5 elamut;
- Võrumaa ja Põlvamaa: 7 elamut;
- Tartumaa: 3 elamut;
- Saaremaa: 9 elamut
- ja ülejäänud üksikud asukohad: 4 elamut.



Joonis 1.3 Uuritud elamute piirkondlik paiknemine.

Põhiandmed uuringu all olnud elamute kohta vt. Tabel 1.1. Elamute köetava pindala keskmine suurus oli 78 m². Elamute keskmine vanus oli 90 aastat. Uuritud elamutest 45 % olid aastaringse kasutusega, 17 % perioodilise kasutusega ja 38 % elamuid talvel ei kasutatud ega köetud (tüüpilise kasutuse korral). Uuritud elamutest 45 % oli oluliselt renoveerimata. Oluliselt renoveerimata elamutes on tehtud vaid hädapäraseid remonttöid või pole renoveerimisega jõutud kaugemale kui pool planeeritud töödest. Renoveerimisena on käsitletud viimase 10 aasta jooksul tehtud ehitustöid. Oluliselt renoveeritud elamute hulka on loetud elamud, kus on elamu näiteks lisasoojustatud, renoveeritud tehnosüsteeme, vahetatud põrandaid jne. 52 % uuritud elamutes oli pesemisvõimalus: dušš, vann või saun (kas elamus või eraldi hoonena). Köögi kraanikaussi ei liigitatud pesemisvõimaluse alla.

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

Tabel 1.1 Uuritud elamute põhiandmed.

Kood	Ehitus- aasta	Korruse- lisus	Kõetav pind, m ²	Elamu kasutus talvel			Renoveerimine		Elanike arv		Pesemis- võimalus talus
				aasta- ringne	perioodi- line	ei kasu- tata	oluliselt reno- veeritud	oluliselt renoveeri- mata	talvel	suvel	
6001	1920	1	103		×		×				Dušš, saun õues
6002	1938	1	151	×			×		2	2	Dušš
6003	1920	2	53			×		×		2	Saun õues
6004	1932	1	52		×		×		4	4	
6005	1920	1	34			×		×	-	4	
6006	1900	1	34	×			×		1	1	
6007	1924	2	127	×			×		4	4	Dušš, saun õues
6009	1920	1	94	×				×	1	1	
6010	1920	1				×		×	0		
6012	1938	1	81	×			×		3	3	Saun õues
6013	1930	1	84	×				×	4	4	
6014		1	79			×	×		0		Dušš
6015	1950	2	107	×			×		5	5	Dušš
6017		1		×			×		4	4	Saun õues
6018	1892	1	50			×		×			
6019	1874	1	48			×		×	0		
6020	1867	1	49	×				×	1	3	
6021	1885	1				×		×	0		
6022	1871	1	123			×		×	0	12	
6023		1	81		×		×		0		Dušš
6024	1856	1	168	×			×				Dušš
6025		2	73		×		×				Dušš, saun
6026	1938	1	61	×			×		3	3	Dušš, saun õues
6027	1946	1	27	×			×		3	3	Dušš, saun
6028	1949	1	73	×				×	2	5	Dušš
6029	1940	1	73		×			×			Dušš
6030	1938	1	56			×		×	0		
6031	1925	2	93			×	×		0	2	
6032	1930	1	45			×	×		0		

Ülevaade uuritud elamute tehnosüsteemidest vt. Tabel 1.2. Veevarustus elamutes oli tagatud pumbaga 52 % juhtudel. Ämbriga toodi kaevust vett 34% juhtudel ja 10% puudus veevarustus üldse. Vett soojendati 52% juhtudel elektriga. Pliiti (mahtveesoojendi või pliidil potis) kasutati vee soojendamiseks 38% juhtudel. Vähemalt 59% elamutest puudus nõuetele vastav väljaehitatud kanalisatsioonisüsteem (hermeetilise septikuga immutusväljak või biopuhasti). 28% juhtudel oli ventilatsioon lahendatud mehaanilise väljatõmbega köögist, vannitoast või/ja WC-st. Soojustagastiga ventilatsioonilahendus uuritud elamutes kasutust ei leidnud. 42% elamutest esines veel vana elektrikaabeldust.

Tabel 1.2 Uuritud elamute tehnosüsteemide põhiandmed.

Kood	Külm vesi	Soe vesi	Kanalisatsioon	Küte	Ventilatsioon	Elekter
6001	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter, pliit	Plastseptik	Ahi ja pliit, elektriradiaator, el.põrandaküte	Meh. väljatõmme köögis ja duširuumis	Uus kaabeldus
6002	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Puudub	Keskküte (kivisõega), duširuumis el.põrandaküte	Meh. väljatõmme köögis	Uus kaabeldus
6003	Pumbaga toas	Pliidil potis	Puudub	Ahi, elektriradiaator,		Uus kaabeldus
6004	Ämbriga kaevust		Puudub	Massiivne Setu ahi		Uus kaabeldus
6005	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	Massiivne Setu ahi		Vana kaabeldus
6006	Ämbriga kaevust		Puudub	Suur tellisahi		Uus kaabeldus
6007	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter		Keskküte (maaküte), tellisahi	Meh. väljatõmme köögis	Uus kaabeldus
6009	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	2 ahju ja pliit		Vana kaabeldus
6010	Puudub	Puudub	Puudub	Puudub		Vana kaabeldus
6012	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Puudub	2 ahju ja pliit, vajadusel elektriradiaator		Uus kaabeldus
6013	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Ahi ja vajadusel elekterküte (radaatorid)		Osaliselt uuendatud kaabeldus
6014	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Ahi ja pliit	Meh. väljatõmme duširuumis	Uus kaabeldus
6015	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Ahi, vajadusel elekterküte	Meh. väljatõmme köögis	Uus kaabeldus
6017	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter, pliit	Puudub	Ahi, vajadusel elekterküte		Uus kaabeldus
6018	Ämbriga kaevust	Puudub	Puudub	Puudub		Vana kaabeldus
6019	Puudub	Puudub	Puudub	Massiivne ahi		Vana kaabeldus
6020	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	Ahi ja pliit		Vana kaabeldus
6021	Puudub	Puudub	Puudub	Puudub		Puudub

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

Kood	Külm vesi	Soe vesi	Kanalisatsioon	Küte	Ventilatsioon	Elekter
6022	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	Ahi ja pliit		Vana kaabeldus
6023	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Pliit, kamin, duširuumis elektriradiaator		Uus kaabeldus
6024	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Pliit, 2 kaminat, õhksoojuspump	Meh. väljatõmme köögis	Uus kaabeldus
6025	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Kamin	Meh. väljatõmme duširuumis	Uus kaabeldus
6026	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Ahi ja pliit	Meh. väljatõmme duširuumis	Uus kaabeldus
6027	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Pliit, kerisahi, toas elektriradiaator		Uus kaabeldus
6028	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Ahi ja pliit, duširuumis elektriradiaator		Osaliselt uuendatud kaabeldus
6029	Pumbaga toas	Mahtvee-soojendi: elekter	Plastseptik	Ahi ja pliit		Vana kaabeldus
6030	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	Ahi ja pliit		Vana kaabeldus
6031	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	Ahi ja pliit		Vana kaabeldus
6032	Ämbriga kaevust	Pliidil potis	Puudub	Ahi ja pliit		Uus kaabeldus

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

Tabel 1.3 Uuritud elamute tarindite põhiandmed.

Kood	Vundament	Sein	Põrand	Katus	Pööningu vahelagi	Aknad	Renoveerimistööd
6001	Maakivi, kõrgus 20 cm	Tahutud palk	Lai laudis	Eterniidiga kaetud laastukatus	Värvitud punnlaudis, liivtäide	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Elamus vesi, kanalisatsioon, uus ahi, uus pliit, el.kaabeldus, duširuum
6002	Lai ja madal maakividest, taga valatud	Iga sein erinev, osaliselt soojustatud, seest kipsplaadiga kaetud	Vineeri, parketi või puitlaastplaadiga kaetud laudis	Bituumenkärgekatus	Värvitud punnlaudis, liivtäide	2 raami ja 3 klaasiga puitaknad (klaas+pakett)	Aknad vahetatud 1990,
6003	Paekivi	Ümarpalk	Laudpõrand	Eterniidiga kaetud rookatus	Laudis	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Uus ahi.
6004	Maakivi, kõrgus 40 cm	Seest tahutud palk, sees alumine osa kaetud laudisega	Lai laudis, soojustatud kergkruusaga	Eterniidiga kaetud laastukatus	Lai laudis, peal linavilt ja kergkruus	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Soojustatud põrand ja lagi, renoveeritud ukse
6005	Maakivi, kõrgus 20 cm	Seest tahutud palk	Lai laudis	Eterniit	Värvitud punnlaudis, peal linaluu-savi segu	1 klaasiga puitaknad	
6006	Maakivi, kõrgus 20cm	Seest tahutud palk	Lai laudis	Eterniit	Lai laudis, peal linaluu-savi segu	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Tellisahi 2009, vahetatud esimene palk
6007	Maakivi, madal, kaetud veeplekiga	Tahutud palk, väljas 50mm min.villa, tuuletõke ja laudvooder	Lai laudis, soojustatud	Laastukatus	Vahelael lai laudis, katuslael värvitud punnlaudis või kips, katuslae vahel 100 mm min.villa	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Soojustatud väljast, teine korrus ehitatud, tehtud laastukatus, uued aknad, uus ahi, palkseinad tugevdatud
6009	Maakivi, kõrgus kuni 40 cm	Tahutud palk, väljas laudvooder, seest krohvitud ja	Lai laudis, kaetud vineeriga, all liiv, köögis topeltpõrand	Eterniidiga kaetud laastukatus	Must laudis, kaetud 20 cm saepuru-savi soojustusega, all vineer või krohv (köögis)	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	
6010	Paekivi, krohvitud	Tahutud palk, väljas laudvooder, sees tapeet		Eterniidiga kaetud laastukatus		2 klaasiga omaette raamides puitaknad	
6012	Maakivi, kõrgus 20 cm	Tahutud palk	Lai laudis, all 10 cm saepuru soojustuseks	Eterniidiga kaetud laastukatus	Lai laudis, peal suvaline soojustus	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Uus ahi, proteesitud seinapalke, põrand soojustatud, restaureeritud puidust sisepinnad, uus koja laastukatus
6013	Maakivi, kõrgus 10-30 cm	Tahutud palk, väljas laudvooder, sees vineer või vene kips ja tapeet	Lai laudis, köögi põrand soojustatud 10 cm villaga	Bituumenlaineplaadiga kaetud laastukatus	Vineeriga kaetud laudis, peal 30 cm saepuru	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Köögi soojustamine (põrand ja seinad, WC tegemine, vesi tupp
6014	Maakivi, krohvitud	Tahutud palk, sees ja väljas laudvooder	Lai laudis, kaetud parketiga	Eterniidiga kaetud laastukatus	Värvitud punnlaudis, peal topeltlagi, saepuru-savi soojustus	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	WC ja duširuumi ehitamine, vesi tupp
6015	Paekivi, krohvitud, kõrgus 40 cm, kaetud veeplekiga	Tahutud palk, sees kipsplaat, väljas 100 mm kivivilla, tuuletõke ja värvitud puitlaudis	Vana laudise peal uus laudis ja parkett	Laineline tsementkiud-plaat	Viimistluseks Isotex laeplaadid, teisel korrusel kipsplaadiga viimistletud ja EPS-iga soojustatud katuslagi	Plastmassist pakettaknad	Täielik kapitaalremont, teise korruse väljaehitamine, katuse vahetus
6017	Maakivi, madal	Tahutud palk		Eterniit		2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Lisasoojustus, seinad seestpoolt viimistletud
6018	Maakivi, madal	Ümarpalk, väljas värvitud laudvooder, sees tapeeditud kipsplaat	Lai laudis	Eterniit	Kahes toas vineer, kolmandas värvitud punnlaudis	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

Kood	Vundament	Sein	Põrand	Katus	Pööningu vahelagi	Aknad	Renoveerimistööd
6019	Maakivi	Ümarpalk, kambrite osas seest tahutud ja lubjatud	Lai laudis	Laastukatus	Lai laudis, soojustuseta, rehetoaos palk	1 raami ja klaasiga puitaknad, väljas puidust aknaluugid	
6020	Paekivi	Tahutud palk, väljas laudvooder, seest krohvitud ja tapeeditud	Lai laudis, kõõgis betoon	Eterniit	Vineeriga kaetud laudis, soojustuseks liiv ja heinad	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	
6021	Paekivi	Tahutud palk	Lai laudis	Eterniit	Lai laudis		
6022	Paekivi	Ümarpalk	Soome papp laudisel, kõõgis betoon	Eterniidiga kaetud laastukatus	Värvitud punnlaudis, peal must laudis ja saepuru-savi soojustus	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	
6023	Paekivi, väga madal	Tahutud palk, väljas 100 mm villa, tuuletõke ja voodrilaud ja sees puitlaudis	Laudis	Roogkatus	Punnlaudis, teisel korrusel katuslagi	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Uus elamu (ehitatud 2000) vanadest seinapalkidest
6024	Paekivi, osaliselt krohvitud	Ümarpalk, poolel elamul väljas vill, tuuletõke ja laudvooder, teisel poolel sees 100 mm villa ja kipsplaat	Laudis, soojustuseks 100 mm vill, kõõgis keraamilise plaadiga kaetud betoon	Roogkatus	Ülekattega servamata laudis, soojustuseks 200mm villa, teisel korrusel kips	2 raami ja 3 klaasiga puitaknad (klaas+pakett)	Täielik kapitaalremont, teise korruse toa väljaehitus, uus roogkatus
6025	Betoonist lintvundament	Tahutud palk	Puitlaudis, alt soojustatud, teisel korrusel parketiga kaetud OSB-plaat	Kivikatus	Punnlaudis, 15cm villa, teise korruse katuslaeks kipsplaat ja 200 mm villa	1 raamiga puitaknad (pakettklaasiga)	Uus elamu (2008)
6026	Maakivi, krohvitud	Tahutud palk, sees tapeeditud saepuruplaad, väljas 50 mm villa, tuuletõke ja laudvooder	Vana laudpõranda peal parkett, kõõgis linoleum	Eterniidiga kaetud laastukatus	Värvitud punnlaudis, soojustuseks saepuru	Pakettklaasiga plastaknad	Soojustamine väljast, uued aknad, parkettpõrand, duširuumi väljaehitamine
6027	Paekivi, krohvitud	Tahutud palk, väljas laudvooder, sees osaliselt puitlaudis	Lai laudis, kõõgis ja sauna osas betoon	Eterniidiga kaetud laastukatus	Kattega servamata laudis, kõõgi ja toa peal 100 mm villa	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Uued laed ja laesoojustus, seinade puhastamine, vee sisse toomine
6028	Maakivi, parandatud, 30 cm kõrge	Tahutud palk, väljas silikaatvooder, sees krohv ja värv, kuni 1m kõrguseni laudvooder	Laudis, kaetud vineeriga	Eterniit	Värvitud punnlaudis, peal savi, ühel toal 100 mm villa	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Duširuumi väljaehitamine (2000)
6029	Paekivi, krohvitud	Ümarpalk, sees tapeeditud kips, väljas roomatt ja krohv	Lai laudis, kõõgis betoon	Profiilplekk	Vineeriga kaetud laudis, peal lubja-liiva segu 20-50 mm	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	Uus duširuum, uued puitaknad, uus katus
6030	Paekivi, krohvitud, 30 cm kõrge	Tahutud palk, sees tapeeditud vineer, väljas puitvooder	Vineeriga kaetud laudis, elutoas kaetud parketiga	Eterniit	Värvitud punnlaudis, peal must laudis, soojustuseks heinad	2 klaasiga omaette raamides puitaknad	
6031	Paekivi, peale valatud betoonist laiendus	Tahutud palk, sees laudis ja tapeeditud vineer, renoveeritud tubades kipsplaat, väljas silikaatvooder	Vineeriga kaetud laudis, renoveeritud tubades lakitud laudis	Eterniidiga kaetud laastukatus	Värvitud punnlaudis, peal savi ja heinad	Pakettklaasiga plastaknad	kahe toa ümberehitus
6032	Maakivi, 20 cm kõrge	Tahutud palk, seest värvitud ja 1m kõrgune laudis, väljas tuuletõke ja laudvooder	Lai laudis	Eterniidiga kaetud roogkatus	Värvitud punnlaudis, peal must laudis ja heinad	2 klaasiga omaette raamides uued puitaknad	Uued puitaknad, sein sisepinna viimistlemine, vundamendi renoveerimine, uus välisvooder, uus elektrisüsteem

2 Uuritud elamute piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid

2.1 Meetodid

Uuritud elamute piirdetarindite ja kandekonstruktsioonide tehniline seisund ja defektid selgitati hoonete ülevaatusel ja ekspertiisi käigus peamiselt kaheetapilisena:

- esmane ülevaatus elamute esmakordsel külastusel: üldine ülevaatus, põhitarindite ja -konstruktsioonide kaardistamine, ülesmõõtmine, fotod; esmase ülevaatluse alusel koostati riskianalüüs ja täpsustati edasiste uuringute vajadus;
- põhjalikumad uuringud, mõõtmised ja proovide võtmine.

Elamutes mõõdeti sõltuvalt võimalustest ja vajalikkusest eluruumide piirete õhupidavust, fotografeeriti välispiirdeid normaalarõhu ja alarõhu tingimustes külmasildade ja õhulekete väljaselgitamiseks, kontrolliti piirdepindade niiskust, elamute seintest ja põrandatest võeti puiduproove võimaliku mädanikkahjustuse väljaselgitamiseks (Joonis 2.1). Aasta jooksul mõõdeti tunnise intervalliga siseõhu temperatuuri ja suhtelist niiskust ning välispiirde sisepinna temperatuuri.



Joonis 2.1 Puiduproovide võtmine seinast (vasakul) ja põrandast (paremal) võimaliku mädanikkahjustuse ja selle ulatuse väljaselgitamiseks.

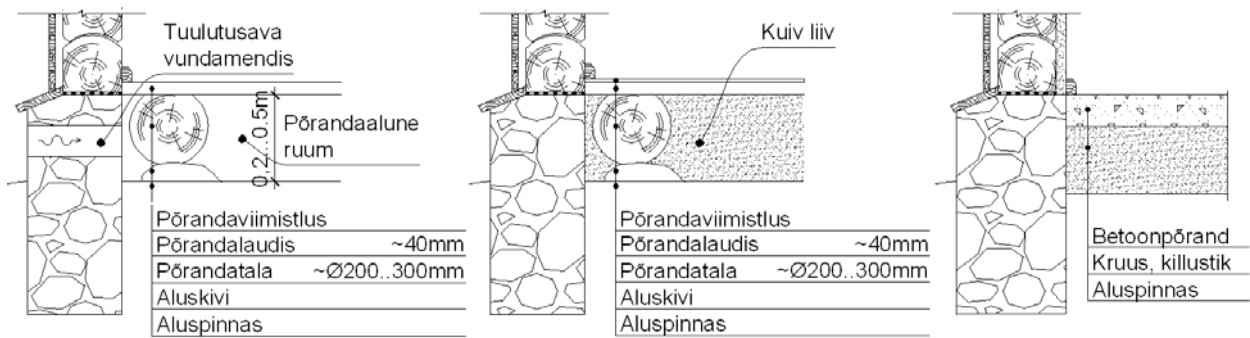
2.2 Vundamendid ja esimese korruse põrandad

2.2.1 Vundamentide ja esimese korruse põranda tarindus

Vaadeldud elamutel oli peamiselt maakividest või paekividest lintvundament või suurtele kividele toetatud postvundament. Lintvundamendi laius oli keskmiselt 35 cm. Sokli kõrgus varieerus 0...50 cm ja väljaaste seina välispinnast enamikul elamutel 5..10 cm. Vundeerimise sügavus ei ole teada. Neljandikus elamutest oli vundamendile peale valatud täiendav betoonikiht. Vundamentide lahendused koos põrandatega on toodud Joonis 2.2.

Algselt olid kõikides uuritud palkelamute eluruumides laudpõrandad, mis toetusid puidust põrandataladele. Põrandatalad toetusid vundamendile ja suurtele kividele või liivapadjale (mis oli sel juhul ka soojustuseks). Hiljem oli parema soojus- ja õhupidavuse tagamiseks põrand kaetud vineeri või topeltpõrandaga. Neljas uuritud elamus oli kõõgi põrand vahetatud betoonpõrandaks vastu. Varem ehitatud betoonpõrandad olid valatud otse täitepinnasele ja pealt värvitud.

Renoveeritud elamutes oli enamik põrandaid täielikult ümber ehitatud, s.t. et vana põrand oli ära lammutatud ja uuesti ehitatud. Põrandaaluseid oli soojustatud kergkruusaga, mineraalvillaga ja vahtpolüstüreeniga. Endised betoonpõrandad olid asendatud soojustatud (vahtpolüstüreeniga) uute betoonpõrandatega, mille sisse oli paaris majas pandud küttekaabel (või -toru). Pealt olid uued põrandad kaetud keraamiliste plaatide või parketiga.



Joonis 2.2 Ehitusjärgsed põrandakonstruktsioonid uuritud elamutes.

2.2.2 Vundamentide tehniline seisund ja kahjustused

Vundamentide peamised kahjustused ja puudused olid järgmised:

- vundamendi ebaühtlane vajumine (Joonis 2.3);
- tühjaks pudenenud kivide vahed (Joonis 2.4 all vasakul);
- liiga madalad vundamendid (või ümbritseva maapinna tõus) (Joonis 2.12);
- vundamendi serva sademete eest kaitsmata jätmine või selle kaitsmiseks mõeldud mördiga tehtud kalde lagunemine (Joonis 2.4 all vasakul).

Kümnendikul elamutest esines suuremaid vundamendi ja välisseinte vajumisi. Peamisteks põhjusteks on vundamendi vajumine/lagunemine ja esimeste palgiridade mädanemine. Esimeste palgiridade mädanemine oli omakorda põhjustatud puudevast hüdrolatsioonist vundamendi ja esimese palgirea vahel või sademetest. Vundamendi vajumisel võib olla mitmeid põhjuseid: maapinna vajumine, sideaineta laotud vundament, külmumisest põhjustatud lagunemine jne. Tulemuseks võivad olla kaldu vajunud põrandad ja avatäited, suurenenud niiskuskahjustused, palkidevaheliste pragude suurenemine ja halvenenud välimus. Joonis 2.3 on näha väikestest kividest sideaineta laotud vundament, mis oli aja jooksul laiali vajunud.



Joonis 2.3 Laialivajunud vundament (vasakul). Vundamendi vajumisest tingitud seinapalkide kõverdumine (paremal).

Kui vundament ei ole vundeeritud külmumissügavusest allapoole, lagundavad iga-aastased külmakerked ja vajumised kivivundamenti. Vundamenti lagundab ka vundamenti pääsenud vesi, mis külmudes paisub ja lükkab vundamentikive üksteisest eemale. Probleeme võib esineda ka vundamentides, mis on laotud segamini paekividest ja maakividest, mille erinevad käitumisomadused võivad põhjustada müüritise kui terviku lagunemist. Kivivundament võib laguneda ka kivi enese füüsikalise või keemilise murenemise tõttu.

Kõige paremas seisukorras olid vundamendid, millel oli puidust veelaud ja lubjamördiga parandatud kivide vahed. Probleeme oli vähem vundamentidel, mis jäid seina pinnast sissepoole või olid seinaga samas tasapinnas (vt. Joonis 2.4 ülal paremal).

Kui ehituse ajal pole hüdroisolatsiooni paigaldatud, siis saab seda lisada esimese rea palkide vahetuse käigus või kui palgid on veel heas seisus, siis aitab oluliselt ka korraliku veelaua paigaldamine vundamendi serva kohale (või sobiva kaldpinna valamine betoonist, vältides olukorda Joonis 2.11 paremal). Lisaks hüdroisolatsiooni puudumisele on sageli vundamendi veelaud mädanenud või puudu, Joonis 2.4 ülal vasakul). Kui puidust veelaud on korralikult paigaldatud, siis vihmavesi vundamendini ei jõua ja vundamendi niiskus saab kergelt välja kuivada. Mõnedele vundamentidele oli kogu ulatuses koorik peale valatud, kuid see kippus pragunema ja maha kukkuma (vt. Joonis 2.4 ülal vasakul).



Joonis 2.4 Nurgast lagunenud valatud sokkel (vasakul üleval), korraliku hüdroisolatsiooniga kaetud ja täidetud vuukidega paekivivundament (paremal üleval); liiga kitsa või puuduva veelauaga pragunenud vundament (vasakul all); alumine palk on kaetud betooniga, mis hoiab niiskuse palgis kõrgel(all paremal).

2.2.3 Põrandate tehniline seisund ja kahjustused

Esimese korruse põrandate peamised kahjustused ja puudused olid järgmised:

- põrandatalade mädanikkahjustused (Joonis 2.5);
- liigniiskus ja mikrobioloogiline kasv põrandaaluses ruumis;
- külmad põrandad.

Mädanikkahjustustega põrandatalad

Mitmes uuritud elamus olid põrandatalad mädanikkahjustustega. Seetõttu oli tala efektiivne ristlõige vähenenud ja põrandad läbi vajunud. Soodus kasvukeskkond puitu lagundavatele hallitus- või mädanikseentele oli põhjustatud ühest või mitmest järgmisest põhjusest:

- puudlikust õhuvahetusest põrandaaluses ruumis (peamine põhjus: puuduvad, ebapiisavad või suletud tuulutusavad),
- põranda alla tekkinud veest (tingitud ajutiselt kõrgele tõusvast pinnasevee tasemest, põranda alla sattunud sademeveest (vihm või lumesulamisvesi);
- niiskele pinnasele toetatud puittaladest (põhjustatuna peamiselt asjaoludest, et hoonet ümbritsev kalle ei taga sademevee eemalejuhtimist või põranda all puudub vee kapillaartõusu takistav pinnasekiht (25-20 cm kruusa, killustikku);
- puudulik drenaaž.



Joonis 2.5 Mädanik- ja mardikakahjustusega põrandatala (vasakul). Kelder, mille põrandal oli vesi (paremal).

Põrandaaluse ruumi puudulik tuulutus

Põrandaaluste tuulutus peab tagama niiskuse väljakuivamise põrandaalusest ruumist. Tuulutamine võib olla vajalik ka radooni eemaldamiseks põranda alt. Soojustamata põranda korral (Joonis 2.2 vasakul) suleti vanasti tuulutusavad talveks ja avati kevade saabudes. Osa põrandaid on olnud algselt alt tuulutatavad (läbi vundamendi ehitati spetsiaalsed tuulutusavad), kuid hetkel leiti vaid ühe elamu alt korralikult toimiv põrandaalune tuulutus (Joonis 2.6 näha vasakul selle elamu tuulutusava ja paremal põrandaalune). Põrandaaluste tuulutus oli katkenud põrandate soojustamise (Joonis 2.7 vasakul) või avade kinnitoppimise tõttu. Samuti olid vundamendi remondi käigus tuulutusavad kinni müüritud. Tuulutusavade sulgemisega loodetakse põrandapinna temperatuuri tõsta. Põranda temperatuur tuulutuse sulgemisega tõuseb, kuid samal ajal muutuvad põrandad niiskeks, niiskus hakkab kondenseeruma vundamendile (Joonis 2.7 paremal) ning põrandatalad hakkavad mädanema (Joonis 2.8).

Niiskustehniliselt alt tuulutatavate põrandate kriitilisim periood on kevad-suvi-sügis. Talvel on tuulutatav põrandaalune ruum välisõhust soojem. Tuulutusavade kaudu põranda alla saabuv välisõhk soojeneb seal ja välisõhuga sama veeaurusisalduse korral suhteline niiskus langeb. Niimoodi kuivatab talvel tuulutus põrandaalust ruumi. Õhuvahetus ei või siiski olla liiga suur, põhjustamaks põrandaaluse ruumi jahtumist ja suhtelise niiskuse tõusu. Kevadel-suvel on põrandaalune ruum jahe ja veeauru küllastussisaldus madal. Tuulutusõhuga tuuakse põrandaalusesse ruumi suurema veeaurusisaldusega õhku, mis võib kondenseeruda põrandaaluse ruumi pindadele. Halvimal juhul võib põrandaaluse ruumi valguda kevadeti lumesulamisvett või pinnasest veeauru aurumine võib olla intensiivsem kõrge pinnasevee taseme tõttu. Põrandaaluse ruumi tuulutus peab olema kiire, et põrandaalune ruum kiirelt üles soojeneks ja kuivaks. Pinnase ja vundamendimüüritise suur termiline massiivsus võivad takistada põrandaaluse ülessoojenemist. Sügisperiood on Eestis soe ja niiske, mis loob hallitus- ja mädanikseente kasvuks üldiselt soodsad tingimused.



Joonis 2.6 Vundamendis olev spetsiaalne tuulutusaук (vasakul). Alt tuulutatav põrand (paremal; põrandatala toetub suurele maakivile).



Joonis 2.7 Ummistunud tuulutusaук (vasakul). Jäätnud veeauru kondensaad põranda all vundamendi lähedal (paremal).

Vundamendist tulev niiskus põhjustab esimese palgirea kiiret mädanemist ja tekitab vajaduse neid palke vahetada/proteesida (Joonis 2.8 paremal). Lisaks seinapalkidele jõuab niiskus ka põrandataladesse, mis on aja jooksul pehmemaks muutunud ja võivad vajada tugevdamist (Joonis 2.8 vasakul).



Joonis 2.8 Vasakul niiskunud põrandatalad, paremal proteesitud esimese rea palk (lumi on vastu palki).

Külmad põrandad

Algselt on enamik alt tuulutatavaid põrandaid olnud soojustamata. Seetõttu on põrand talvel külm. Kuid praegu tahetakse soojemat põrandapinda ja seetõttu on hakatud põrandaid erinevate meetoditega soojustama. Põrandapinna temperatuuri tõstmiseks oli suletud põrandaaluse tuulutus, tehtud topeltpõrand või oli põrandat soojustatud. Samuti oli mõnedes põhjalikult renoveeritud elamutes osa põrandaid välja vahetatud soojustatud ja põrandaküttega varustatud betoonpõrandate vastu.

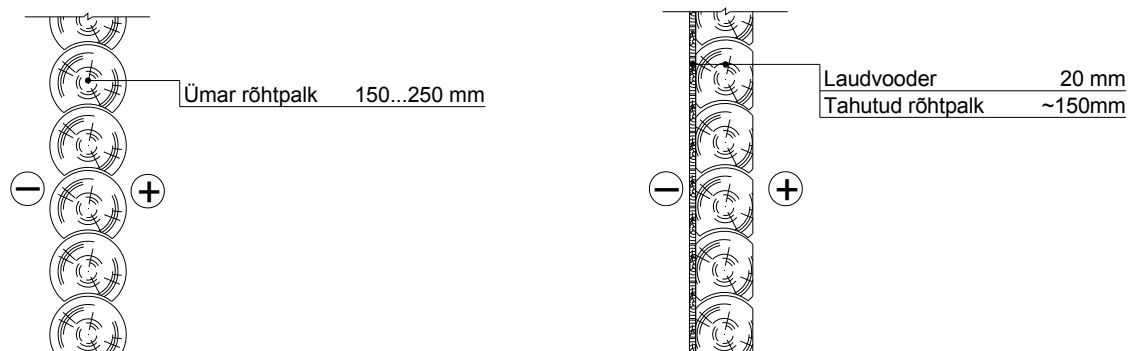
Soojustuse lisamine tõstab põranda sisepinna temperatuuri. Samas võib põrandaaluse ruumi temperatuur langeda, põhjustades suhtelise niiskuse tõusu. Sageli pole mõeldud ka põranda alt niiskuse ja radooni ärajuhtimise peale ning põranda õhupidavuse tõstmisele. Suureks probleemiks oli põranda ja välisseina liitekohta väike õhupidavus.

2.3 Välisseinad

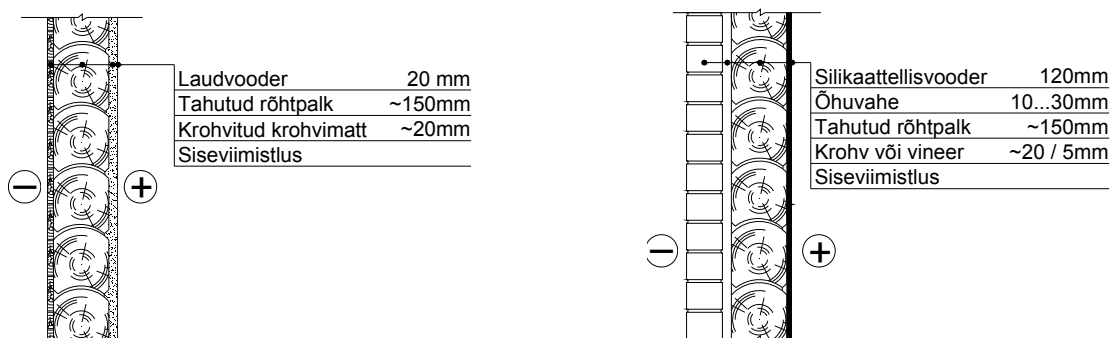
2.3.1 Välisseinte tarindus

Uuringus olnud hoonete välisseinte kandvaks osaks oli tahutud või tahumata rõhtpalk. Palkide vahed olid tihendatud taku, sambla või mineraalvillaga. Alumisi palke oli proteesitud või asendatud kividega kokku kuuel elamul. Kolmandik elamutest olid lisasoojustatud ja välisvoodriga, kolmandik ainult välisvoodriga ning ülejäänutel ei olnud peale palgi täiendavaid kihte.

Vihmakaitseks olevaks välisvoodriks oli horisontaalne või vertikaalne roovlattidele (osa hoonetes ka otse palgile) löödud puitlaudis (tuulutus välisvoodri pragude või õhkvahe kaudu – välisvoodri ja tuuletõkkeplaadi vahelt renoveeritud elamutes). Kahel uuritud elamul oli silikaattellistest välisvooder (Joonis 2.10 paremal).



Joonis 2.9 Uuritud elamute algsed välisseinatarindid (M 1:25)



Joonis 2.10 Aastatel 1970...1990 täiendatud välisseinatarindid (M 1:25).

Renoveeritud elamutes oli voodri alla lisatud tuuletõkkeplaat ja soojustus (50 või 100 mm mineraalvill). Renoveerimata hoonetes spetsiaalne tuuletõke puudus, kuid õhupidavuse testide põhjal võib heaks tuuletõkkeks pidada ka krohvi ja tihedalt paigaldatud vineeri (kasutati pooltes renoveerimata elamutes, Joonis 2.10 vasakul). Rohkem kui pooltel elamutel olid palgid seestpoolt katmata (osa elamutes värvitud, enamikus viimistlemata). Ülejäänud elamutes olid palgid seestpoolt kaetud krohvi, vineeri ja tapeedi või kipsplaadiga (renoveeritud elamutes). Mitmes elamus oli seina alumine osa (~70 cm kõrguselt) seest kaetud vertikaalse laudisega, mis varjas enamasti keramsiitplokkidega (kolmes elamus, Joonis 2.13 vasakul) või silikaatkividega (ühes majas) asendatud alumisi palke. Kahes majas olid kahjustatud palgid asendatud uutega (Joonis 2.8 paremal).

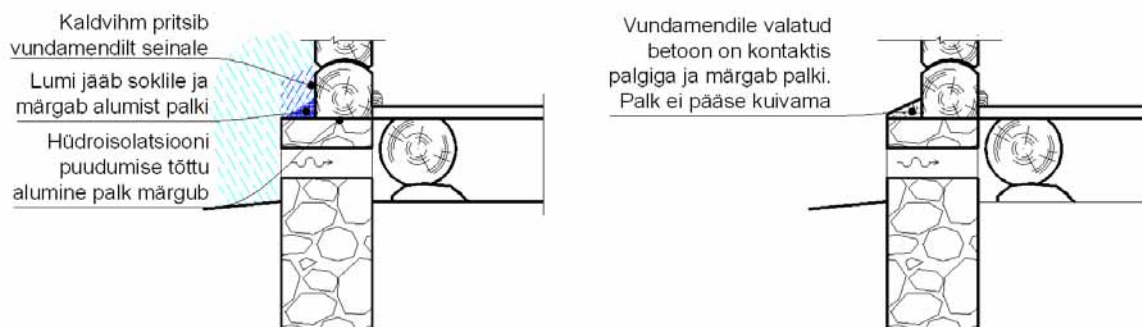
2.3.2 Välisseinte tehniline seisund ja kahjustused

Suurem osa välisseina probleemidest olid seotud liigse niiskuskooormusega ning materjalide või ehitustööde kvaliteediga. Välisseinte kriitilised kohad ja kahjustuste peamised põhjused olid:

- välisseina liitumine vundamendiga (liiga madal vundament, vajunud vundament, vundamendil hüdroisolatsiooni puudumine);
- sademevee sattumine fassaadipinnale (liiga lühike räästas ja puuduvad vihmaveesüsteemid);
- puudulik sademevee juhtimine fassaadilt, eelkõige akende ja välisseina liitekohtadest (aknalt seinale valguv vesi, liiglühikesed ääreplekid).

Kõiki eelnimetatud puudusi suuremal või väiksemal määral põhjustab liigniiskus.

Ligikaudu pooltel uuritud elamutest esines niiskuskahjustusi, mis olid tingitud puuduvast hüdroisolatsioonist vundamendi ja esimese palgirea vahel. Kuna vundamendi ja esimese palgirea vahel enamasti hüdroisolatsioon puudus (või oli lagunenu (kasetoht)), on see põhjustanud alumiste palkide niiskuskahjustusi (vt. Joonis 2.11).



Joonis 2.11 Alumise palgi märgumise peamised põhjused.

Osal elamutel oli vundamendi servalt sademete eemalejuhtimiseks valatud vundamendi pealne pind betooniga kaldu. Kui vundamendi servale on valatud vee juhtimiseks kalle, siis palgi ja valatud betoonriba vahele sattunud niiskus kuivab väga aeglaselt ja soodustab esimese palgirea mädanemist (vt. Joonis 2.11).

Kui sokkel oli madal, siis tulenevalt ümbritseva pinnase taseme tõusust (huumusekihi kasv hoone ümber, pinnasetööd, teede rajamine vms. töö) oli mitme uuritud elamu esimene palgirida sattunud kokkupuutesse pinnasega. Pinnase taseme tõus oli enamasti tingitud elamuümbruse puudulikust koristamisest. Pinnasega kokkupuutuvad palgiredad mädanevad kiirelt läbi ja põhjustavad seina täiendavaid vajumeid, pragude laienemist seinas, uste ja akende vajumeid. Joonis 2.12 on seina osa, mille esimene palk oli tulenevalt kokkupuutest pinnasega läbi mädanenud ja ära vajunud. Neljanda ja viienda palgirea vahele oli tekkinud suur pragu ning paremal paiknev uks oli samuti ära vajunud. Maas oli näha koristamata lehesodi. Hoonet ümbritseva pinnase tõus võib põhjustada ka tuulutusavade sulgumist.



Joonis 2.12 Pooleldi pinnasessse vajunud ja mädanenud esimene palk, neljanda palgirea kohale tekkinud pragu, paremal vajunud uks. Näha on aastaid koristamata lehesodi.

Mitmetel elamutel ei olnud võimalik probleemi põhjust otseselt tuvastada (mitme põhjusega kahjustus) või ei olnud probleem ilmnenud (hea tuulutuse ja pika räästaga elamud). Esimestele palgiridadele satub vesi ka pritsmete kaudu vundamendi servalt või pinnaselt. Kahjustused on visuaalselt tuvastatavad pehkinud palgi välispinna järgi. Katseliselt saab kontrollida niiskustaset palgis (eelkõige vundamendipoolses küljes, kuna sageli esineb palgi keskel pikipragu, mis takistab niiskuse liikumist kõrgemale). Mädanikkahjustused võivad esineda, kui niiskus on $>18\ldots20\%$, ja esinevad alati, kui niiskustase on $>20\%$ (Joonis 2.13 paremal toodud esimese rea palgis oli niiskustase alaosas $40\text{--}50\%$ ja ülaosas $12\ldots14\%$).

Välisseintes esineb niiskuskahjustusi sageli ka akende ümber (väiksemal või suuremal määral esines see probleem pooltel uuritud renoveerimata elamutest). Kõige sagedamini on kahjustunud aknalaua all olev palk, kuna puudulike aknaplekkide korral valgub vihmavesi aknalt otse sellele palgile. Joonis 2.13 vasakul on näha olukord, kus akna all olnud palgid on välja vahetatud keramsiitplokkide vastu, kuid akna kõrval olevad mädanenud otstega palgid on veel asendamata.

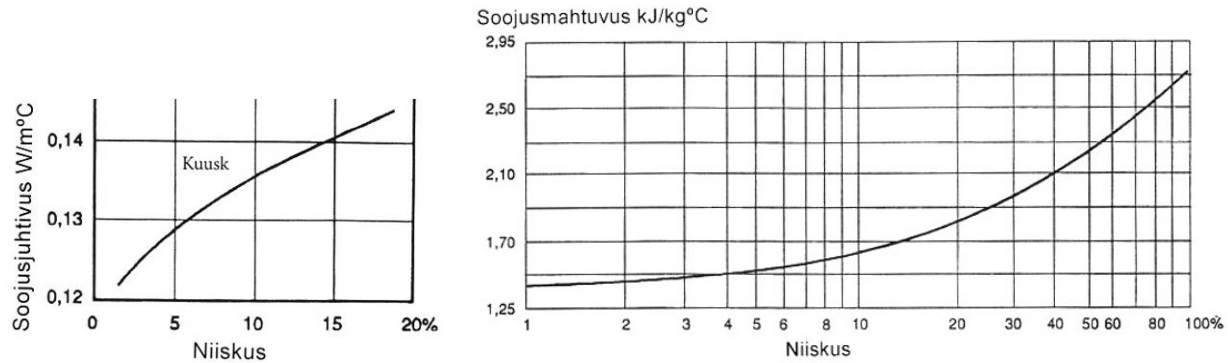


Joonis 2.13 Vasakul mädanenud palgid akna kõrval (alumised palgid vahetatud keramsiitplokkide vastu), paremal pehkinud esimese rea palk.

Lisaks eelmainitud esimestele palgiridadele ja akna ümbrustele esines mädanikku ka mujal seina pinnal. Mädaniku põhjuseks on perioodiliselt palgi pinnale sattuv vihmavesi, mis niisutab puitu ja ei kuiva kiirelt ära. Vesi võib palgi pinnale sattuda kaldvihma või räästa vigade tõttu. Aeglane väljakuivamine on põhjustatud varjuküljest või liiga ligidal kasvavast taimestikust (Joonis 2.15). Palgid hakkavad mädanema enamasti pinnalt (maltspuidu osast), mädanenud osa hakkab hiljem kooruma. Kuna seina pind muutub poorsemaks, siis ka niiskus imbub palkidesse kiiremini ja kuivab välja aeglasemalt. Seina kõrgenenud niiskustase suurendab mõnevõrra soojuskadu, kuna suureneb puidu soojusjuhtivus, ja soojusmahtuvust, mis suurendab samuti küttekulu, kuna puidu temperatuuri tõstmiseks kulub rohkem soojust (Joonis 2.14). Mädaniku ulatuse suurenedes võivad hakata suurenema õhulekked kahjustunud seina kaudu. Kui põhjust ei likvideerita, siis mädanemise kiirus ja ulatus suurenevad. Joonis 2.15

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I

vasakul on palgi maltspuidu osa läbi mädanenud ja koorunud. Joonis 2.15 paremal on mädanenud palgid kaetud hiljem laudadega, et takistada mädanemist, paraku see hoopis suurendab mädanemise kiirust, sest vesi satub ikkagi palkidele ning palgi pind ei kuiva laudade all enam ära.



Joonis 2.14 Puidu soojusjuhtivuse (vasakul) ja soojusmahtuvuse (paremal) sõltuvus niiskusest (Saarman, 2006).



Joonis 2.15 Puude all oleva elamu niiskunud otsasein (vasakul) ja sama elamu sammaldunud katus koos pehkinud otsalauaga (paremal).



Joonis 2.16 Mädanikkahjustustega palgid. Parempoolisel pildil on mädanenud koht kaetud laudadega, mis omakorda kiirendab mädanemist, kuna kuivamine toimub aeglasemalt.

Välisseinte sisemine lisasoojustus

20. sajandil ja varem ehitatud elumajade palkseinte paksus on ~15 cm, mille soojapidavus võib jääda väheks, pidades silmas tänapäevaseid nõudeid energiatõhususele. Paaris elamus olid välisseinad soojustatud seestpoolt. Soojustatud oli ühes elamus osaliselt 100 mm mineraalvillaga, teises ühte elamu otsa 50 mm krohvitud roomatiga, kolmandas elamus paari tuba seest 50 mm paksuse mineraalvillaga. Välisseinte seespiline lisasoojustus on alati seotud niiskustehniliste riskidega. Halvimal juhul võivad tekkida eeldused hallituse kasvuks või veeauru kondenseerumiseks. Omanikud soovivad elamu soojustada seestpoolt osade kaupa (välispiline soojustus eeldab terve elamu soojustuse tegemist korraga), kuid sageli ei teadvustata endale eelmainitud ohtusid.

Seinte hallitus-, mädanik- ja mardikakahjustused

Nähtavat hallitust ja mardikakahjustusi esines uuritud elamutes vähe. Hallitust välisseina pinnal esines kahes renoveeritud elamu köögis välisseinte alumistes nurkades (Joonis 2.17). Ühes renoveeritud elamus tuli majavammi kahjustuste tõttu asendada pool ühe ruumi seinast ja terve põrand.



Joonis 2.17 Hallitus seina sisepinnal.

Nähtavaid mardikakahjustusi leiti kahes elamus. Esimese elamu sein oli enne renoveerimist seisnud mõned aastad sademete käes ja seal oli seina nurk kahjustatud (Joonis 2.18 paremal). Teises uuritud elamus olid mardikad kahjustanud laetalasid ja osa seinapalke (Joonis 2.18 vasakul). Kui kahjustuse põhjus on likvideeritud ja kahjustuse ulatus on talutav, siis ei ole kahjustatud konstruktsiooni osasid vaja välja vahetada, kuid oluline on kahjustatud kohti perioodiliselt kontrollida (sellel eesmärgil oli Joonis 2.18 jäetud kahjustatud nurk viimistlemata).

Mardikakahjustuste tagajärjed:

- väheneb konstruktsiooni kandevõime;
- suureneb (kiireneb) niiskuse imendumine puitu;
- halveneb avatud konstruktsiooni välimus;
- kahjustatud konstruktsioonist eraldub puidusodi kahjurite elutegevuse ajal ja ka pärast kahjurite tõrjumist.



Joonis 2.18 Vasakul kahjustatud laepalk, paremal kahjustatud seinä nurk, mis on renoveerimise käigus puhastatud, kuid jäetud katmata, et vajadusel oleks lihtne edasisi kahjustusi avastada ja tõrjuda.

2.3.3 Niiskuse tõus palkseinas

Enamikul palkmajadel on probleeme mädanikuga esimeses palgireas. See on põhjustatud peamiselt puudulikust hüdroisolatsioonist vundamendi ja palkseina vahel ja madalast soklist. Palkmaja ehitamise ajal pandi palgi ja vundamendi vahele tõenäoliselt kasetoht või tõrvapapp, mis ei ole pikaealised ja mis pärast sajandi möödumist on ära mädanenud. Praegu on palk kokkupuutes niiske vundamendiga, kust niiskus liigub puidu niiskusimavuse tõttu palkidesse. Kahjustatud on eelkõige esimene palgirida ja mõnel hoonel ka teine palgirida. Et kontrollida mädanemise ulatuse seost puidu niiskussisaldusega, tehti valitud majas puidu niiskussisalduse mõõtmised erinevatel kõrgustel.

Mõõtmised

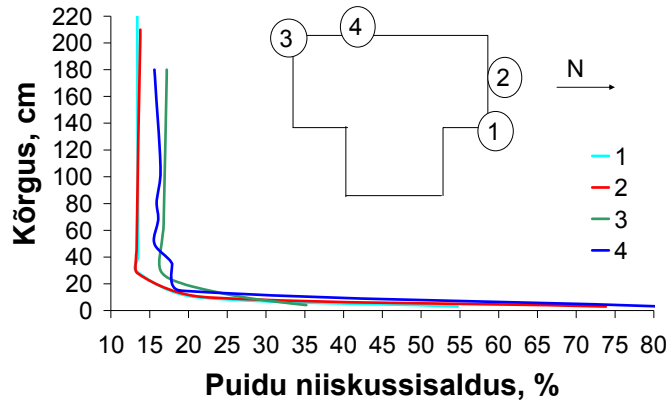
Mõõtmiseks valiti maja, mille ümbritsevas pinnases oli teada pinnasevee kõrge tase ja seega võis eeldada, et ka vundamendi niiskussisaldus on suur. Maja välisseintelt oli eemaldatud puitvooder ja ka täiesti läbi mädanenud otsasein. Palkidelt oli eemaldatud ka läbi pehkinud (pehme) palgi väliskiht.

Mõõtmised tehti niiskusmõõturiga Gann Hygrotest LG 3 koos pinnaanduriga B50 ja torkeanduriga M20. Mõõtmised tehti hoone kahest nurgast ja kahest küljest visuaalselt tuvastatud kahjustuste järgi. Mõõtmisele eelnenud ööpäeval ei olnud sademeid

Tulemused

Vundamendi pinnaniiskus oli suhtelisel skaalal „märg“, mis vastab betooni niiskussisaldusele 5...6% (massiprotsentides). Palkide niiskussisalduse seos kõrgusega vundamendi pinnast on toodud Joonis 2.19. Sellelt on näha, et vundamendist kuni 10 cm kõrgusel ületas puidu niiskussisaldus puidu küllastusniiskuse (~30%). Kõrgusel 10...40 cm väheneb niiskussisaldus kiirelt ja on kõrgemal stabiilselt 13...16 %. Maja põhjaküljel on niiskussisaldus 3 % võrra madalam kui lääneküljel.

Niiskustase seinas langes märgatavalt palkide vahe kohal, samuti langes niiskussisaldus oluliselt palgi radiaalsuunaliste pragude kohal. Maja lõunaküljel oli sedavõrd mädanenud, et tuli 1,5 m kõrguseni lammutada. Ülejäänud majaosas olid oluliselt kahjustunud esimese ja teise rea palgid (Joonis 2.20 paremal) ja kahjustusi leidis ka aknalengide all (Joonis 2.20 vasakul). Aknalengide all oli niiskustase samasugune ülejäänud samal kõrgusel olevate palkidega, tõenäoliselt on seal mädanik põhjustatud perioodiliselt sinna sattuvast sademeteveest.



Joonis 2.19 Puidu niiskussisalduse sõltuvus kõrgusest vundamendi pinnast.



Joonis 2.20 Mädanikkahjustus aknalaua all (vasakul) ja mädanikkahjustused esimestes palgiridades (paremal).

Lähtudes selles töös tehtud mõõtmistest ja vaatlustest, võib öelda, et niiskussisaldused alla 15% on ohutud ja niiskussisalduse puhul üle 20% on tuvastatavad mädanikkahjustused.

Niiskustasemed teistes elamutes

Valikuliselt tehti niiskusmõõtmisi ka teiste uuritud palkelamute välisseintes. Järgnevalt mõned näited niiskustasemetest:

- välisseina esimeses palgis 18 %, kõrgemal kui 1 m 10...15%, ühe akna all 27...37 % (Joonis 2.21 vasakul), teise akna all 14 %;
- välisseina siseküljel alumises palgis 15...18 %, seina keskel 10...11 %;
- välisseina esimese palgi siseküljel 80 %, 50 cm kõrgusel 23 %, 1 m kõrgusel 30 %, elamu otsaseina siseküljel ühtlaselt 16 %;
- esimese palgi alumise poole siseküljel 40...50 %, kõrgemal 12..14 % (Joonis 2.21).

Kasutades vundamendi ja palkseina vahel mitte kauakestvaid materjale (kasetoht, tõrvapapp) ja madalat soklit, tuleb arvestada alumise palkseina mädanikkahjustuse võimalikkusega.



Joonis 2.21 Tugevate mädanikkahjustustega välissein (vasakul) ja kahjustatud alumise poolega esimese palgi sisekülg (paremal).

2.4 Siseseinte lahendused, tehniline seisund ja kahjustused

Palkelamute siseseinad olid enamasti tahutud palkidest (viimistletud sarnaselt ülejäänud seintega – värvitud, tapeeditud vms). Siseseinad olid enamasti kandvad, seega oli oluline vältida nende vajumist. Renoveerimise käigus oli mitmes elamus siseseinte asukohtasid muudetud või ukseavasid suurendatud, muudatustest tulenevaid kandevõime probleeme ei täheldatud. Siseseintel esines mädanikkahjustusi vaid üksikutel juhtudel (Joonis 2.22 paremal). Probleemiks olid ka soojamüüri või ahjuga piirnevad siseseinte kiviosad, millesse olid seinaosade erineva soojuspaisumise tõttu tekkinud praod (Joonis 2.22 vasakul). Palkelamu elanikud siseseinte helipidavust probleemiks ei pidanud, kuna tegemist oli ühe pere elanikega.



Joonis 2.22 Pragunenud kivisein ahju kõrval (vasakul). Mädanikkahjustusega palkvaheseina alumine palk (paremal).

2.4.1 Märjad ja niisked ruumid

Niisked ja märjad ruumid on ruumid, kus kasutatakse normaaltingimustest enam vett:

- Märjad ruumid on vannituba, duširuum, sauna leili- ja pesuruum:
 - o kõrge siseõhu suhteline niiskus,
 - o vee sattumine põrandale ja seintele tavaline,
- Niisked ruumid on WC ja majapidamisruumid:
 - o õhu suhteline niiskus võib tõusta hetkeliselt suureks,
 - o põrandale võib sattuda hetkeliselt vett.

Pooltes uuritud elamutes (enamasti renoveeritud elamud) oli olemas pesemiseks duširuum. Kahes elamus oli duširuum ja WC ehitatud elamule juurdeehitusena algsest välisseinast väljapoole. Ka teistes elamutes piirnesid märjad ruumid välisseinaga. Niiskete ja märgade ruumide seinad olid enamasti viimistletud kipsplaadiga, kaetud veetõkkega ja keraamiliste plaatidega või värvitud. Põrandad kaetud veetõkkega ja keraamilise plaadiga. Ühes elamus oli kasutusel kompaktne dušikabiin ja vann (Joonis 2.23 paremal). Ühes suvemajas, mis täitis ka talu sauna ülesannet, oli osa sauna pesuruumi seinu kaetud vertikaalse puitlaudisega (Joonis 2.23 vasakul).



Joonis 2.23 Sauna pesuruum suvemajas (vasakul) ja dušikabiin koos mullivanniga renoveeritud elamus (paremal).

Visuaalselt tuvastatavaid olulisi niiskuskahjustusi ei leitud ning pooltes niisketes ruumides tehtud niiskumõõtmistega ei leitud samuti kõrge pinnaniiskusega piirkondi.

2.5 Katused

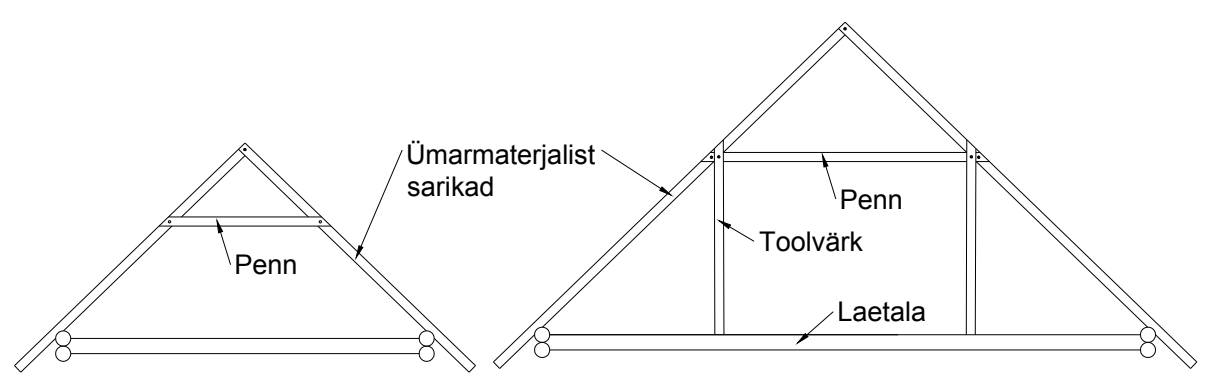
2.5.1 Katuste konstruktsioonid ja tarindus

Uuritud elamud olid eranditult kaldkatustega, kaldega $45 \pm 10^\circ$. Algselt laastukatusena elamud oli enamasti kaetud eterniidiga (esialgne laastukatus jäeti alles, Joonis 2.25 vasakul). Vanemad rookatused olid vahetatud uute vastu (Joonis 2.25 paremal), kuid ühes elamus oli ka rookatus kaetud eterniidiga.

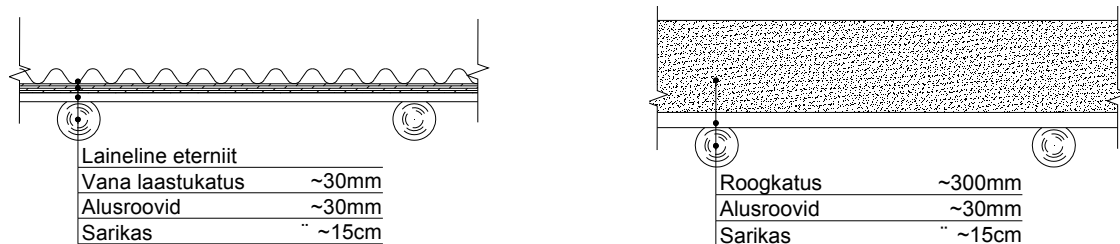
Sarikateks oli enamasti ümarmaterjal läbimõõduga ~ 150 mm, roovideks olid tahutud latid või lauad paksusega 30-40 mm sammuga ~ 30 cm. Sarikad toetuvad müürlatile või ülemisele palgile. Penn oli samuti ümarmaterjalist ja sarikatega ühendatud enamasti puitnaaglitega. Kitsamatel hoonetel (laius ~ 6 m) toetas sarikaid keskelt ainult penn, laiematel hoonetel (laius üle 10 m) olid sarikaid toetatud toolvärgiga (Joonis 2.24).

Renoveeritud katustega elamutel olid sarikad 50 x 150...200 mm prussidest, sarikate vahel oli mineraalvillast soojustus (oli välja ehitatud teine korrus ja seetõttu tegemist katuslaega).

Uus palkelamu katus oli kaetud katusekividega, mille all järjest õhuvahe, aluskate, õhuvahe, tuuletõkkeplaat, soojustus, õhu- ja aurutõke, soojustus ja siseviimistlusplaat. Kahel põhjalikult renoveeritud elamul oli sarnane katusekonstruktsioon: katusekatteks oli vastavalt eterniit ja uuendatud laastukatus.



Joonis 2.24 Katuse kandekonstruktsiooni põhimõttelised skeemid (M 1:150): sarikaid toetab penn (vasakul), sarikaid toetab penn ja toolvärk (paremal).



Joonis 2.25 Eterniidiga kaetud laastukatus (vasakul) ja roogkatus (paremal) (M 1:25).

2.5.2 Katuste tehniline seisund ja kahjustused

Lekkiv katusekate

Katuse peamine ülesanne on kaitsta hoonet sademete eest. Lekkiv katusekate on üks katusekahjustuste peamine põhjus. Katuse lekkimise peamised põhjused on:

- katusekatte vananemine;
- katuse puudulik hooldus (sammal, puulehed katusel);
- katusekatte puudulik kinnitus;
- katusekatte aluse läbivajumised;
- puudulikud ääre-, serva- ja katteplekid;
- ebatihedused katusekattest läbiviikude juures (korsten, antennid, ventilatsioonilõõr vms.).

Väikesed lekkekohad võivad põhjustada olulisi niiskuskahjustusi. Väikesest lekkekohast imbub iga vihmaga katusetarindisse vett. Veekogused on väikesed, mida ei pruugi ruumi poolt märgata. Samas on veekogused piisavad, et luua keskkond mädanik- või hallitussente arenguks.

Lekkiv katus esines ühes elamus, mis oli mitu aastat omanikuta seisnud ja mida hakati renoveerima. Püsivalt eksploatatsioonis olevate elamute (sh. suvilate) katuseid oli perioodiliselt parandatud (ajutine, kuid vajalik paikamine Joonis 2.26 paremal) või vahetatud. Vanadele laastukatustele (või roogkatustele) oli peale löödud eterniit, kuna viimase paigaldamine oli kiirem ja odavam kui vana katuse vahetamine (Joonis 2.26). Samas soovisid mitmed omanikud vahetada eterniitkatusekatte tagasi algse laastukatuse vastu.

Viiendikus elamutest esines probleeme korstnate läbiviikudega laest ja katusest. Korstna läbiviik oli enamikul elamutel katuseharjal, mis oluliselt lihtsustab läbiviikude konstruktsiooni (ei ole vaja sadevett korstnast mööda juhtida). Kahes elamus oli korsten laotud viltu, et korstna, mis ei asu elamu tsentris, läbiviik katusest asuks harja peal (Joonis 2.27 paremal). Sellest hoolimata esines väiksemaid katusekonstruktsioonide niiskuskahjustusi (Joonis 2.27 vasakul), kuna osal korstnatel puudus krae.



Joonis 2.26 Laastukatus on kaetud eterniidiga (vasakul). Eterniitkatuse ajutine paikamine ei pruugi tagada veepidavust (paremal).



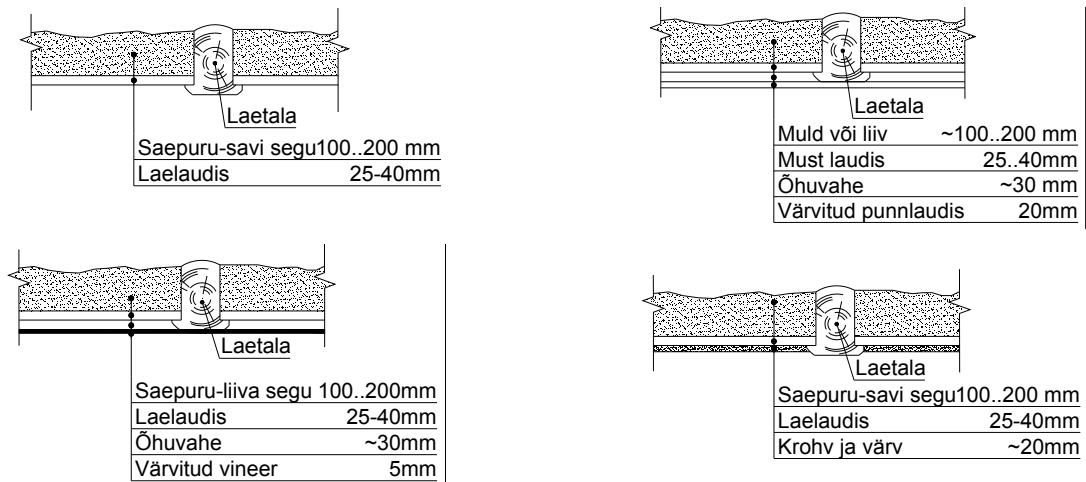
Joonis 2.27 Vasakul mädanikkahjustused korstna ümber. Paremal spetsiaalselt kaldu laotud korsten, et läbiviik katusest jääks harja peale, kus veeprobleemid on minimaalsed.

2.6 Pööningu vahelaed

2.6.1 Lagede konstruktsioon ja tarindus

Kandvaks osaks olid külgedelt (ja alt) tahutud laetalad, vt. Joonis 2.28. Laelaudis oli löödud palkide alaossa tehtud servadele. Osa majades oli laudis löödud talade peale, lagesid viimistletud värvitud krohviga (krohv kantud krohvimatile), värvitud punnlauast topeltlaega või värvitud vineeriga. Soojustus oli keskmiselt 20 cm paksune saepuru-lubja segu või liiv-lubi-segu.

Enamikus renoveeritud elamutes oli vana laelaudis puhastatud või tehtud uus puitlaudis. Renoveerimise käigus oli lae peale soojustuseks lisatud (või asendatud) kergkruusa või mineraalvilla. Elamutes, kus oli välja ehitatud pööningukorrus, oli katuslagi soojustatud 100...150 mm paksuse mineraalvilla kihiga sarikate vahel ja alla oli löödud värvitud/tapeeditud kipsplaat või õhuke punnlaudis. Paaris renoveeritud elamus oli soojustusvilla peal korrektselt paigaldatud tuuletõke ning allpool soojustust asus õhu- ja aurutõke.



Joonis 2.28 Uuritud elamute olemasolevaid pööningu vahelae lahendusi (M 1:25).

2.6.2 Pööningu vahelagede tehniline seisund ja kahjustused

Elamute ehitamise ajal oli vajadus ja võimalus pööningu vahelae soojustamiseks väiksem kui praegu. Kunagistes rehielamutes peeti ka loomi ning heinu hoiti pööningul, mis tagas lae suurema soojustakistuse. Praegu on heinad pööningult eemaldatud ja sellega ka soojustustakistus väiksem. Elamu ehitamise ajal lae peale lisatud soojustus (liiv, saepuru, linaluu, heinad ja nende segud savi või lubjaga) ei taga tänapäevastele vajadustele vastavat soojatakindust, kuna soojustuskahi paksus on õhuke (10...20 cm) ja soojuseri juhtivus kõrgem kui praegu levinud soojustusmaterjalidel.

Elamutes, kus soojustuseks on saepuru, hein, ainult mineraalvill või muu tuvastamata sodi, oli lae õhupidavus väike (Joonis 2.29 vasakul on saepuruga soojustatud lagi, millelt olid eemaldatud heinad). Kõige väiksema õhupidavusega olid õhupidavuse mõõtmisel kattelaudisega laed. Väike õhupidavus suurendab oluliselt küttekulusid. Lagede viimistlemiseks kasutatud vineer või krohv suurendas oluliselt lae õhupidavust. Algsetest soojustusmaterjalidest oli mõnevõrra parema õhupidavusega savi(-linaluu segu).



Joonis 2.29 Lae saepurusoostus (varem olid seal ka heinad, vasakul). Mullaga soojustatud lagi, mis on pinnalt mädanenud (vasakul).

Kui pööningu vahelae soojustuseks on liiv või muld ja esineb katuse läbijookse, on vahelae soojustus püsivalt või pikka aega märg. Esines elamuid, mille mullaga soojustatud pööningu vahelakke oli kogunenud niiskus ja seetõttu olid lae puitosad mädanikukahjustustega (Joonis 2.29 paremal). Sarnased probleemid võivad ilmneda ka liivaga soojustatud lagedel.

Puistematerjaliga (saepuru, liiv ja nende segud) soojustatud ühekordsetest laudlagedest pudises soojustusmaterjal laudade vahele kuivanud pragude kaudu tuppa. Selle sodi pidev koristamine kulutab elanike aega ja on ebamugav. Probleem oli paljudes elamutes lahendatud

punnlaudadest topeltlae või vineeriga. Kasulikum oleks selline soojustus asendada või lisada soojustuse alla õhutõke.

Paariselamus olid korstna läbiviigud pööningu vahelaest halvasti tihendatud, millega kaasnevad suured soojuskadod korstna ümbert. Lisaks tekitavad ebatihedalt või valesti tihendatud korstnaümbrused tuleohutusega seotud probleeme (vt. peatükk 2.8).

2.7 Avatäidete lahendused ning tehniline seisund ja kahjustused

Ehituse ajal paigaldatud akendel ja ustel on nii sooja- kui ka õhupidavus väike. Vanades elamutes leidub kõige enam kuue ruudu ja kahe klaasiga kahepoolseid puitaknaid (Joonis 2.30).

Uksed olid vahetatud ainult mõnes põhjalikult renoveeritud elamus uute soojustatud puituste vastu. Enamasti olid kasutuses vanad paneeluksed või lihtsad massiivpuidust uksed. Uks ise oli enamasti piisava õhutihedusega, kuid uste ja lengi vahel puudusid tihendid (seda isegi osal uutel ustel). Samuti olid puudulikult tihendatud ukselempi ja tenderpostide vahed, osa elamutes oli seda tehtud montaaživahuga.

Palkelamu omanikest olid aknaid vahetanud vähesed. Aknaid olid vahetanud elanikud, kes olid elamu täiesti ära renoveerinud (sh. soojustanud). Olemasolevaid aknaid oli vahetatud nii uute plast- kui ka puitakende vastu. Akende vahele olid puidu kuivades tekkinud kuni 5 mm laiused praod, mis olid enamasti õhupidavuse tõstmiseks teibitud, kuid ka teip ei sulgenud suuri pragusid akende vahel täielikult. Teibitud akende avamine oli raskendatud, mis võib takistada ruumide piisavat tuulutamist soojal ajal.



Joonis 2.30 Vanad levinuimad aknad: kuue ruuduga (vasakul) ja kahe ruuduga ning õhuaknaga (keskel). Uus puitraamides aken (paremal).

2.8 Tuleohutus

2.8.1 Üldised tuleohutusnõuded maaelamutele

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

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

Selles uuringus käsitletud ühe-kahekorruselised palkeramud kuuluvad tuleohutusklassi „tuldkartev“ (tähis TP3), mille kandekonstruktsioonile ei seata nõudeid kandekonstruktsiooni tulepüsivuse suhtes, v.a. keldri konstruktsioonid, kus nõutakse tulevastupidavust ühe tunni jooksul. Tule ja suitsu levimise takistamiseks, evakuatsiooni tagamiseks, päästetööde kergendamiseks ning varakahjude piiramiseks peab hoone olema jaotatud tuletõkkeseptsioonideks. Omaette tuletõkkeseptsioonid moodustatakse hoone osadest, mis on üksteisest oluliselt erineva kasutusotstarbe või põlemiskoormusega. Lisaks võib tuletõkkeseptsiooni moodustamise vajadus tekkida korruste arvust või pindala suurusest tulenevalt. Maaelamutes võivad sellisteks erineva kasutusotstarbega ruumideks olla:

- katlaruumid, kusjuures katlaruumis asuvate kütteseadmete koguvõimsus on üle 25 kW;
- küttematerjali ladu;
- garaaž;
- suurema põlemiskoormusega ruumid, näiteks heinakuivati või ladu.

Et takistada või piirata tule ja suitsu levikut erinevate tuletõkkeseptsioonide vahel, eraldatakse need üksteisest tuletõkkekonstruktsioonidega. Tuletõkkeseptsioonide vahelised tarindid ja pööningu vahelae konstruktsioonid peavad takistama tule ja suitsu levikut poole tunni jooksul.

Lisaks tuleb takistada tulelevikut ühelt hoonelt teisele. Seda tagatakse peamiselt hoonete vahelise kuja ≥ 8 m või tulemüüriga.

Tulekahju tagajärgede suurus ja tulekahju tekkimise võimalus ei sõltu sellest, kui kaugel talust asub tuletõrjekomando ja kui kiiresti päästjad jõuavad õnnetuspaigale, vaid eelkõige sellest, kui varajases staadiumis tulekahju avastatakse ja kui tuleohutu on hoone. Tulekahju võimalikult varajaseks avastamiseks peab vähemalt elamu või korteri ühes ruumis olema autonoomne tulekahjusignalisatsioonandur. Soovitav on, et tulekahjusignalisatsioonandur paikneks igas toas. Iga hoonestatud kinnistu peab olema varustatud tulekahju kustutamiseks vajaliku tuletõrjeveega. Hajaasustuses olevate maaelamute puhul saab seda tagada tuletõrje-veehoidla või -mahutiga (mahtuvusega mitte alla 50 m) või loodusliku veekogu või jõe abil, millele on aastaringne ligipääs. Hoonesisene esmane tulekustutus on võimalik lahendada pulberkustutite või tulekustutusvaipadega.

Lisaks tuleb erilist tähelepanu pöörata otsese põlemisprotsessiga seotud hooneosadele: korsten, ahi, pliit, kamin jne. Küttekolle ja suitsulõõr peavad moodustama koos tegutseva terviku. Korstna lahendus peab vastama küttekolde võimsusele. Hoone sees asuva suitsulõõri seinaga vaba välispinna temperatuur ei tohi lõõriga ühendatud küttekolde pideva maksimaalvõimsusega kütmise korral olla üle 80 °C. Küttekoldeid ja suitsulõõre tuleb põletamiseks vajalike tingimuste tagamiseks ja tahma süttimise vältimiseks puhastada.

Tuleohutusnõuete kohaselt on reeglits, et korsten ulatuks kas vähemalt 0,8 m katuse pinnast kõrgemale või siis ülespoole mõttelist joont, mis ühendab katuse kõrgeimast kohast 0,8 m kõrgemal asuva punkti ja räästa püsttasandis katuse kõrgeima koha kõrgusel asuva punkti. Järsukaldelise katusega hoonel, kui katuse kalle on üle 30°, võib korstna kõrguse määrata nii, et korstna pea ja katusetahu lühim kaugus on vähemalt 1,0 m. Kergsüttiva katusekatte korral tuleb korstna pea varustada sädemepüüduriga või teha korstna üleulatus katusest suurem.

2.8.2 Uuritud elamute tuleohutuse olukord

Üldised ehituslikud tuleohutusnõuded olid enamikul juhtudel tagatud. Siiski esines üksikuid puudusi ning ka elanikepoolset hooletust, näiteks küttekehade ümber kuhjatakse süttivaid materjale, tihti ei jäeta suitsulõõri sisepinna ja puidust seina- või laepinna vahele piisavat tulekindlast materjalidest vahekihti ning see võib põhjustada tulekahju tekkimist hoones.

Evakuatsiooniteed olid kõikides elamutes piisava laiusega ehk ≤ 90 cm. Kuna tegemist oli ühekordsete hoonetega, võib evakueeruda ka akende kaudu.

Suitsuandureid oli uuritud elamutes vähe. Vabariigi Valitsuse määruse nr. 315 „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“ järgi peavad need olema paigaldatud kõikides elumajades, ka nendes, mis on ehitatud enne nimetatud määruse kehtima hakkamist.

Uuritud maamajades on levinud puitpindade eksponeerimine, vt. Joonis 2.31. Seetõttu on süttivat ja põlevat materjali nendes elamutes palju. Palkseinte puhul on tulekahjuolukorras tegemist ühemõõtmelise söestumisega kiirusega 0,65 mm/min. Süttimine võib aset leida leegist või suurest temperatuurist puidu pinnal (400°C). Söestumissügavusel üle 25 mm muutub edasine söestumine veelgi aeglasemaks, kuna söekiht on tavalisest puidust 6 korda halvema soojajuhtivusega ning kaitseb puitu edasise söestumise eest.



Joonis 2.31 Vana palkseina (vasakul) ja laudvoodri (paremal) eksponeerimine.

Sageli oli probleemiks liiga väike vahemaa ahju või lõõri ja puitpinna vahel. Kaugus korstna suitsulõõri sisepinnast kuni süttiva seina- või laepinnani peab olema vähemalt 25 cm ja see vahe peab olema täidetud kuumakindla mittesüttiva materjaliga. Uuritavates elamutes esines üksikuid eksimusi selle nõude vastu, vt Joonis 2.32, Joonis 2.33.



Joonis 2.32 Puitpinna ja ahju vahele ei ole tehtud piisavat mittepõlevast materjalist vahekihti.



Joonis 2.33 Korstna ümber ja ahju taga on betoonist krae.

Suurimad tuleohutusprobleemid olid põõningul:

- palju süttivaid materjale: hein, makulatuur, vana mööbel jne. (Joonis 2.34 vasakul);
- põlevmaterjalid olid korstnale liiga lähedal (Joonis 2.34 vasakul);
- tihti olid põõningute käiguteed halvasti läbitavad;
- korsten ise polnud suitsutihe ja korstna ümbrus polnud tulekindlate materjalidega isoleeritud.



Joonis 2.34 Tuleohtlik olukord põõningul: heinad on korstna lähedal (vasakul) ja katussarikad on vastu korstnat (paremal).



Joonis 2.35 Korstnakivide vahelised vuugid ei ole tihedad (vasakul). Läbi korstna on tunginud pigi (paremal).

Paljudel juhtudel oli tegemist ühekorruselise elamuga, millel oli kaldkatuse all pööning. Sellisel juhul on umbes pool korstna pikkusest välisõhutemperatuuri käes. Korstna pinnatemperatuur on madal, mis jahutab suitsugaase, ning mittetäielikul põlemisel tekkiv tahm, jahtunud suitsugaasid ja neis olev niiskus kondenseeruvad korstnalõõri seintele. Tahma kogunemine korstnasse võib olla isegi nii ulatuslik, et võib tekkida korstna ummistus. Tahma teket ja kogunemist lõõri sisepinnale soodustab ka mittetäielik põlemine, näiteks kui köetakse poolsuletud siibriga või takistatud õhu juurdevooluga. See takistab põlenud gaaside äravoolu ja põlemiseks vajaliku hapniku juurdevoolu.

Ka siseruumides esines põlevmaterjali ja asjade kuhjamist soojamüüri või ahju ümbrusesse (vt. Joonis 2.36 vasakul). Selline tegevus on riskantne ning suurendab tuleohtu majas. Ahju, pliidi ja kamina esine puitpõrand tuleb võimalike sädemete ja ahjust väljakukkuvate põlevate tukkide eest katta metall- või betoonplaadiga ahjusuu ees.



Joonis 2.36 Potentsiaalne oht tulekahju tekkeks on küttekeha peale ja ümber kuhjatud asjad (vasakul). Puitpõrand tuleb kaitsta võimalike sädemete eest metall- või betoonplaadiga ahjusuu ees.

Vastavalt Tuleohutuse järelevalve aastaraamatule 2008 on hukkunudega tuleõnnetused toimunud valdavalt elumajades (78% kõigist tuleõnnetustest). 50% tulekahjudest on leidnud aset kivist eluhoonetes. 31% moodustavad puitelamute tulekahjud. Samuti näitab statistika, et ligi pooled hukkunudega tuleõnnetused on toimunud puitmajades. Päästeameti andmetel oli suitsuandur paigaldatud ning rakendus tööle vähestel juhtudel. Tuleõnnetuste põhjused on valdavatel juhtudel hooletus lahtise tule kasutamisel või suitsetamisel.

3 Elamute sisetemperatuur ja suhteline niiskus

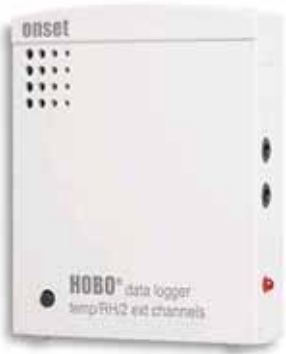
Et hinnata elamute sisekliimat ja saada lähteandmeid energiaarvutuste jaoks, viidi sisetemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmised läbi kahe aasta pikkuse perioodi (september 2008 – august 2010) jooksul kokku 29 elamus.

3.1 Meetodid

3.1.1 Sisekliimaparameetrite mõõtmine

Siseruumide õhutemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks kasutati Hobo U-12 011 andureid-andmesalvesteid (vt. Tabel 3.1 seadmete mõõteala ja mõõtetäpsus).

Tabel 3.1 Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteseadmete andmed

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

Temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõdeti peamiselt magamistoast (põhiliselt kaheinimese magamistoast) 0,6...1,5 m kõrguselt (vt. Joonis 3.1 vasakul). Andurid paigaldati vaheseinale või mööbliesemele, eemale välisseinast ja otsesest soojusallikast (ahi, televiisor, valgustus jne). Sisekliima mõõtetulemused salvestati ühetunnise intervalliga.

Lisaks õhutemperatuurile mõõdeti ka potentsiaalsete külmasildade pinnatemperatuurid termistor-tüüpi temperatuurianduriga ja tulemused salvestati HOB0 andmesalvestiga (vt. Joonis 3.1 paremal).



Joonis 3.1 Siseõhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteandur vaheseinal (vasak) ja seinapinnatemperatuuri mõõteandur (paremal). Mõõtekoht on tähistatud punase ringiga.

3.1.2 Sisekliima hindamiskriteeriumid

Soovitusi ja nõudeid eluruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kohta võib leida nii erinevatest teaduslikest uuringutest kui ka määrustest või standarditest.

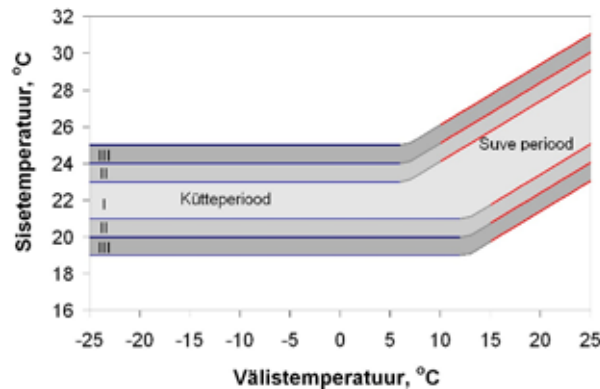
Sisetemperatuur on peamine soojusliku mugavuse indikaator. Kerge kehalise aktiivsuse korral on neutraalne ruumitemperatuur talvel $+22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde ning aitama kaasa tervisliku ja nõuetekohase sisekliima tekkimisele ja püsimisele. Kõetavas eluruumis ei tohi siseõhu temperatuur inimeste pikemaajalisel ruumis viibimisel olla alla $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ruumitemperatuur üle $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ on seostatud haige hoone sündroomiga. Liiga kõrge sisetemperatuur suurendab hoonete kütteenergiakulu: tuntud rusikareegli kohaselt mõjutab keskmise sisetemperatuuri muutus $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ võrra kütteenergiakulu $\sim 5\%$.

Olenevalt ruumi füsioloogiliselt optimaalse soojusliku keskkonna tagamise tingimustest ja oodatavast soojusliku mugavuse kvaliteedist võib, lähtudes soojuslikust mugavusest, jagada sisekliima nelja klassi, vt. Tabel 3.2. Madalamate sisekliimaklasside korral on sisekliimaga rahulolematute elanike hulk (PPD, %) suurem, kuna elanikud hindavad (PMV) ruume liiga jahedaks või liiga soojaks. PMV-PPD indeks võtab arvesse kõigi kuue soojusliku parameetri (õhutemperatuur, keskmine kiirguslik temperatuur, õhu liikumise kiirus, õhuniiskus, riietuse soojuspidavus ja kehaline aktiivsus) mõju ning seda võib otseselt kasutada soojusliku mugavuse kriteeriumina.

Kombineerides sisekliima projekteerimiskriteeriumi (CR 1752, 1998) ja hoonete energia-tõhususe projekteerimise lähteparameetrite standardi (EVS-EN 15251:2007, asendab endist sisekliima standardit EVS 839:2003) piirsuursusi, võib hoonetes, kus ei ole mehaanilist jahutust, on võimalik avada aknaid ja valida riietatust, erinevate sisekliimaklasside temperatuuride piirsuursused esitada Joonis 3.2 kujul. Käesolevas uuringus on ruumitemperatuuri hindamisel kasutatud madalaima sisekliima klassi (III) piirsuursusi: talvel $+19\dots 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabel 3.2 Sisekliima klasside kirjeldus (EVS-EN-15251)

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



Joonis 3.2 Sisetemperatuuri kriteeriumid kolmes erinevas sisekliima klassis

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

Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr. 38) kohaselt peab õhuniiskus eluruumis olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi. Sterling jt. (1985) on optimaalseks suhtelise niiskuse alaks soovitanud vahemikku RH 40%...60%. Sama suhtelise niiskuse vahemik on nimetatud ka eluruumi siseõhu optimaalseks suhtelise niiskuse vahemikuks VV määruse nr. 38 kohaselt. See soovitus määruuses on eriti ebaõnnestunud ja vääriti mõistmist võimaldav. Arvestades hoonete toimimist talvel, on selline siseõhu suhtelise niiskuse tase selgelt liiga kõrge. Talvel siseõhu suhtelise niiskuse 40-60% korral võib näiteks suure soojusjuhtivusega hoonepiiretel oodata juba tõsisid niiskuskahjustusi. Talvel on piirdetarindite pinnatemperatuur õhutemperatuurist madalam ja seetõttu on suhteline niiskus kõrgem.

Tolmulestad võivad põhjustada allergiasoodumusega isiku tundlikkuse suurenemist ja allergiahaiguse, eelkõige allergilise riniidi ning astma kujunemist. Allergeeniks on tolmu- ja seeneosakesed, mida nad eritavad väljaheite ja eralduvate nahaosakestega. Tolmu- ja seeneosakestele sobiv suhteline niiskus toatemperatuuril on RH >45 % ... 50%. Paljunemiseks on lestadele vaja suhteliselt kõrgem õhuniiskus.

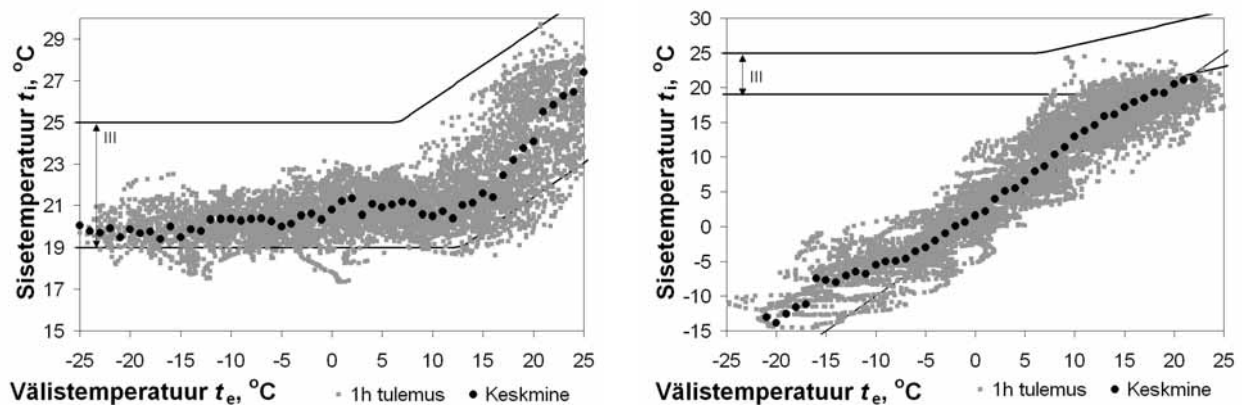
Suhtelise niiskuse alumine piir on erinevate uuringute kohaselt RH 20...25%. Eesti vana sisekliima standardi (EVS 839:2003) kohaselt on ruumiõhu suhtelise niiskuse normväärtus talvel 25...45% ja suvel 30...70%. EVS-EN 15251:2007 standard annab madalaimas sisekliima klassis suhtelise niiskuse juhtarvaks niisutusele 20% ja kuivatusele 70%. Selles uuringus on ruumiõhu suhtelise niiskuse hindamisel kasutatud piirsuursi talvel köetavates ruumides 20...45% ja suvel 30...70%.

Tabel 3.4 Paljuaastase keskmise välisõhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse võrdlus suve- ja talvekuude kaupa

	Juuni	Suvi Juuli	August	Detsember	Talv Jaanuar	Veebruar
Temperatuur t_e , °C						
2008 - 2009	13,5...14,4	13,9...17,7	15,1...17,3	-0,8...+2,4	-1,1...-3,2	-2,2...-5,0
2009 - 2010	13,7...15,6	21,1...23,0	17,6...18,8	-0,6...-4,9	-8,6...-14,0	-6,6...-8,5
Paljuaastane keskmine	13,3...15,6	15,9...17,2	14,6...16,9	-4,6...+0,3	-2,4...-7,6	-3,3...-7,4
Suhteline niiskus RH_e , %						
2008 - 2009	74...77	67...81	77...82	87...94	86...92	86...90
2009 - 2010	72...78	68...80	79...84	87...91	86...91	83...93
Paljuaastane keskmine	70...82	74...83	78...83	83...90	84...88	83...87

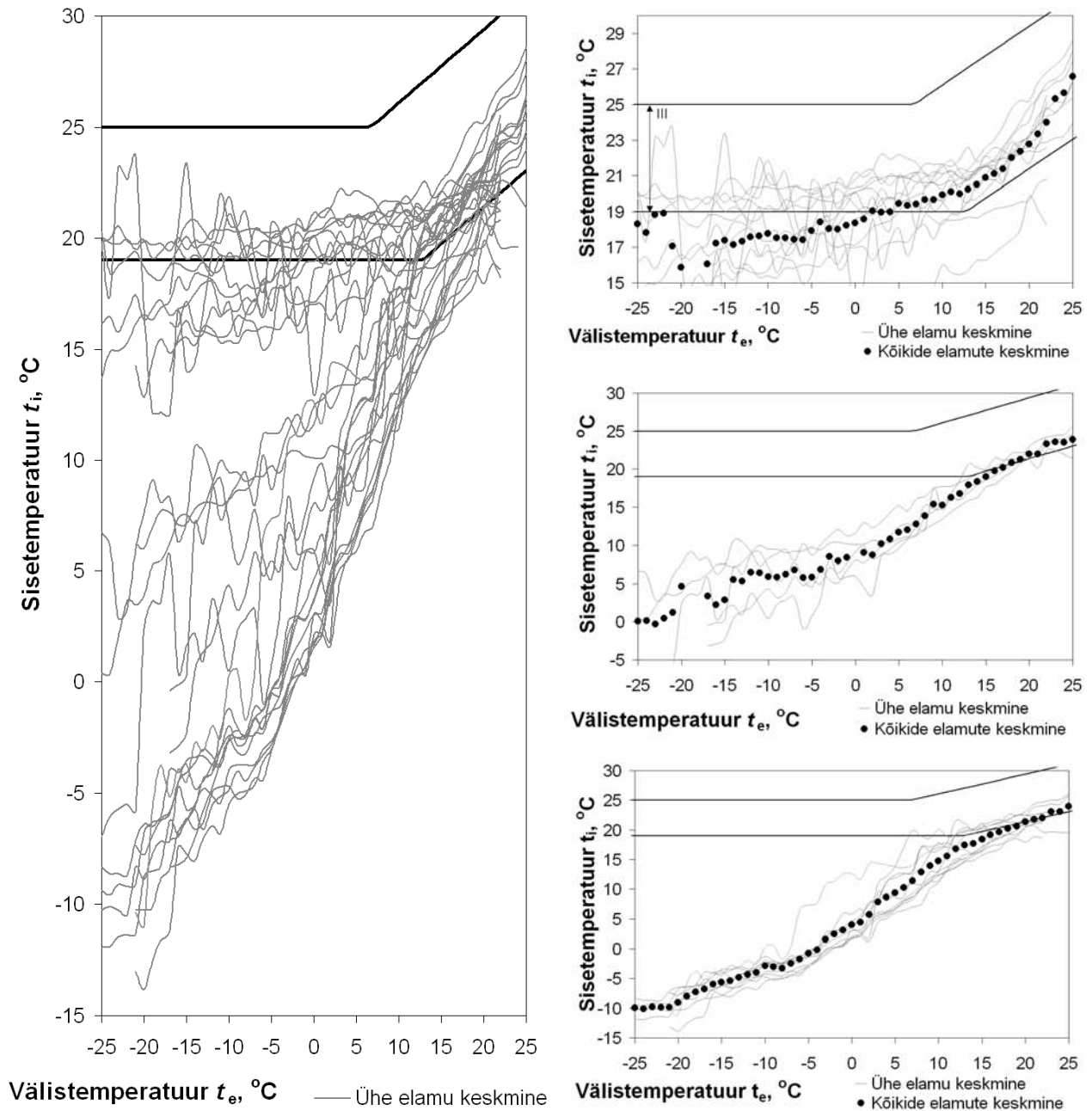
3.2.2 Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist

Elamu sisekliima ja energiakulutus sõltub alati suuremal või vähemal määral väliskliimast. Iga elamu sisetemperatuuri mõõtetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile (vt Joonis 3.4). Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine sisetemperatuur, mis loeti esindama selle elamu keskmist sisetemperatuuri.



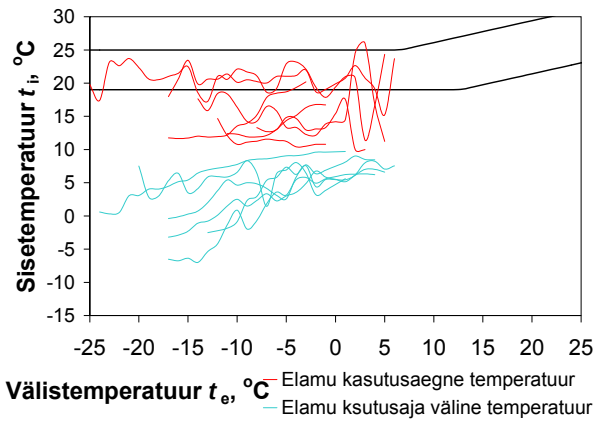
Joonis 3.4 Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist talvise kasutusega elamus (vasakul) ja talvise kasutusega elamus (paremal).

Kõikide mõõdetud elamute keskmised sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 3.5 vasakul. Lisaks on joonisel esitatud kõikide talvel püsivalt köetud (paremal ülal) ja kütmata (paremal all) elamute sisetemperatuuride sõltuvused välistemperatuurist. Köetavate hoonete joonisel (vasak ülal) on näha elamu, mille keskmine sisetemperatuur on tavalisest märgatavalt madalam. Temperatuur oli madal, sest elanik ei pidanud vajalikuks tuba soojemaks kütta. Köetavate hoonete keskmine sisetemperatuur jääb talvel pooltel uuritud elamutest madalaima sisekliima klassi alumise piiri lähedale. See on tingitud osaliselt elanike madalamatest nõudmistest sisetemperatuurile (lepivad jahedamate tubadega) ja osaliselt asjaolust, et ahje ei saa kütta püsivalt (ahju küttevõimsus, tuleohutus). Kütmata elamute sisekliima on talvel otseses sõltuvuses väliskliimast.

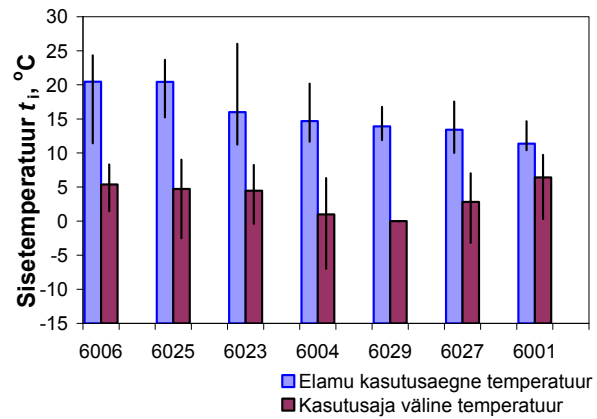


Joonis 3.5 Elamute keskmise sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vaheline sõltuvus kõikides elamutes (vasakul), talvel püsivalt kütetud elamutes (paremal ülal) ja talvel püsivalt kütmata elamutes (paremal all).

Perioodiliselt kütavate elamute sisekliimat võib vaadelda eraldi kahel perioodil: kasutusperiood (ehk kütmisperiood) ja mittekasutusperiood. Andmeid on vaadeldud talvekuude kaupa, tinglikuks sisetemperatuuri piiriks perioodide vahel on valitud +10 °C ja vastavad sise- ja välistemperatuuride sõltuvused on toodud Joonis 3.6-l. Jooniselt võib eristada elamuid, mille kasutusaegne sisetemperatuur on ~+20 °C kraadi ümber ja elamuid, mille kasutusaegne temperatuur on +12...+15 °C kraadi ümber. Kasutusvälisel perioodil püütakse enamikus elamutes hoida temperatuur üle ±0 °C (vältimaks veetorustike külmumist).

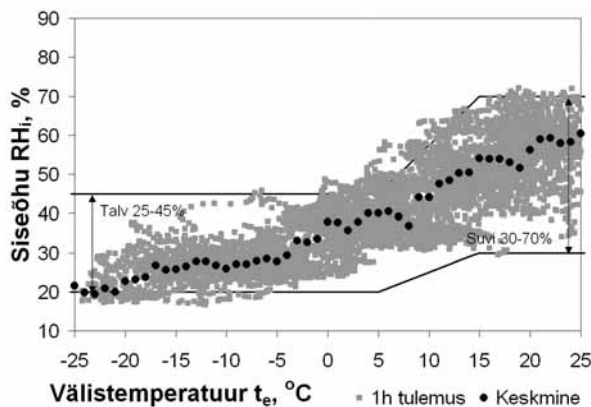


Joonis 3.6 Sisitemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist perioodiliselt köetavate elamute kasutusajal ja kasutusvälisel perioodil.

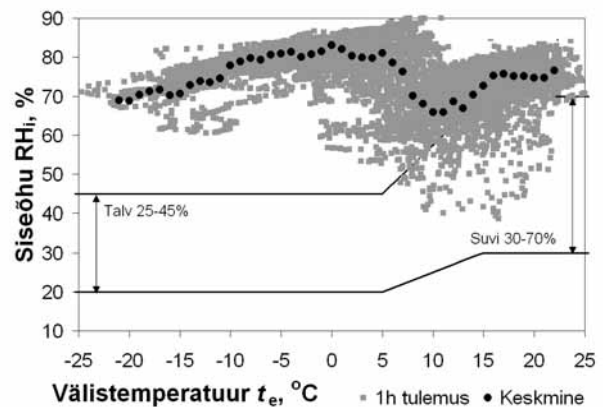


3.2.3 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist

Iga elamu siseõhu suhtelise niiskuse mõõdetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine siseõhu suhteline niiskus, mis loeti esindama selle elamu keskmist õhuniiskuse taset (vt Joonis 3.7).

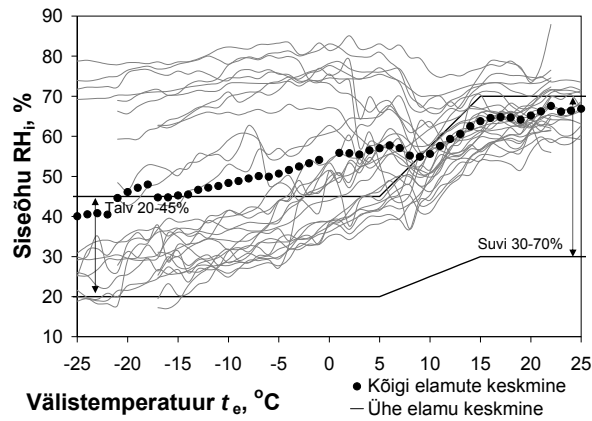


Joonis 3.7 Sisitemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist talvise kasutusega elamus (vasakul) ja talvise kasutusega elamus (paremal).

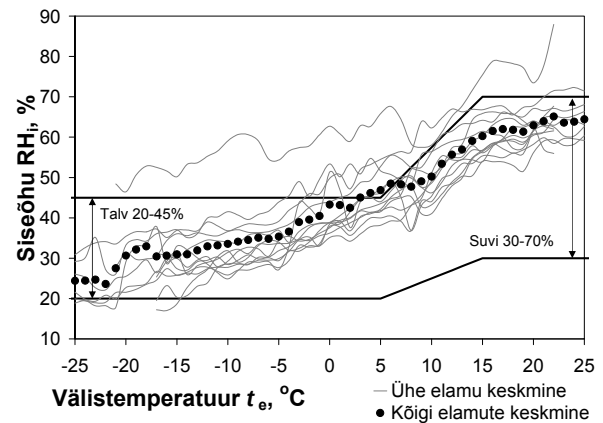


Kõikide mõõdetud elamute keskmised siseõhu suhtelise niiskuse ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused vt. Joonis 3.8 vasakul ülal. Lisaks on välja toodud erinevate kasutusaktiivsuse ja kütteviisi mõju siseõhu suhtelisele niiskusele. Talvel köetavates elamutes (Joonis 3.8 paremal ülal) on suhteline niiskus enamikus elamutes soovitusliku piirsuuruse piires. Erandiks on keskmisest oluliselt madalama sisitemperatuuriga elamu, kus siseõhu suhteline niiskus ületab kogu aasta jooksul suhtelise niiskuse ülempiiri. Perioodiliselt köetavates ja kasutatavates elamutes on siseõhu suhteline niiskus kõrgem kui püsiva kasutusega elamutes. Oluliselt erinevad talvise mittekasutusega elamud, kus keskmine siseõhu suhteline niiskus on talvel püsivalt kõrge.

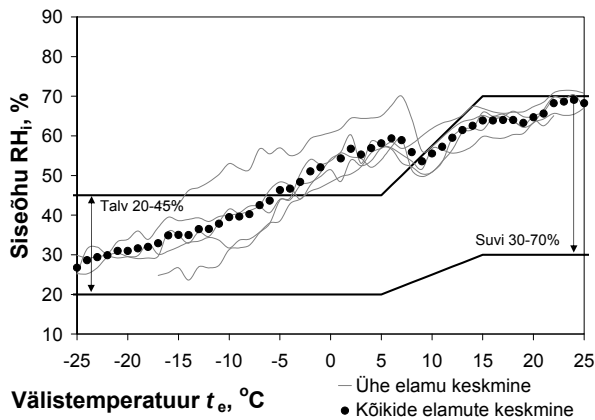
Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I



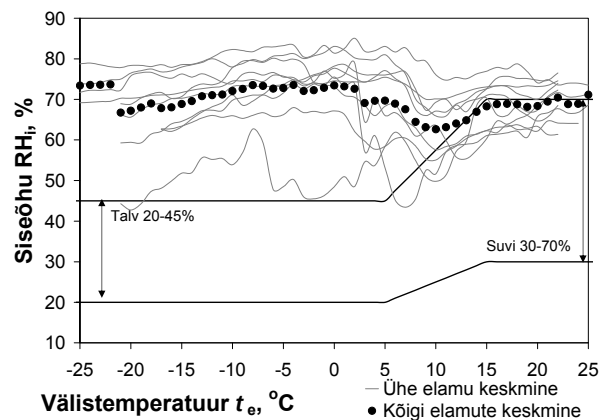
Kõik elamud



Püsivalt kasutatavad elamud



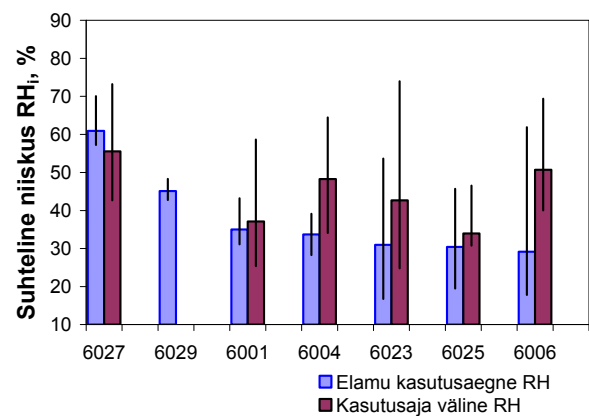
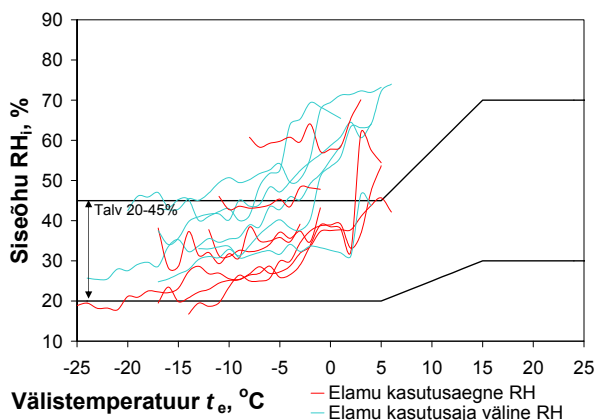
Talvel perioodiliselt kasutatavad elamud



Talvel mittekasutatavad elamud

Joonis 3.8 Elamute keskmise siseõhu suhtelise niiskuse ja välistemperatuuri vaheline sõltuvus kõikides elamutes (vasakul ülal), talvel püsivalt kasutatavates elamutes (paremal ülal), talvel perioodiliselt kasutatavates elamutes (vasakul all) ja talvise kasutuseeta elamutes (paremal all).

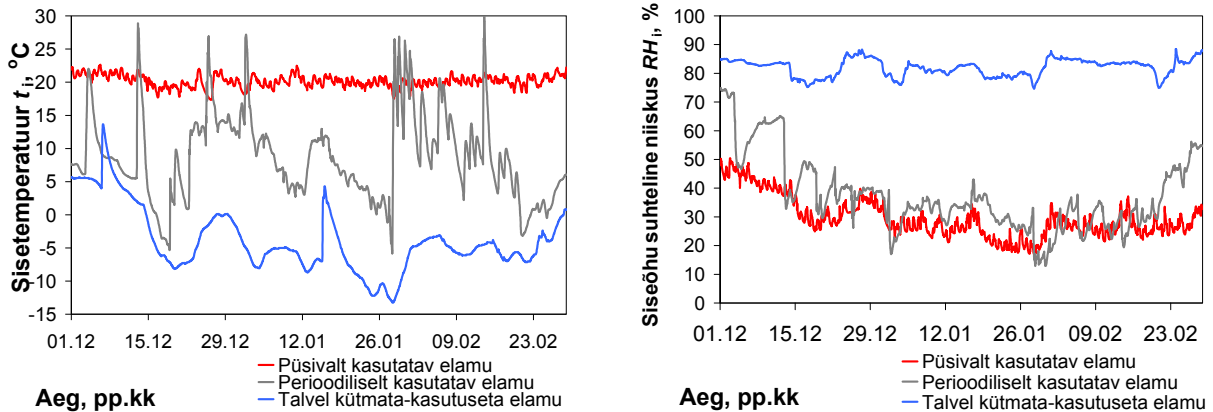
Perioodiliselt köetavate elamute kasutusaegne ja kasutusaja väline siseõhu suhteline niiskuse vt. Joonis 3.9. Kasutusaegne kõrgem temperatuur langetab siseõhu suhtelist niiskust rohkem, kui niiskustootlus seda tõstab.



Joonis 3.9 Siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist perioodiliselt köetavate elamute kasutusaajal ja kasutusvälisel perioodil.

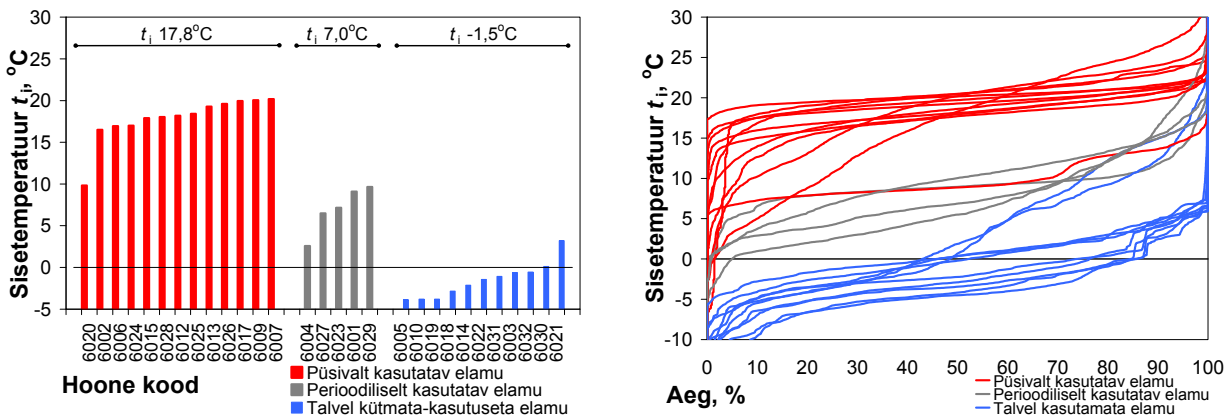
3.2.4 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel

Mõõtmise all olnud elamute sisekliima on tulenevalt erinevast kasutusest väga varieeruv. Püsiva küttega on võimalik tagada elamus ühtlane sisetemperatuur (vt. Joonis 3.10 vasakul). Sisetemperatuur kütmata elamutes ja perioodilise kasutusega elamu kasutusvälisel perioodil muutub vastavalt välistemperatuurile. Perioodiline kasutus põhjustab elamus suurt ja kiiret temperatuurikõikumist. Näide suhtelise niiskuse tasemetest kolmes elamus vt. Joonis 3.10 paremal.



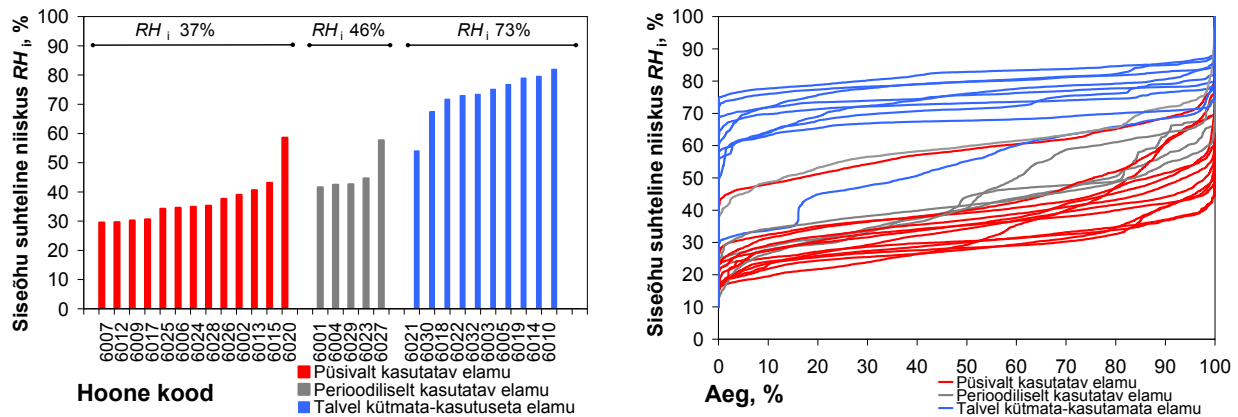
Joonis 3.10 Püsivalt kasutatava, perioodiliselt kasutatava elamu ja talvel kütmata/kasutuseta elamute ruumitemperatuuri (vasakul) ja suhtelise niiskuse (paremal) võrdlus talvel.

Keskmine sisetemperatuur talvel püsivalt kasutatavates elamutes oli $+17,8\text{ °C}$ (talve keskmine temperatuur oli vahemikus $+9,8\text{ °C}$ ja $+20,2\text{ °C}$). Keskmine sisetemperatuur talvel perioodiliselt kasutatavates elamutes oli $+7,0\text{ °C}$ (talve keskmine temperatuur oli vahemikus $+2,6\text{ °C}$ ja $+9,6\text{ °C}$). Keskmine sisetemperatuur talvel kütmata ja kasutuseta elamutes oli $-1,5\text{ °C}$ (talve keskmine temperatuur oli vahemikus $-3,9\text{ °C}$ ja $+3,2\text{ °C}$). Elamute talvine sisetemperatuur ja selle jaotus vt. Joonis 3.11.



Joonis 3.11 Keskmine sisetemperatuur ja sisetemperatuuri jaotus talvekuudel.

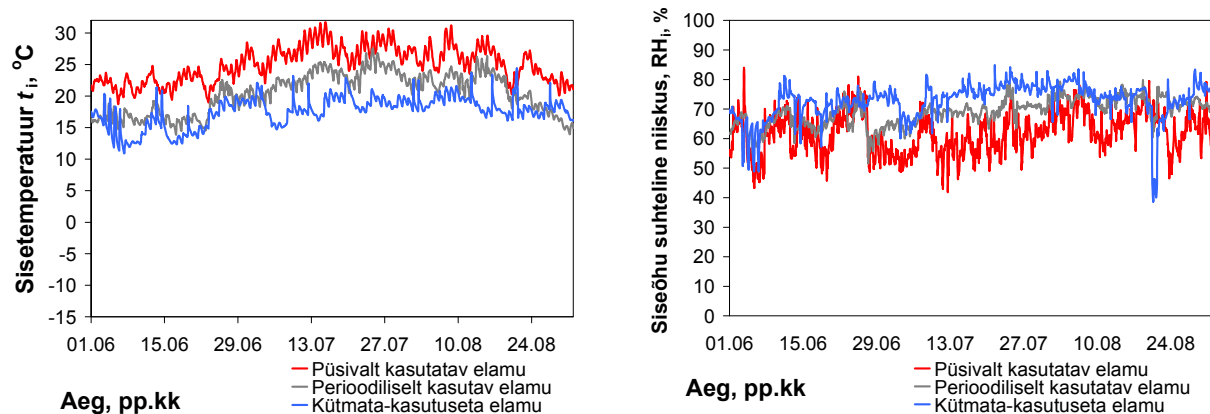
Keskmine siseõhu suhteline niiskus talvel püsivalt kasutatavates elamutes oli 37 % (talve keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 29 % ja 59 %). Keskmine siseõhu suhteline niiskus talvel perioodiliselt kasutatavates elamutes oli 46 % (talve keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 42 % ja 58 %). Keskmine siseõhu suhteline niiskus talvel kütmata ja kasutuseta elamutes oli 73% (talve keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 54 % ja 82 %). Elamute talvine siseõhu suhteline niiskus ja selle jaotus vt. Joonis 3.12.



Joonis 3.12 Keskmine siseõhu suhteline niiskus ja suhtelise niiskuse jaotus talvekuudel.

3.2.5 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus suvel

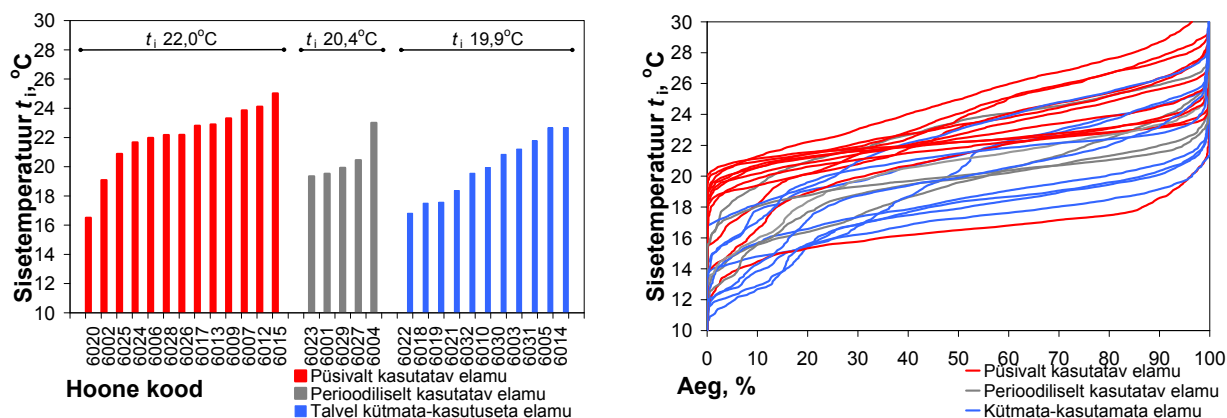
Suvel ei ole erineva kasutusega elamute sisekliima erinevused nii suured kui talvel ja sisekliima sõltub lisaks kasutusest ka ehituslikes teguritest. Aastaringses püsivas kasutuses olevate elamute sisekliima oli stabiilsem. Joonis 3.10-l esitatud erineva kasutusega elamute sisetemperatuur ja suhteline niiskus suve perioodil on esitatud Joonis 3.13-l. Kõige stabiilsem temperatuur on aastaringsest püsivalt kasutatavates elamutes. Kõige muutlikumad on sisekliimatingimused perioodiliselt kasutatavates elamutes.



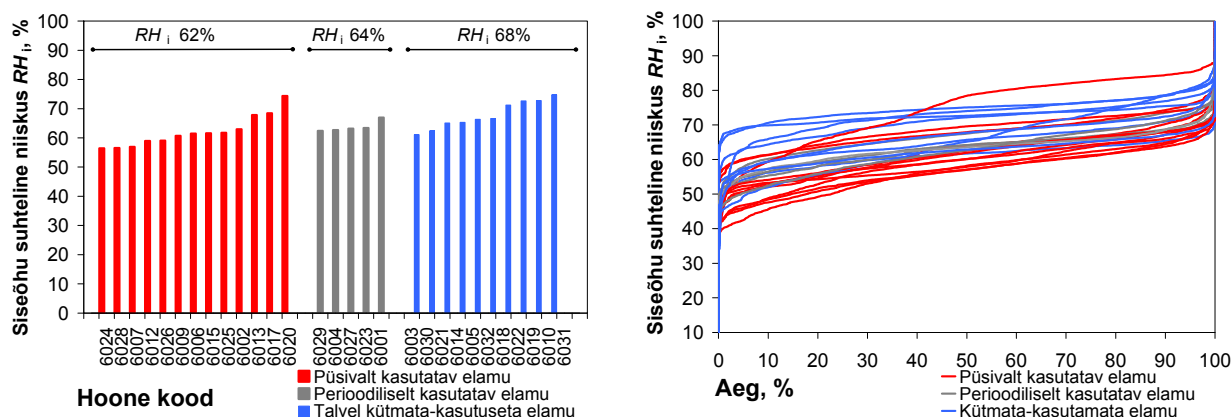
Joonis 3.13 Püsivalt kasutatava, perioodiliselt kasutatava elamu ja suvila võrdlus suvel.

Suvine keskmine sisetemperatuur aastaringsest kasutatavates elamutes oli +22,0 °C (suve keskmine temperatuur oli vahemikus +16,5 °C ja +25,0 °C). Keskmine sisetemperatuur perioodiliselt kasutatavates elamutes oli +20,4 °C (talve keskmine temperatuur oli vahemikus +19,3 °C ja +23,0 °C). Suvine keskmine sisetemperatuur elamutes, mida talvel ei köetud ega kasutatud, oli +19,9 °C (talve keskmine temperatuur oli vahemikus +16,8 °C ja +22,7 °C). Elamute suvine sisetemperatuur ja selle jaotus vt. Joonis 3.14.

Suvine keskmine siseõhu suhteline niiskus aastaringsest kasutatavates elamutes oli 62 % (talve keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 56% ja 74%). Keskmine siseõhu suhteline niiskus perioodiliselt kasutatavates elamutes oli 64 % (talve keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 62% ja 67%). Keskmine siseõhu suhteline niiskus talvel kütmata ja kasutuseta elamutes oli 68% (talve keskmine suhteline niiskus oli vahemikus 61% ja 75%). Elamute talvine siseõhu suhteline niiskus ja selle jaotus vt. Joonis 3.15.



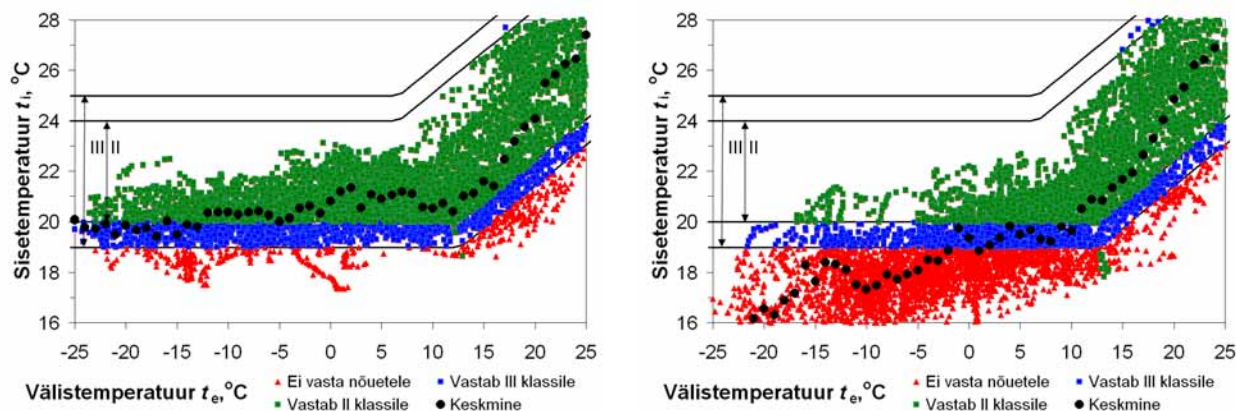
Joonis 3.14 Keskmise sisetemperatuur ja sisetemperatuuri jaotus suvekuudel.



Joonis 3.15 Keskmise siseõhu suhteline niiskus ja suhtelise niiskuse jaotus talvekuudel.

3.3 Sisekliima vastavus standardi sihtarvudele

Aastaringsest kasutatavate elamute sisekliima hindamiseks kasutati EVS-EN 15251 standardi keskmise (II) ja madalaima (III) sisekliima klassi piirsuurusi, vt. Joonis 3.2 ja elamutele esitatavate nõuete piirsuurusi (sisetemperatuur peab olema vahemikus $+18^\circ\text{C} \dots 27^\circ\text{C}$). Joonis 3.16-I on toodud näide sisekliima standardi piirsuurustele vastavuse kontrolli kohta. Erinevates elamutes oli vastavus standardi soovitudele erinev, vt. Joonis 3.16. Iga punkt tähistab ühe tunni mõõtetulemust. Punased punktid tähistavad sisetemperatuuri mittevastavust standardi piirsuurustele. Rohelised punktid tähistavad sisetemperatuuri vastavust keskmisele sisekliima klassile (II). Sinised + rohelised punktid tähistavad sisetemperatuuri vastavust madalaima sisekliima klassile (III).

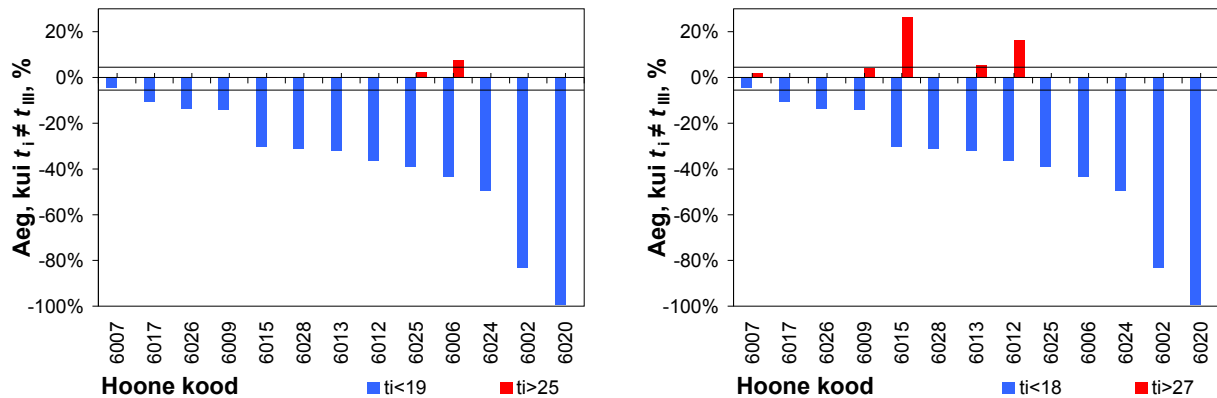


Joonis 3.16 Hea standardile vastavusega elamu (vasakul) ja halvema (alakõetud) standardile vastavusega elamu (paremal) sisetemperatuuride võrdlus.

Joonis 3.17-I on toodud sisetemperatuuri vastavus EVS-EN 15251 standardi III klassile (vasakul) ja elamutele esitatavate nõuete piirsuurustele (paremal). Domineerivaks on piirtemperatuuridest madalamale jäävad temperatuurid ehk elamutes on liiga jahe. Madalate temperatuuride põhjused võivad olla:

- elamute soojuskaod on suured;
- ahjude võimsus ei taga vajalikku küttevõimsust;
- ahjude olukord ei võimalda rohkem kütta;
- elanikud aktsepteerivad/kannatavad madalamat temperatuuri.

Kui aktsepteerida sisekliima nõuete ületamist kuni 5%, siis sisetemperatuur ei vasta sisekliima standardi madalama klassi piirsuurustele 92 % uuritud elamutes.



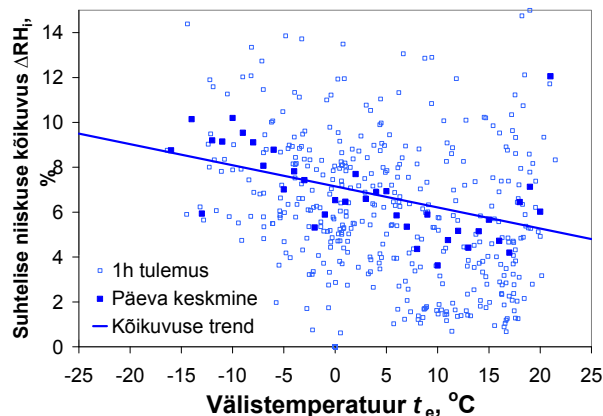
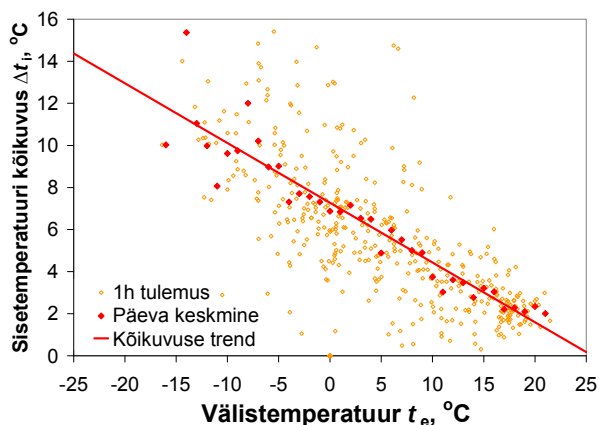
Joonis 3.17 Sisetemperatuuri vastavus EVS-EN 15251 standardi III klassile (vasakul) ja elamutele esitatavate nõuete piirsuurustele (paremal).

3.4 Kütteallika mõju sisekliima stabiilsusele

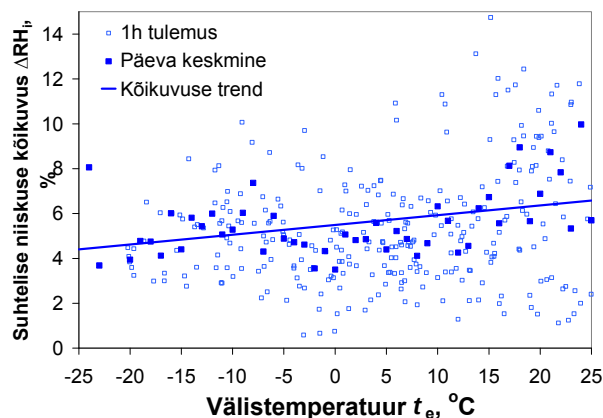
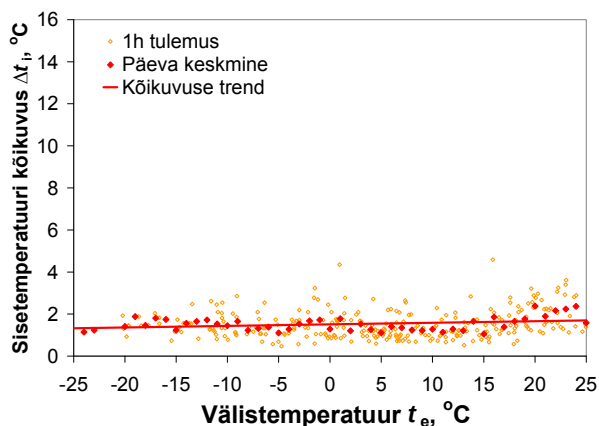
Enamikus uuritud elamutes oli peamiseks kütteallikaks puudega köetav ahi ja köögis puupliit (enamasti koos soojamüüri). Eranditena olid kasutusel õhksoojuspump, kivisööga köetav keskküte, suur metallkamin, otsene elekterküte (radiaatorid või pörandaküte) ja maasoojuspumbal põhinev pörandaküte. Lisaks oli renoveeritud majade pesuruumides kasutatud elektrilist pörandakütet.

Ahiküttega elamutes köetakse ahju enamasti üks kord päevas õhtusel ajal, hommikul tehakse vajadusel tuli pliidi alla. Ahiküttega elamute sisetemperatuur kõigub tulenevalt perioodilisest kütmisest, saavutades hilisõhtul maksimumväärtuse ja langedes keskpäevaks minimaalseks (või hommikuks, kui hommikul pliiti köetakse).

Siseõhu temperatuuri ja suhtelise niiskuse kõikumine ööpäeva jooksul sõltub kütteallika tüübist, elanike küttesharjumustest, elamu välispiirete sooja- ja õhupidavusest, kütteallika massiivsusest (või soojusmahtuvusest). Kõige suurem sisetemperatuuri ja siseõhu suhtelise niiskuse kõikumine esines soojustamata elamus, mida köeti metallist õhkküttekaminaga (väike soojusmahtuvus) ja kõige stabiilsem sisetemperatuur ja siseniiskus oli soojustatud ja tihendatud elamus, mida köeti maasoojuspumbaga (vt Joonis 3.18). Soojustamata ja väikse soojusmahtuvusega küttekehaga köetava elamu temperatuuri kõikumine sõltub oluliselt välistemperatuurist, olles suurem madalamatel temperatuuridel. Soojustatud ja stabiilset õhutemperatuuri hoidev maaküte tagab aastaringelt stabiilse sisetemperatuuri.

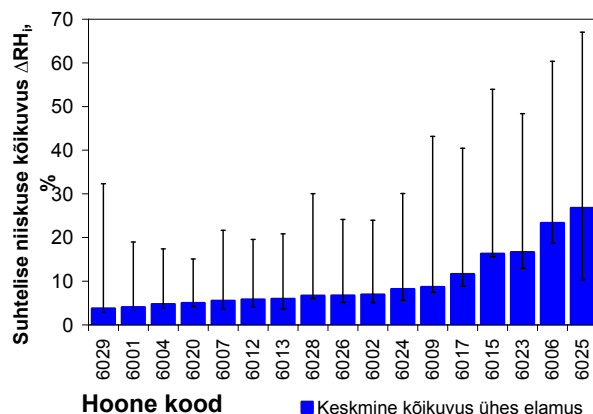
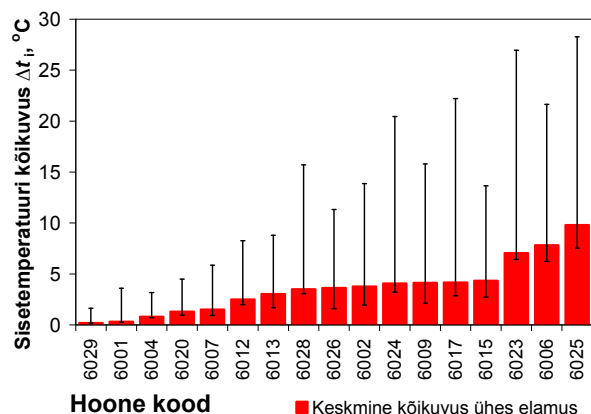


Joonis 3.18 Õhkküttekaminaga köetav elamu (6025) sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse kõikumine ööpäeva jooksul.



Joonis 3.19 Maasoojuspumbaga köetav elamu (6007) sisetemperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse kõikumine ööpäeva jooksul.

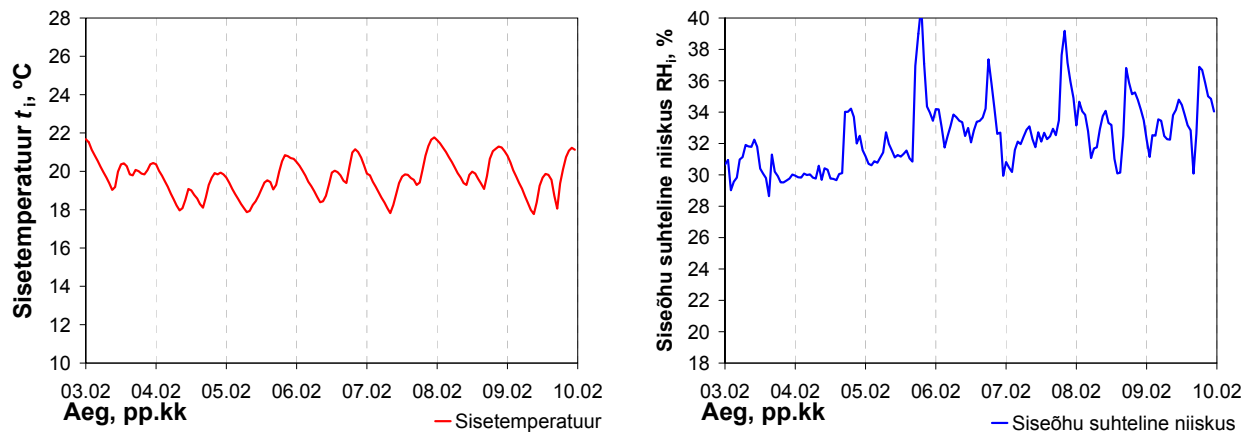
Joonis 3.20-l on toodud uuritud hoonete sisetemperatuuri keskmised kõikumised koos minimaalsete ja maksimaalsete väärtustega. Väikese valimi tõttu ei leitud statistiliselt olulist seost kütteallika tüübi, õhulekete, hoone renoveerimise ega soojustamise mõjul temperatuuri ja suhtelise niiskuse kõikumisele.



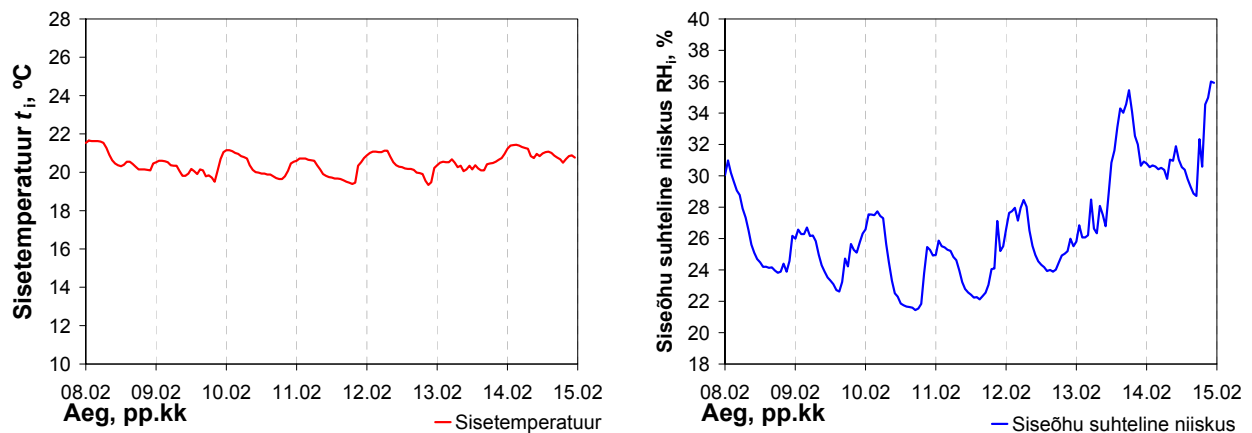
Joonis 3.20 Uuritud hoonete sisetemperatuuri (vasakul) ja siseõhu suhtelise niiskuse (paremal) kõikumine talvel kasutusperioodil.

Klassikalised ahikütttega hooned jäävad eeltoodud kahe äärmuse vahele. Suvel kasutatavate elamute temperatuuri- ja niiskusrežiim sarnaneb Joonis 3.18 paremal toodud graafikule, kuna väliskliimast põhjustatud sisekliima muutused on ööpäeva kestel väikesed.

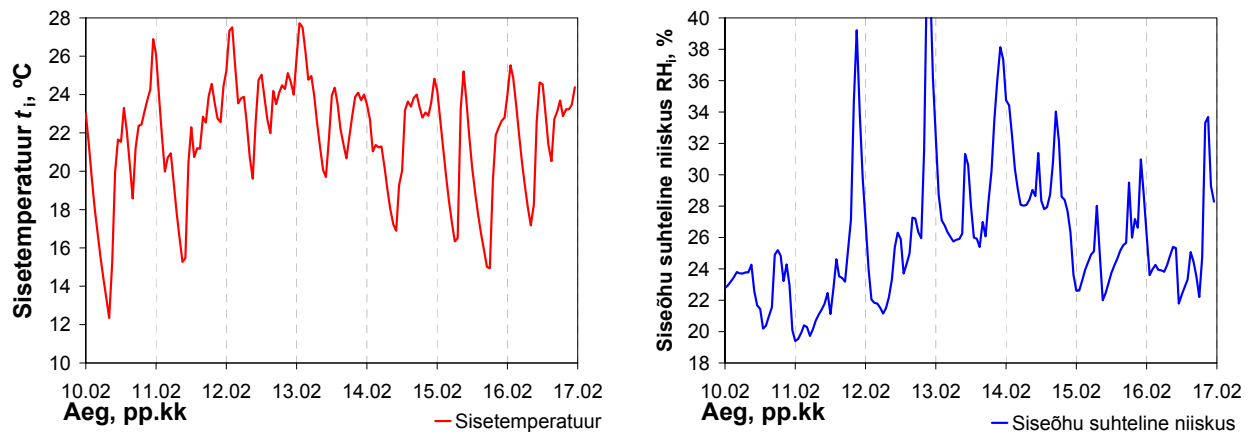
Ahju või muu kütteallika soojusmahtuvus mõjutab perioodilisel kütmisel oluliselt kütmise pikkust ja arvu ööpäevas. Järgnevatel joonistel on toodud erinevate kütmisviiside mõju sisetemperatuuri ja siseõhu suhtelise õhuniiskuse muutusele talvel nädala jooksul, esitatud on tunnise intervalliga mõõtmisandmed. Joonis 3.21 on iseloomulik tüüpilisele ahju ja pliidiga köetavale maamajale, kus hommikul köetakse lühidalt pliiti ja õhtul köetakse põhjalikult ahju. Joonis 3.22 toodud maja erineb esimesest vaid niipalju, et temperatuuri aitab stabiilsemana hoida maaküte, kõige külmemal perioodil ei suuda maaküte piisavalt sooja toota ja õhtul köetakse ka ahju (päeval kasutatakse ka pliiti). Joonis 3.23 toodud elamus on küttekoldeks metallkestaga kamin, milles tuleb väikese soojamahtuvuse tõttu hoida püsivalt tuld all. Graafikul on näha, et sisetemperatuur langeb kiiresti, kui ühe päeva jooksul ei köeta (maja piirdeks on soojustamata palk). Joonis 3.24 on erinevalt kolmandast toodud väike maja, mida köetakse väga massiivse ja suure soojusmahtuvusega vene tüüpi ahjuga, sellist ahju võib kütta kahe päeva tagant (seejuures maja piirdeks on soojustamata palk).



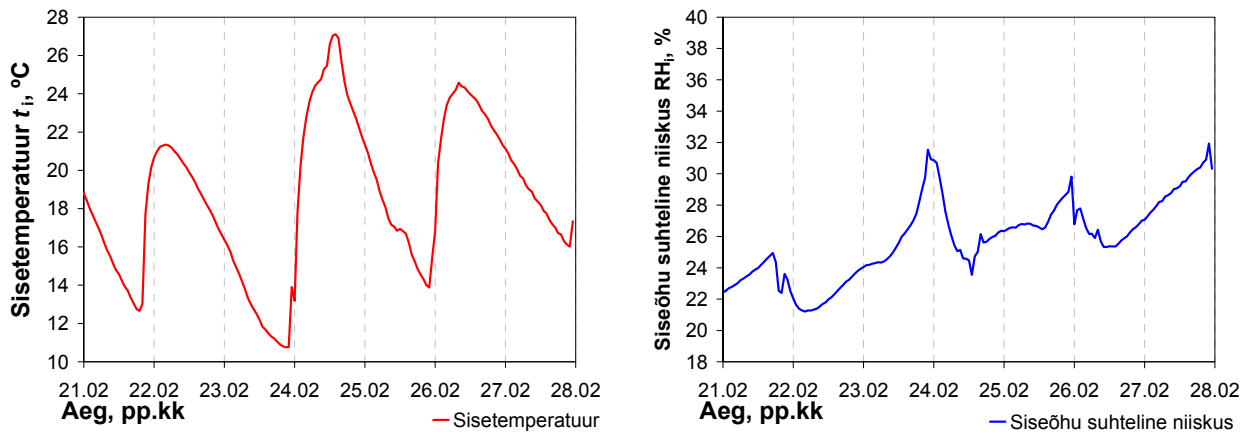
Joonis 3.21 Kütmine ühe nädala jooksul: ahju ja pliidiga köetav elamu (6026).



Joonis 3.22 Kütmine ühe nädala jooksul: maasoojuspump-küttega köetav elamu (6007).



Joonis 3.23 Kütmine ühe nädala jooksul: õhk-kütte kaminaga köetav elamu (6025).

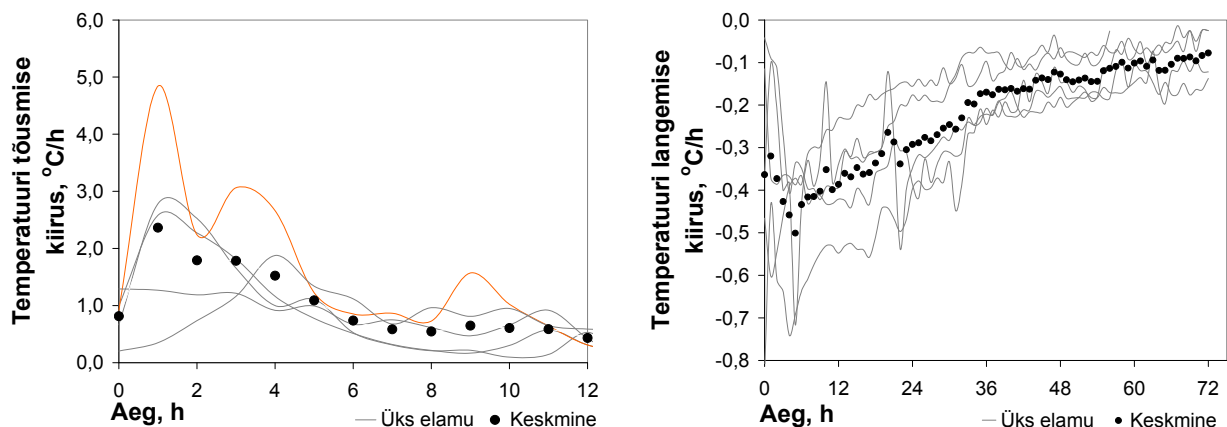


Joonis 3.24 Kütmine ühe nädala jooksul: massiivse ahjuga köetav elamu (6006).

3.5 Temperatuuri ja suhtelise niiskuse muutus perioodiliselt köetavates elamutes

Perioodiliselt (näiteks nädalavahetustel) oma elamu paariks päevaks soojaks kütvatele elanikele on oluline, et elamu sisetemperatuur tõuseks piisavalt kiiresti. Samuti on oluline, et sisetemperatuuri langedes ei tõuseks siseõhu suhteline niiskus liiga kõrgeks. Siseõhu temperatuuri, suhtelise niiskuse ja niiskuslisa muutusi on analüüsitud viie uuritud maja alusel (6004, 6006, 6023, 6027, 6029). Analüüsitud perioodiks on detsember 2009 kuni veebruar 2010. Järgnevatel graafikutel on esitatud ühe elamu keskmine muutus, mis on 4...9 kütmisperioodi keskmine (v.a. Joonis 3.28 vasakul). Eelnimetatud viies elamus on kõigis ahiküte.

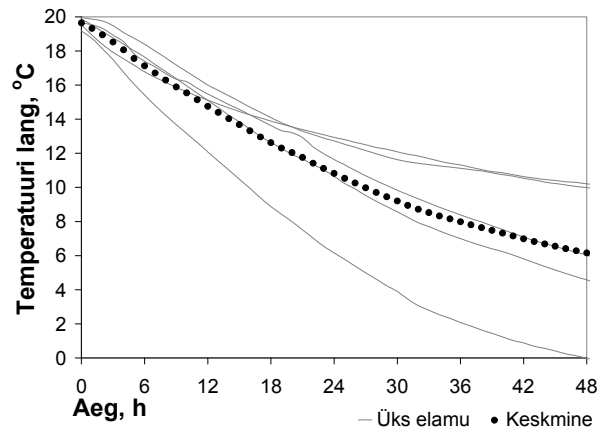
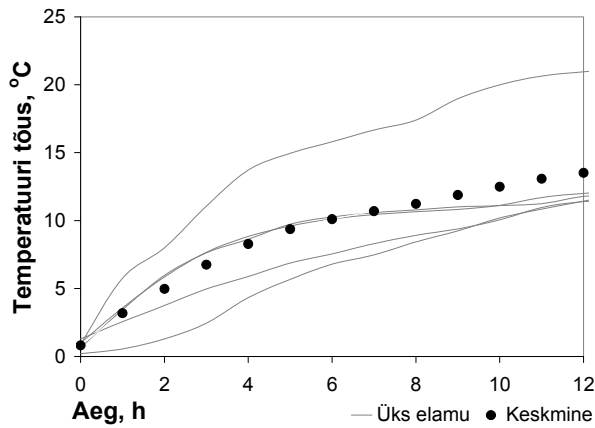
Ahi hakkab soojust andma umbes tund aega pärast kütmise alustamist, pärast seda hakkab tõusma ka ümbritseva ruumi õhutemperatuur. Esimese tunni jooksul tõuseb temperatuur keskmiselt ühe kraadi võrra, järgneva kolme tunni jooksul tõuseb temperatuur keskmiselt kaks kraadi tunnis. Tõusmise kiirus väheneb 12 tunni jooksul keskmiselt poole kraadini tunnis. Joonis 3.25 vasakul on oranži joonega välja toodud uus väikese massiivsusega ahi, mis annab kiirelt sooja välja, kuid milles tuleb soovitava soojuse saamiseks kütta mitu ahjutäit puid. Pärast ahju jahtumist toatemperatuurini hakkab siseõhu temperatuur jahtuma, alguses umbes pool kraadi tunnis. Temperatuuri langus kestab kauem kui kolm ööpäeva, langedes siis vaid 0,1 kraadi tunnis (Joonis 3.25 paremal). Temperatuuri langus aeglustub, kuna sise- ja välisõhu temperatuuride erinevus väheneb.



Joonis 3.25 Sisetemperatuuri tõus (vasakul) ja lang (paremal) ühe tunni jooksul perioodiliselt köetavates elamutes.

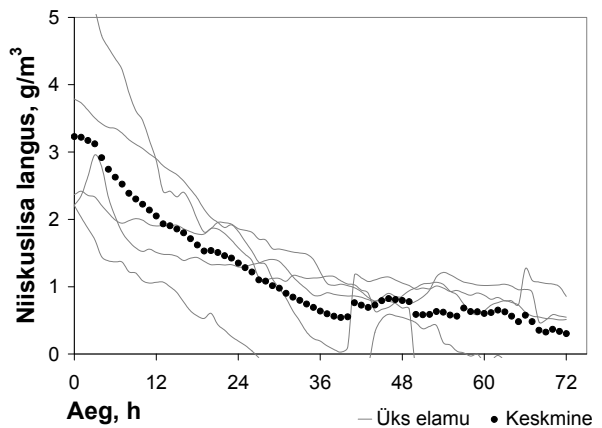
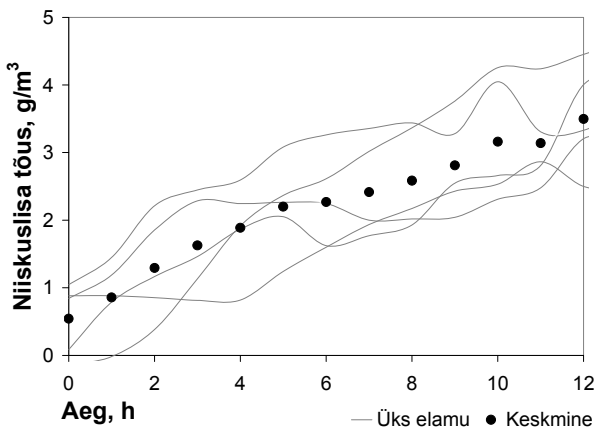
12 tunni jooksul on ahiküttega palkelamus võimalik temperatuuri tõsta keskmiselt 10 kraadi võrra (Joonis 3.26 vasakul). Kahe ööpäeva jooksul peale ahju jahtumist võib temperatuur langeda olenevalt maja õhu- ja soojapidavusest 10 kuni 20 kraadi (Joonis 3.26 paremal).

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I



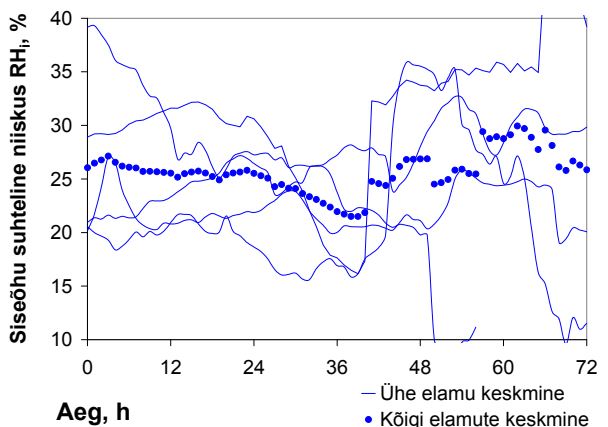
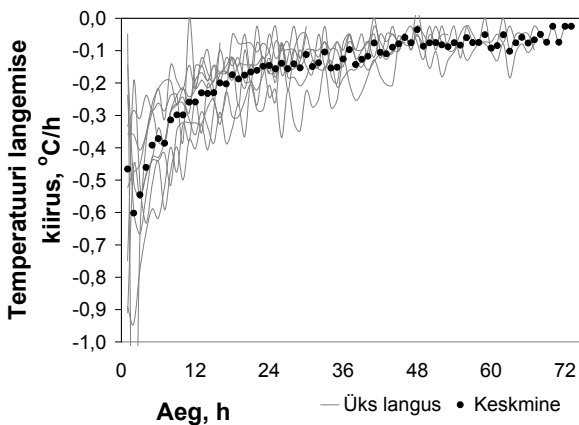
Joonis 3.26 Sisetemperatuuri kumulatiivne tõus (vasakul) ja lang (paremal) perioodiliselt köetavates elamutes.

Kui elamut kasutatakse, siis tõuseb märgatavalt ka niiskuselisa elamus. See on põhjustatud peamiselt elanike elutegevusest, kuid võib tulla ka piiretest, mis hakkavad temperatuuri tõustes välja kuivama. 12 tunni jooksul võib niiskuselisa suureneda $1 \text{ g/m}^3 \dots 3 \text{ g/m}^3$ (Joonis 3.27 vasakul). Suurenenud niiskuselisa langeb tagasi 1 g/m^3 umbes kahe ööpäeva jooksul pärast ahju jahtumist (Joonis 3.27 paremal).



Joonis 3.27 Niiskuselisa tõus (vasakul) ja lang (paremal) perioodiliselt köetavates elamutes.

Kahe ööpäeva möödudes domineerib siseniiskuse muutustes väliskliima mõju.



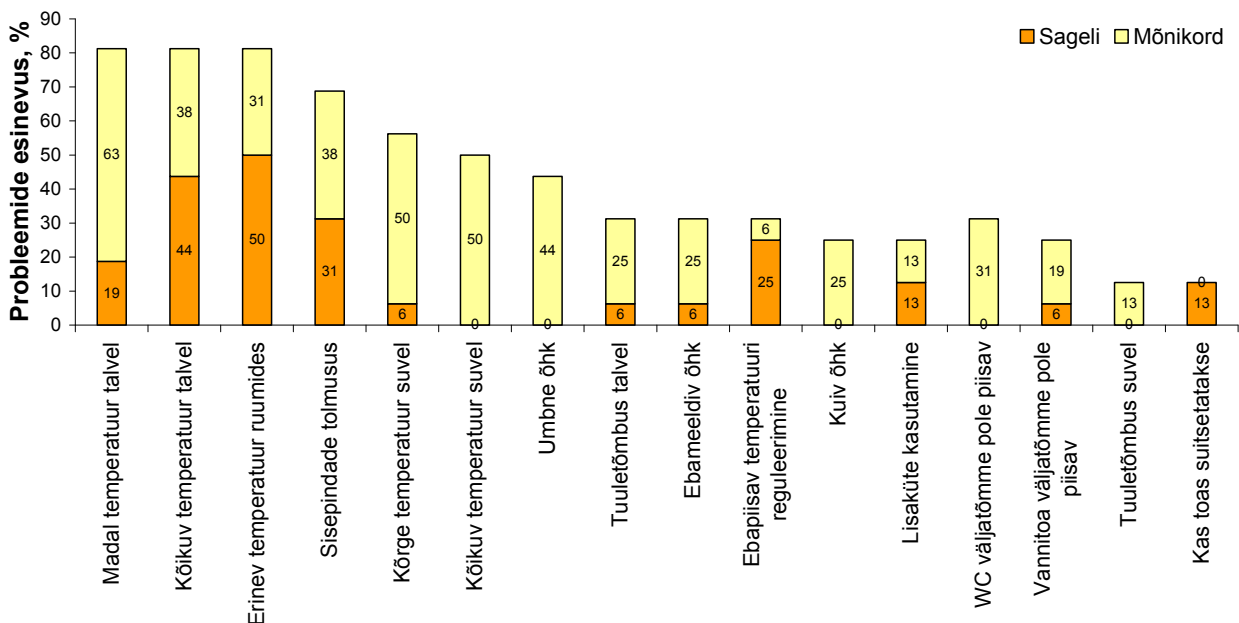
Joonis 3.28 Temperatuuri langemise varieeruvus ühes elamus (vasakul). Siseõhu suhtelise niiskuse muutus temperatuuri langemisel (paremal).

3.6 Elanike hinnangud sisekliimale

Uuringus osalenud elamute elanike hinnangud sisekliimale selgusid küsitlustest. Küsimused puudutasid elamu tehnilist seisundit, ruumide kasutust, rahulolu sisekliimaga ning soojusliku mugavusega. Lisaks olid küsimused suunatud kütte- ja ventilatsiooniprobleemide ning niiskusrežiimi väljaselgitamiseks, kuid vaadeldud oli ka müra- ja terviseprobleeme. 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 elamu ülalpidamiskulude kohta. Kõikides elamutes, kus viidi läbi küsitlus, tehti ka pikemaajalised sisekliimamõõtmised.

Uuringu objektiks olnud elamutest saadi vastuseid 16 (55% uuritud elamutest), mis ei ole mingil juhul piisav ulatuslike ning usaldusväärsete üldistuste tegemiseks, kuid võimaldab anda ülevaate hetkeolukorrast ja sobiv taustainfoks.

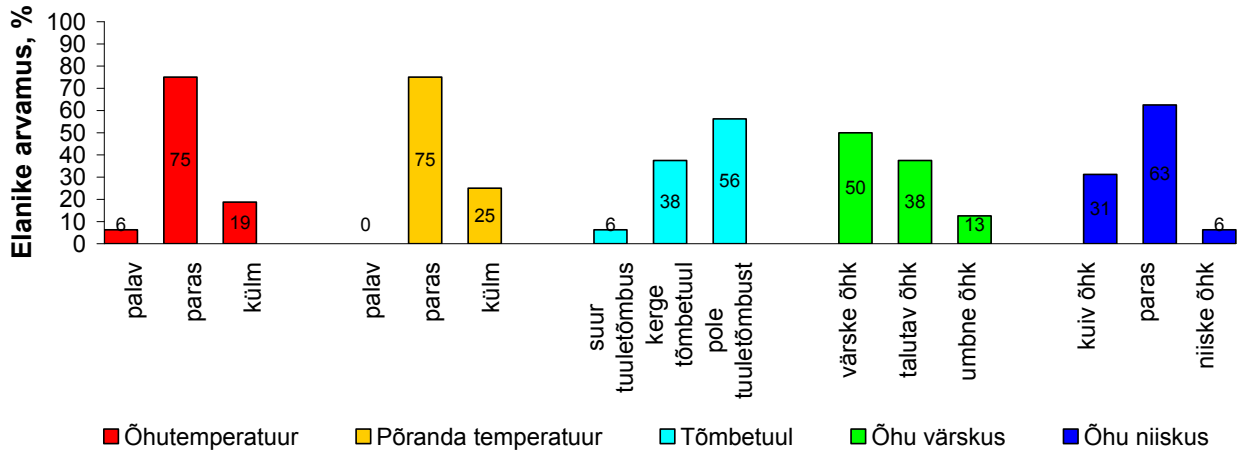
Elanike arvates on maaelamutes peamisteks probleemideks ruumide madal ja kõikuv temperatuur, sealjuures on erinevate ruumide temperatuurid erinevad (Joonis 3.29). Oluliseks probleemiks on ka sisepindade tolmusus.



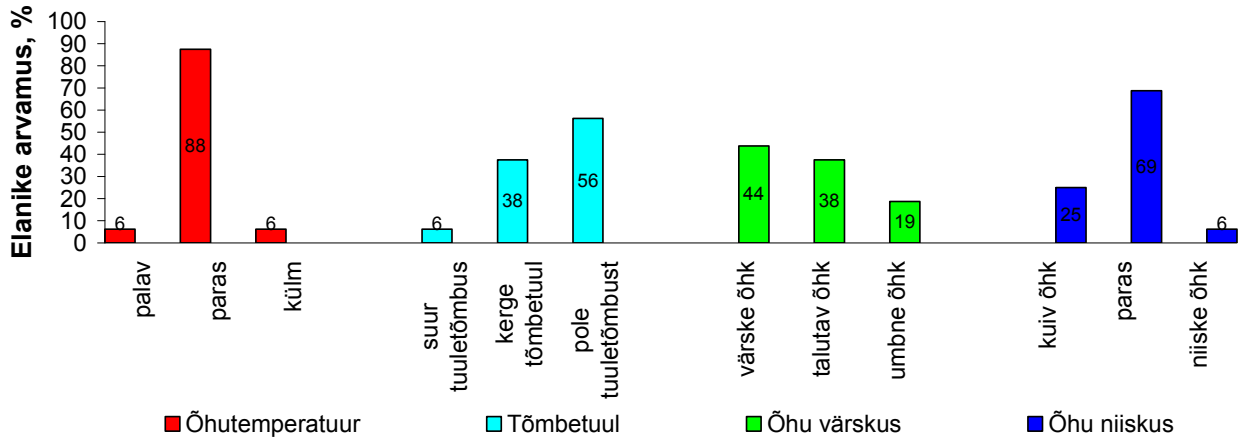
Joonis 3.29 Sisekliima probleemide esinemise sagedus elamutes.

Joonis 3.30 on välja toodud elanike hinnang mõningatele sisekliima parameetritele talvel ja Joonis 3.31 vastavatele parameetritele suvel. Nii suvel kui talvel hindas enamik elanikke ruumide sisetemperatuuri parajaks. 19% elanikest hindas talvel ruumide sisetemperatuuri liiga külmaks ja 25% elanikke hindas põrandaid talvel liiga külmaks. Kerge tõmbetuul esines 38% elamutest. Enamik elanikke pidasid õhku värskeks või talutavaks, alla 20% elanikest arvasid, et õhk on umbne. 63% elanikest hindas siseõhku talvel parajalt niiskeks ja 31% kuivaks, suvel hinnati siseõhku parajalt niiskeks 69% elamutest ja liiga kuivaks 25% elamutest.

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I



Joonis 3.30 Elanike hinnang õhutemperatuurile, põranda temperatuurile, tuuletõmbusele, õhu värskusele ja õhu niiskusele talvel.



Joonis 3.31 Elanike hinnang õhutemperatuurile, tuuletõmbusele, õhu värskusele ja õhu niiskusele suvel.

Elanikelt uuriti ka sisekliimast põhjustatud terviseprobleemide esinemist (astma, allergia, väsimus, peavalu, uimasus, keskendumine, silmade ärritus, kurgu kuivus, nahalööve). Sisekliima elanike tervisele olulisi probleeme ei tekita, mõnikord esines allergiat, väsimust, peavalu, uimasust ja keskendumisvõime raskusi vähem kui 20% elanikest. 12% elanikest kurtis pideva vähese päevavalguse üle ruumides.

4 Biokahjustuse tekke risk

Hoonesiseste mikrobioloogiliste organismide alla kuuluvad eelkõige bakterid, viirused, hallitus- ja mädanikseened. Mikroorganismide sisaldus ruumiõhus põhjustab niihästi diagnoositavaid haigusi, sh. infektsioone kui ka ebamääraseid sümptomeid. Levinuimad sümptomid on allergiline nohu, limaskestast ärritus, köha ja hingeldamine. Tervisehäireid põhjustavad nii mikroorganismid ise kui ka nende ainevahetuse käigus tekkivad toksiidid (Indermitte).

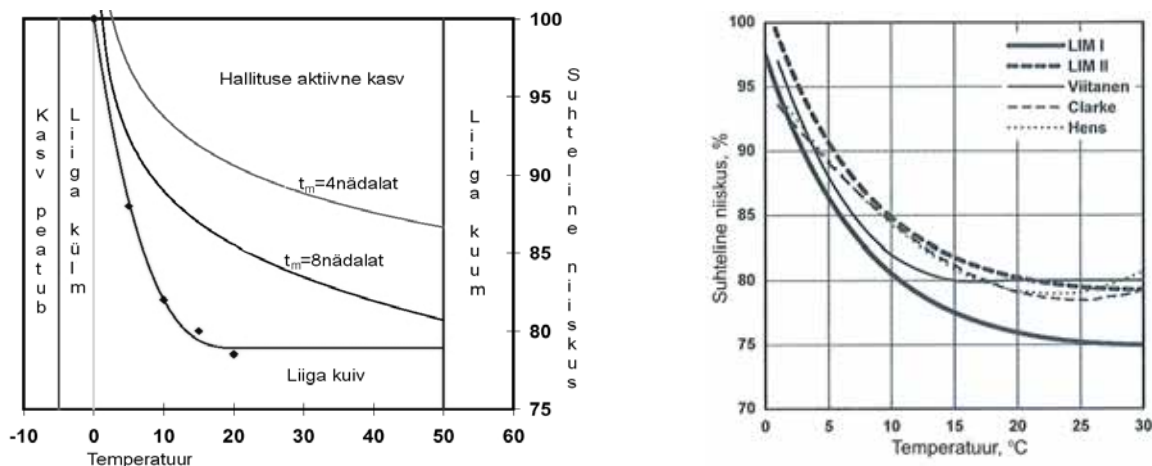
4.1 Meetodid

4.1.1 Hallituse kasvuks kriitilised tingimused

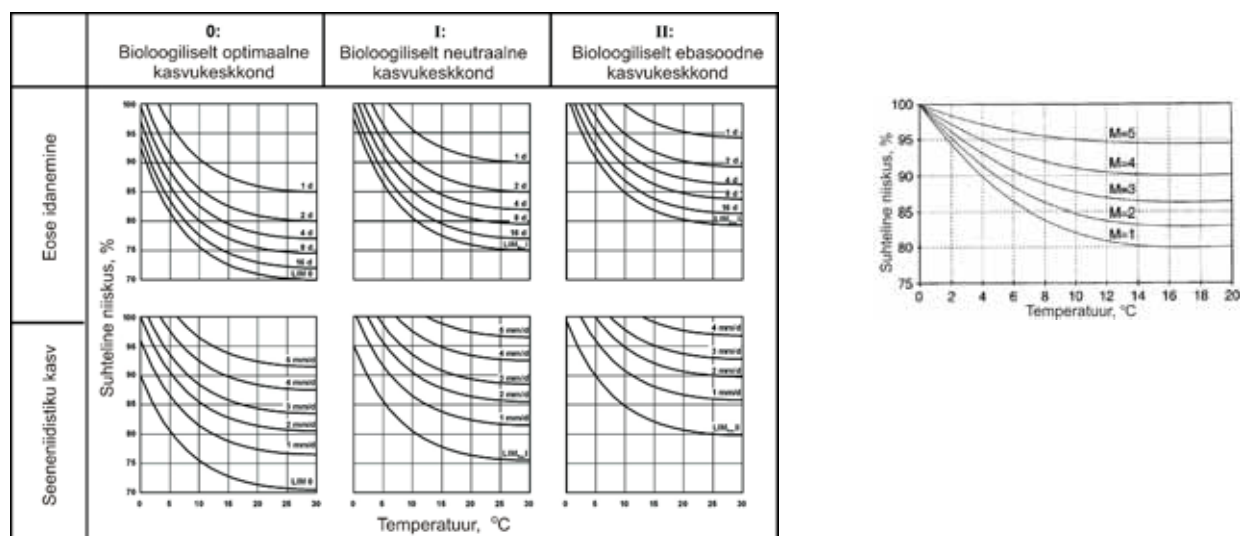
Hallitusseente kasvu tekkeks on vajalik sobiv:

- niiskus (suhteline niiskus kasvupinnal $\geq 75\ldots 80\%$);
- temperatuur ($0\ldots +50^\circ\text{C}$, kuid arenguks parim temperatuur on $+20\ldots +35^\circ\text{C}$);
- kasvualus (piisavalt toitaineid, aluselisus pH $5\ldots 6$);
- sobivate kasvutingimuste esinemise aeg.

Mikrobioloogilist kasvu mõjutab veel õhu liikumine, soojus- ja valguskiirgus. Hallitusseene kasvuks kriitilise suhtelise niiskuse sõltuvus temperatuurist, vt. Joonis 4.1.



Joonis 4.1 Hallituse kasvuks soodsad keskkonnatingimused puidul (vasakul: Viitanen 2001, paremal: Sedlbauer 2001, Clarke et al. 1998 ja Hens 1999).



Joonis 4.2 Hallituse kasvuks soodsad keskkonnatingimused erinevatel materjalidel (Sedlbauer 2001, vasakul) ja keskkonnatingimuste mõju hallituse maksimaalsele tasemele (Viitanen 2001).

Joonis 4.1 ja Joonis 4.2-lt on näha, et hallitusseene kasvu vältimiseks peab suhteline niiskus materjali pinnal olema alla 70...80% ja hallituse aktiivne kasv sõltub ka soodsate tingimuste kestusest. Hallituse kasvu hindamiseks puidu pinnal on välja töötatud hallituse kasvu mudel muutuvates keskkonnatingimustes (Hukka ja Viitanen 1999):

- hallituse kasvuks kriitiline suhteline niiskus arvutatakse (vt. Joonis 4.1 paremal):

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0.00267 t^3 + 0.160 t^2 - 3.13 t + 1000 & ,kui t \leq 20^\circ C \\ 80\% & ,kui t > 20^\circ C \end{cases} \quad (4.1)$$

- arvesse võetakse:
 - o hallituse kasv sobivate keskkonnatingimuste jooksul,
 - o hallituse taandumine ebasobivate keskkonnatingimuste jooksul,
 - o puidu liik (kuusk, mänd) ja pinnaomadused (saetud, hõõveldatud),
 - o teatud keskkonnatingimustele vastav maksimaalne võimalik hallituse tase (vt. Joonis 4.2 par.);
- hallituse kasvu iseloomustamiseks on kasutusele võetud suhteline skaala – *hallituse indeks*:
 - 0 – kasv puudub;
 - 1 – väikest kasvu võib tuvastada vaid mikroskoobi all;
 - 2 – keskmine mikroskoobiga tuvastatav kasv (kaetud rohkem kui 10%);
 - 3 – väikest kasvu võib tuvastada visuaalselt;
 - 4 – visuaalselt tuvastatav katvus rohkem kui 10%;
 - 5 – visuaalselt tuvastatav katvus rohkem kui 50%;
 - 6 – visuaalselt tuvastatav katvus 100%.

Eeltoodud seitsmeastmeline skaala on sobiv hallituse riski hindamiseks, mitte niivõrd absoluutse taseme kindlaksmääramiseks.

Käesolevas uuringus oli tegemist puitelamutega, milles kasutatakse palju puit- ja tselluloosipõhiseid materjale. Pindade pikaaegsel niiskumisel pakub see mõnede hallitusseente kasvuks piisavalt toitaineid. Enam kui substraadi materjal mõjutab hallitusseente kasvu puitpindade kattematerjal (lakid, värvid, immutusõlid) ja/või pindadel olev orgaaniline mustus (tolm), mis küsitluse järgi oli elanikele probleemiks. Sõltuvalt materjalist, millel kasv aset leiab, võivad mikroorganismide kasvuks soodsad tingimused muutuda (vt. Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Mikrobioloogilise kasvu seisukohalt kriitiline suhteline niiskus erinevatele materjalidele (Johansson jt. 2005)

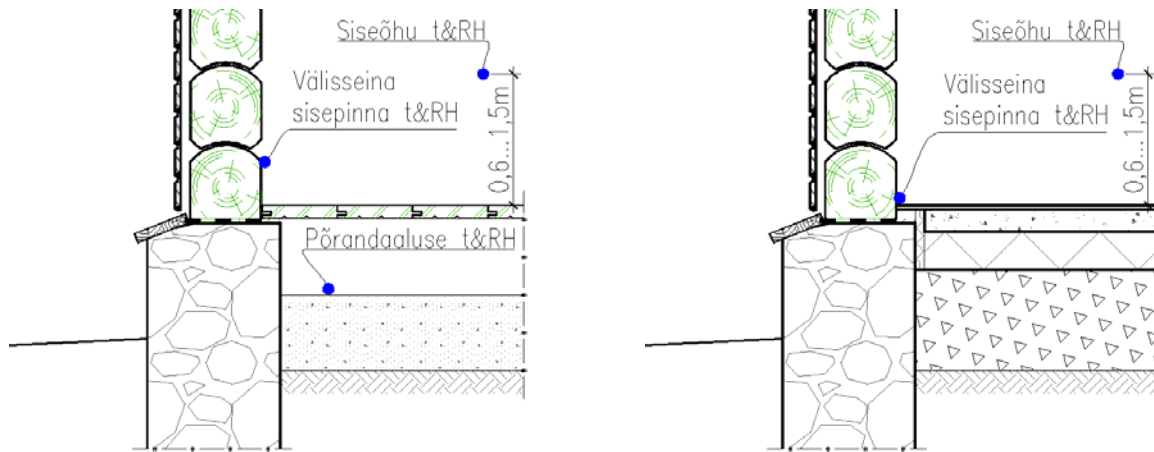
Materjal (puhas)	Kriitiline suhteline niiskus toatemperatuuril, RH
Puit ja puidupõhised materjalid	75-80 %
Paber kipsplaadil	80-85%
Mineraalvill	90-95 %
Vahtpolüstüreen	90-95 %
Betoon	90-95 %

4.1.2 Mõõtmised

Kuna mikrobioloogiline kasv leiab aset enamasti materjali pinnal, on olulised selle pinna soojus- ja niiskuslikud tingimused. Sisekliima mõõtmiseks kasutatud temperatuuri ja suhtelise niiskuse andurid paiknesid vaheseinal või mööblil. Mõlemad on hallituse kasvu seisukohalt soodsad tingimused, kuna pinnamaterjaliks oli peamiselt puit ja paber (tapeet). Seega sisekliimaandmete alusel hinnatav hallituse kasvu risk esindab hallituse kasvu riski mööblil ja vaheseintel. Madalama temperatuuri ja sama õhu veeaurusisalduse korral on suhteline niiskus kõrgem. Selline olukord leiab aset välispiirde sisepinnal, kus pinnatemperatuur on siseõhutemperatuurist madalam, veeaurusisaldus aga peaaegu sama.

Et selgitada mikrobioloogilise kasvu riski hoonepiirete sisepinnal, kasutati (vt. Joonis 4.3):

- siseõhu temperatuuri ja suhtelist niiskust hindamaks kasvu riski mööblil ja vaheseintel;
- välispiirde sisepinnatemperatuuri ja suhtelist niiskust (arvutati siseõhu veeaurusisalduse abil) hindamaks kasvu riski välispiirdetarinditel ja külmasildadel;
- lisaks hinnati mikrobioloogilise kasvu riski I korruse põranda aluses ruumis, milleks kasutati koostööpartneri Eesti Maaülikooli mõõtetulemusi.



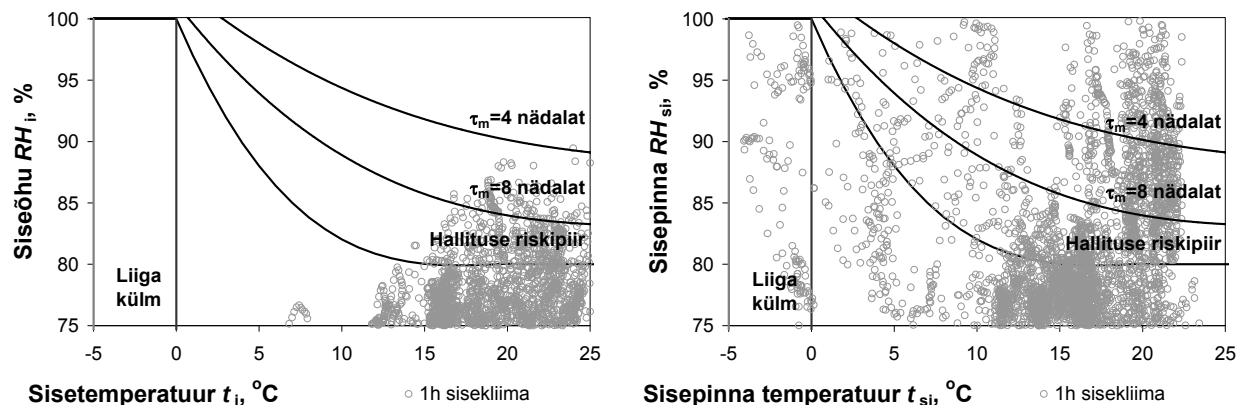
Joonis 4.3 Temperatuuri ja suhtelise niiskuse andurite asukohad hallituse kasvu riski hindamiseks.

Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks kasutati Hobo U-12 011 andureid-andmesalvesteid (vt. Tabel 3.1). Pinnatemperatuuri mõõtmiseks kasutati termistoreid läbimõõduga $\varnothing 4\text{mm}$, mis võimalusel süvistati 2 mm palgi sisse.

4.2 Tulemused

4.2.1 Hallituse tekke kriitilised tingimused eluruumides

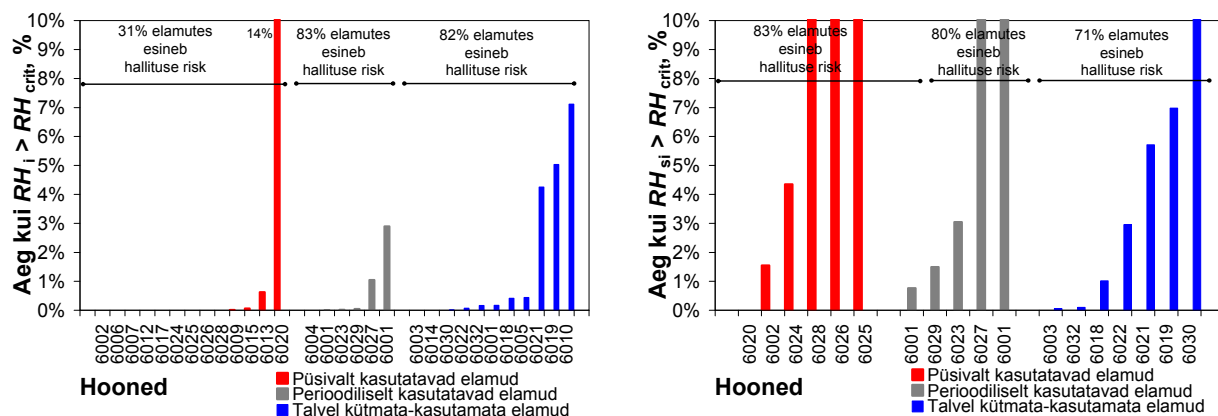
Hallituse tekke riski hinnati eluruumides siseõhu ja välispiirde pinna temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiste alusel. Joonis 4.4-l on toodud siseõhu (vasakul) ja alumise palgi sisepinna (paremal) temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtetulemused. Joonistel on näha ka hallituse kasvu riskipiirid. Siseõhu ja sisepinna mõõtetulemusest on näha, et hallituse kasvu seisukohalt on tarindi või külmasilla sisepind palju kriitilisem.



Joonis 4.4 Siseõhu (vasakul) ja alumise palgi sisepinna (paremal) temperatuur ja suhteline niiskus.

Järgnevalt arvutati aeg, kui temperatuuri ja suhtelise niiskuse tingimused olid hallituse kasvuks soodsad ehk suhteline niiskus oli üle kriitilise piiri: valem 4.1. Hallituse kasvuks soodne aeg on esitatud protsendina kogu mõõteperioodist Joonis 4.5-l. Kui võrrelda aastaringset koetavaid ja kasutatavaid elamuid kütmata ja perioodiliselt koetavate elamutega, siis viimastes esineb suurem risk hallituse kasvu seisukohalt, Joonis 4.5 vasakul. See risk realiseerub sobivate tingimuste esinemisel piisavalt pikal perioodil. Kuid niiskustehniliselt turvaline on vältida hallituse riski kui sellise olemasolu.

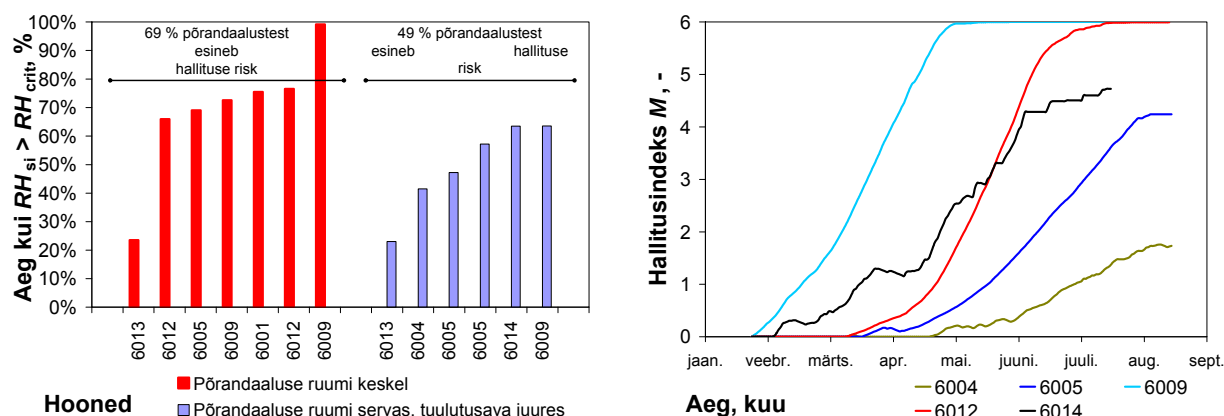
Külmasildadel ja välisseina-põranda liitekohas eksisteerib enamikus uuritud elamutes risk hallituse tekkeks, Joonis 4.5 paremal. 70 %...80 % elamutes, kus mõõtmised läbi viidi, esineb risk hallituse tekkeks välispiirde pinnal või külmasillal. See risk realiseerub sobivate tingimuste esinemisel piisavalt pikal perioodil. Kuid niiskustehniliselt turvaline on vältida hallituse riski olemasolu.



Joonis 4.5 Hallituse kasvuks soodsate keskkonnatingimuste esinemise aeg vaheseintel (vasakul) ja mööblil ning välispiirde sisepinnal (paremal).

4.2.2 Hallituse tekkeks kriitilised tingimused pörandaalustes ruumides

Pörandaalustes ruumides (vt. Joonis 4.3, vasakul) on temperatuuri ja suhtelise niiskuse tingimused hallituse kasvuks veelgi soodsamad. Hallituse kasvuks olevad tingimused kestavad kauem, vt. Joonis 3.18 vasakul. See, et hallituse kasvuks soodsad tingimused esinesid pikka aega, võimaldas mõttetulemustest arvutada hallituse indeksi, vt. Joonis 3.18 vasakul. Kõige soodsamad tingimused hallituse kasvuks on elamute keldri lae lähedal (ehk esimese korruse pörandal all). Kuna elamute pörandaalused ei ole enam tuulutatavad ja samuti ei ole takistatud majaaluse pinnase niiskuse levik keldrisse, siis niiskus hakkab seal kogunema. Kõige soodsamad tingimused on maja keskosas, kus temperatuur on mõnevõrra kõrgem kui vundamendi lähedal. Kahes elamus ulatus hallitusindeks maksimaalse väärtuseni. Elamus number 6014 on temperatuur ja niiskus mõõdetud vundamendi lähedal (keldri keskel olnud andur uppus kõrge pinnasevee taseme tõttu), teistes majades oli hallitusindeks kõrgem hoone keskosas. Siinkohal võib hallituse tekkemudelit kasutada juba puitu lagundavate seente arengu põhjuste seletamiseks. Kõige rohkem olid kahjustatud pörandal aluspalgid, mille pinnakiht oli läbi pehkinud ja osa majades oli pörandatalasid tugevdatud.



Joonis 4.6 Hallituse kasvuks soodsate keskkonnatingimuste esinemise aeg pörandaalustes ruumides (vasakul) ja hallituseindeksi kujunemine erinevate elamute pörandaalustes ruumides.

4.3 Puidukahjustuste analüüsi tulemused

Puiduproove laboriuuringuteks võeti valdavalt juurdekasvu puuriga, mis võimaldab määrata palkide sisemuse olukorda. Proove võeti omaniku loal hoone osadest, kus kahjustus oli väliselt tuvastatav või oli tõenäosus kahjustuse olemasoluks palgi sees.

Puidu kahjustus määrati välisilme järgi stereomikroskoobis.

Proove võeti enamasti väljaspoolt elamut ja enamasti voodrita elamutelt. Kokku võeti 29 proovi 11 elamust. 9 proovi olid kahjustusteta. Kolm proovi olid väljast tumenenud, mis viitab ilmastiku mõjudele, kuid olulisi kahjustusi nendest ei leitud.

Mädanikseente poolt tekitatud kahju jagati puidu lagunemise välisilme põhjal: pruun-, valge- ja pehmemädanik.

Pruunmädanik on üldiselt puithoonetes kõige levinum seenkahjustus, mis hävitab puidu tselluloosi, eelistab okaspuitu. Pruunmädanikuga kahjustatud puit mureneb kuivades kuubikujulisteks tükkideks, sellega märkimisväärne puidu tugevuse vähenemine. Pruunmädanik võib esineda mis tahes hoone osas.

Uuritud elamutes oli pruunmädanik kõige levinum kahjustus, mida esines 13 proovis 29-st (6003, 6005, 6006, 6009, 6012, 6018, 6028 ja 6031), Joonis 3.1. Kõige rohkem proove võeti esimesest kahest palgireast, kuna seal olid visuaalselt tuvastatavad kahjustused kõige suuremad. Proovide järgi oli alumine palk kahjustunud 1-10 cm ulatuses. Vundamendist kõrgemates proovides oli mädanikkahjustus rohkem palgi sisemuses. Seetõttu ei saa puidu kahjustuste üle otsustada ainult välisilme järgi.



Joonis 4.7 Pruunmädanikuga kahjustatud konstruktsioonid: põrandatala (vaskul), seinapalk 1m kõrgusel (keskel), kolm esimest seinapalki (paremal).

Ühest puiduproovist määrati ka täpsem pruunmädaniku tekitaja: *Antrodia sinuosa* – majakorgik, majanääts, puidusaproob, majaseen. Proov võeti endisest välisseinast umbes 1 m kõrguselt, maja sellele osale oli mõned aastad varem juurde ehitatud WC ja duširuumi osa.

Majanääts tekitab pruunmädanikku, hävitades puidus tselluloosi ja polüsahhariidid, jättes järgi pruunika värvusega rabeda modifitseeritud struktuuriga ligniini. Seetõttu muutub puit kuivades praguliseks, tekivad nn. murekuubid.

Tavaliselt avastatakse majanäätsu poolt tekitatud kahjustusi alles konstruktsiooni avamisel, sest puitmaterjali pinnale jääb õhuke näiliselt terve puidukiht. Kahjustusest annavad märku pinnale tekkivad valged, hiljem kreemikad ridadena kasvavad viljakehad. Viljakehade ilmumisel on kogu sisemine puit juba oluliselt kahjustatud. Kõrge õhuniiskuse korral (seina vahel) võib tekkida ka lehvikuksuline valge pinnaniidistik. Peamine selle seene kasvuala hoonetes on katusealune ja ülemised korrused, sest ta talub üsna kõrgeid temperatuure (sureb alles 80 ° C juures).

Majanääts põhjustab ulatuslikke puitkonstruktsioonide kahjustusi sarnaselt majavammiga. Kui majavamm kahjustab peamiselt keldri- ja esimese korruse vahelage, siis majanääts levib kõrgemal – esimese ja teise (kõrgema) korruse vahelae, sise- ja välisseintes, katusekonstruktsioonides. Majanäätsu kahjustus algab sarnaselt majavammiga teiste seente poolt juba kahjustatud puidus, kuid ta ei vaja arenguks kivimaterjali olemasolu.

Majanäätsule on iseloomulik pikaaegne kuivaperioodide talumine. Kahjustus võib olla näiliselt seiskunud, kuid uuel niiskumisel algab seene kasv uuesti.

Valgemädanik, mis esineb hoonetes harvemini, hävitab nii tselluloosi kui ka ligniini ja vajab palju niiskust. Kahjustatud puidu tekstuur on kiuline või sõeljas. Valgemädanik ründab nii leht- kui ka okaspuitu ja esineb kahjustuse algfaasis. Valgemädanik esineb mis tahes hoone osas.

Pehmemädanik, mis esineb hoonetes harvemini, hävitab tselluloosi. Pehmemädanik sõltub tugevasti niiskusest ja vähendab märkimisväärselt puidu tugevust.

Lisaks esines elamutes veel hallitust ja vetikaid.

Hallitus on kasvav mikroseente koloonia mingil seene elutegevuseks vajalikke orgaanilisi aineid sisaldaval alusmaterjalil (substraadil). Hallitusseened kasvavad nii materjalide pinnal kui ka sees ning neil on tähtis roll looduse ringkäigus puidu lõplikul lagundamisel huumuseks.

Hallituse eoseid leiti kahe elamu (6006 ja 6017) köögi (niiskeim ruum) vundamendi ja seinapinnalt.

Vetikad kasvavad kõikjal, kus on piisavalt vett. Kuigi vetikate peamine elukeskkond on vesi, elutseb puutüvedel ja vanadel kivimüüridel üherakuline rohevetikas, mis suudab elada õhus. Samblad e. sammaltaimed on niiskete kasvukohtade taimed. Nad kasvavad maapinnal, puidul ja kividel.

Vetikaid leiti elamu põhjapoolselt küljelt esimese palgirea pinnalt (Joonis 4.8 vasakul). Hoone külg oli puude varjus ja sageli märg, mis tagas vetika kasvuks piisava vee.



Joonis 4.8 Vetikatega kaetud esimese rea seinapalk (vasakul). Torikseen vundamendi all (paremal).

Mardikakahjustus

Puidust konstruktsioonidesse, mööblisse ja esemetesse võivad aja jooksul elama asuda puidumardikate vastsed, kes närvivad sinna käike ning muudavad puidu aja jooksul kõlbmatuks. Mardikakahjustus esineb enamasti seenkahjustustega puidus, mis on struktuurilt pehmem. Puidumardikate elutsükkel koosneb neljast etapist – muna, vastne (tõuk), nukk ja täiskasvanud mardikas (valmik). Puitu kahjustavad nad vastse faasis, mis võib kesta ühest kuni kuue aastani sõltuvalt mardika liigist, ruumi temperatuurist ning puidu niiskusest.

Mardikakahjustusi avastati kolmes proovis, ühel juhul kaasnes see pruunmädanikuga. Visuaalselt tuvastati mardikakahjustus veel kolmes elamus.

5 Niiskukoormus elamutes

5.1 Meetodid

Hoonepiirete pika kasutusea üheks eeltingimuseks on nende probleemideta niiskustehniline toimivus. Sise- ja väliskliima tingimused on ühed olulisimad tegurid, mis mõjutavad hoonepiirete ja tarindite niiskustehnilist käitumist. Elamutes siseõhu niiskust tavaliselt aktiivselt ei reguleerita. Sõltuvalt ruumi kasutusotstarbest võib õhuniiskus kõikuda küllalt suurtes piirides. Siseõhu veeaurusisaldus sõltub niiskustootlusest ruumides (inimese elutegevus, toidu valmistamine, pesemine, taimede kastmine jne), ventilatsiooni toimimisest ja õhuvahetusest ning välisõhu veeaurusisaldusest. Siseõhu veeaurusisaldust statsionaarsetel tingimustel arvutatakse valemiga 5.1:

$$v_i = v_e + \frac{\dot{g}}{\dot{v}} = v_e + \Delta v, \text{ g/m}^3 \quad (5.1)$$

kus:

- v_i siseõhu veeaurusisaldus, g/m^3 ;
- v_e välisõhu veeaurusisaldus, g/m^3 ;
- $\dot{g}$ niiskustootlus siseruumis, g/h ;
- $\dot{v}$ ventilatsiooni õhuvooluhulk, m^3/h ;
- Δv niiskuslis, g/m^3 .

Siseruumide niiskukoormust iseloomustab sise- ja välisõhu veeauru osarõhkude või õhu veeaurusisalduste erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks Δv , g/m^3 ja arvutatakse valemiga 5.2:

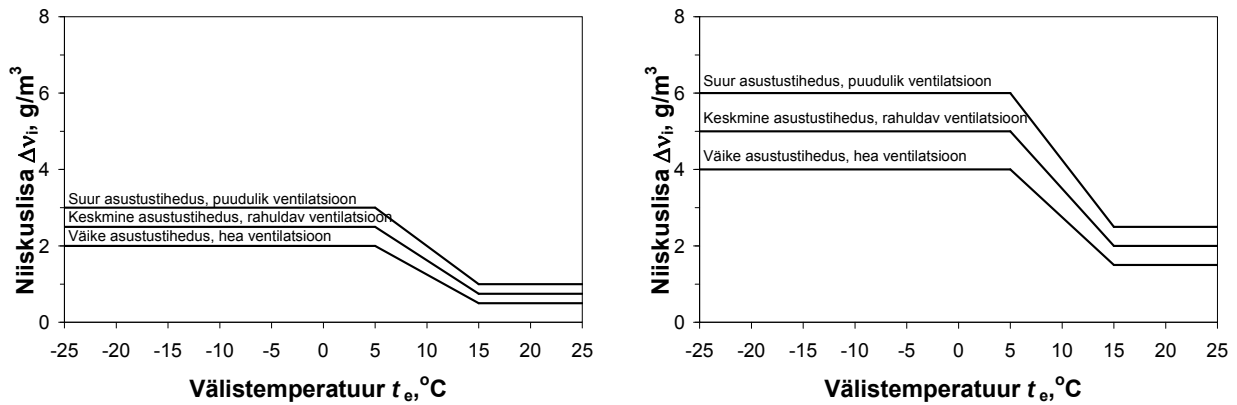
$$\Delta v = v_i - v_e, \text{ g/m}^3 \quad (5.2)$$

Niiskusliisa on ka potentsiaalselt välispiirde kaudu toimuvale veeauru difusioonile. Sise- ja välisõhu veeaururõhkude või veeaurusisalduste erinevus e. niiskusliisa näitab, kui palju on siseõhus rohkem niiskust kui välisõhus või kui palju on siseõhu veeauru osarõhk kõrgem välisõhu veeauru osarõhust. Kui hoones on suur niiskustootlus (kasutatakse palju vett, õhuniisutus, tihe asustatus jne.) ja väike õhuvahetus (halb ventilatsioon), on niiskukoormus e. niiskusliisa suur.

Kuna veeauru difusioon on suhteliselt (võrreldes näiteks soojuse liikumisega) aeglane protsess, on hetkelisest niiskuslisast olulisem teatud ajaperioodi keskmine niiskusliisa. Seetõttu arvutatakse niiskusliisa nädala keskmise suurusena. Nädal on elamu kasutuse suhtes väga selge tsükkel: viiele tööpäevale järgneb kaks puhkepäeva ning nädal esindab niiskukoormust täpsemalt kui näiteks kuu pikkune periood. Kuu keskmiste niiskusliisa suuruste korral sisaldub nendes ka perioode, kui elamut ei ole kasutatud. Kui kasutada niiskusliisa keskmise suuruse arvutusel nädalast lühemat perioodi, siis on niiskustootluse ja hoonepiirete niiskustehnilise toimivuse dünaamika mõju niiskuslisale liiga suur.

Sisekliima ja niiskukoormuse hindamise erinevuseks on, et kui sisekliima puhul kasutatakse peamiselt keskmisi suursi, siis niiskukoormusi hinnatakse teatud tõenäosusega esinevatena. Ehitusfüüsikaliste arvutuste tegemise jaoks on rahvusvaheliselt kokku lepitud 90% tõenäosuse tase (Sanders 1996). See tähendab, et valitud koormuse normatiivsest suurusest on 90% väiksema koormusega ja 10 % suurema koormusega.

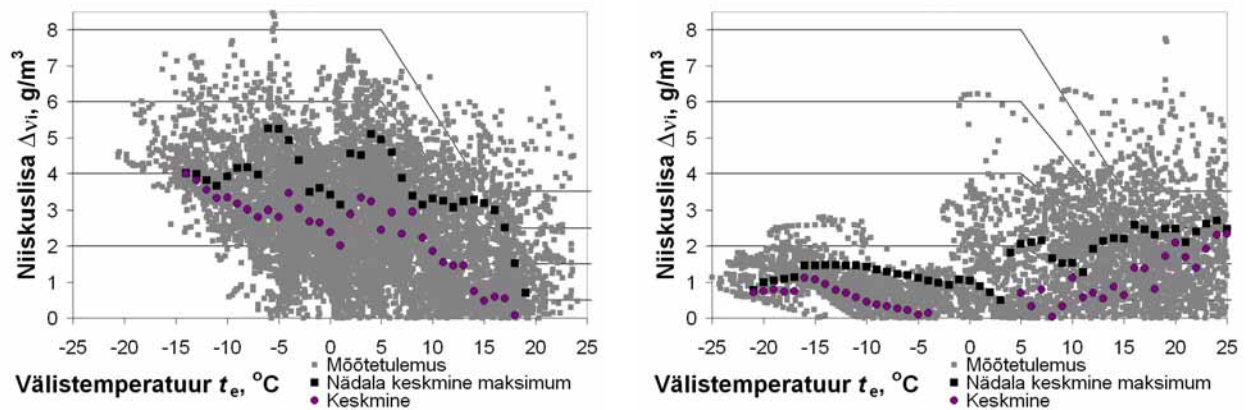
Vastavalt varasematele uurimistele võib elamute niiskukoormuse hindamisel kasutada Joonis 5.1-l toodud niiskusliisa ja välisõhutemperatuuri vahelist sõltuvust. Kuna suvel on intensiivsem ventilatsioon (rohkem avatud aknaid, mehaaniline ventilatsioon suuremal kiirusel (ruumide jahutuseks)) ja väiksem niiskustootlus (rohkem väliseid tegevusi, pesukuivatus õues jne) on suvel niiskusliisa väiksem. Siseõhu suhteline niiskus ei ole sobiv niiskukoormuse hindamiseks, kuna see sõltub lisaks siseõhu niiskukoormuste komponentidele ka sisetemperatuurist ja välisõhu suhtelisest niiskusest.



Joonis 5.1 Niiskulusi Δv_i , g/m³ keskmise suuruse (vasakul, sisekliima hindamiseks) ja arvutussuuruse (paremal, piirdetarindite projekteerimiseks) sõltuvus välistemperatuurist erinevate niiskuskooormuse klasside puhul.

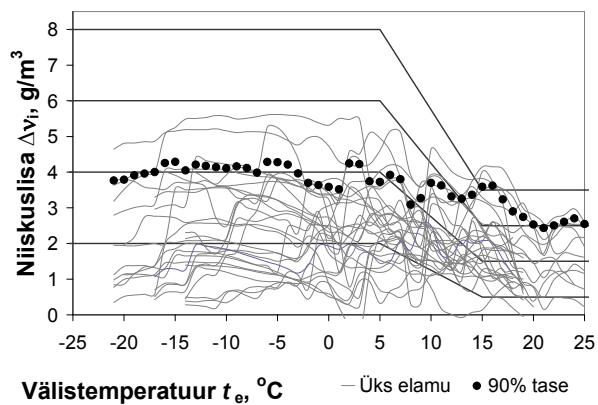
5.2 Tulemused

Uuritud elamute niiskuskooormuse hindamiseks arvutati sise- ja välistemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtetulemustest niiskulusi nädala keskmine suurus. Iga elamu niiskulusi mõõtetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta on arvutatud nädala keskmine, maksimaalne ja 90% taseme (90% fraktiil) niiskulusi, millised loeti esindama selle elamu niiskulusi tasemeid. Püsivalt kasutuses oleva elamu (vt Joonis 5.2 vasakul) niiskuskooormus on suurem tulenevalt kasutusaegsest niiskustootlusest. Talvel kasutusest elamu (vt Joonis 5.2 vasakul) niiskuskooormus talvel ei ole päris null tulenevalt tarinditesse kogunenud niiskuse väljakuivamisest ja ajutisest koormusest. Kui perioodilise kasutusega elamust lahkuvad elanikud, väheneb oluliselt ka ventilatsioon (mehaaniline ventilatsioon lülitatakse välja, aknad suletakse jne.). Seetõttu hoone kasutusaegne niiskus jääb hoonesse pikemaks ajaks.

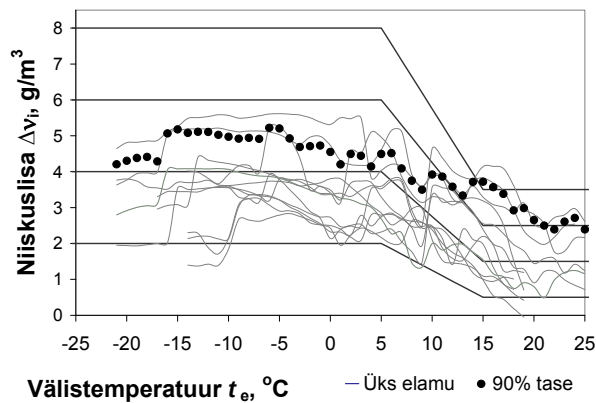


Joonis 5.2 Hetkelise niiskulusi ja nädala keskmise maksimaalse ja keskmise suuruse sõltuvus välistemperatuurist talvel püsivalt kasutusel olnud elamus (vasakul) ja talvel püsivalt kasutusest elamus (paremal).

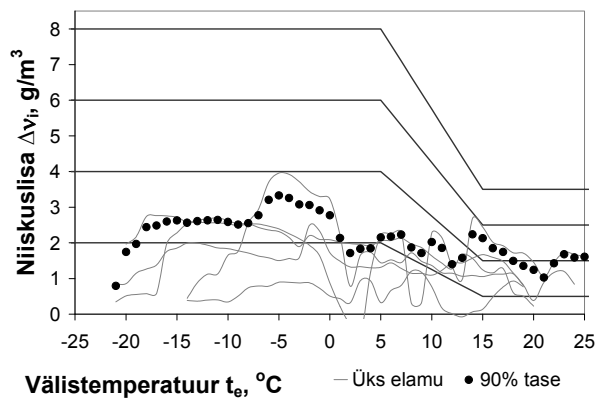
Kõikide mõõdetud elamute nädala keskmise maksimaalse niiskulusi ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused on toodud järgneval joonisel (Joonis 5.3 ülal vasakul). Kõikidest maksimumsuurustest arvutatud 90% tase (90% fraktiil) esindab nende elamute niiskulusi normatiivset suurust. Sõltuvalt elamu kasutusviisist on niiskulusi tulemused esitatud ka eraldi püsivalt kasutatavate elamute kohta, perioodiliselt kasutatavate elamute kohta ja talvise kasutusest elamute kohta. Talvel on maksimaalsed niiskulusid püsivalt kasutatavates elamutes kütmisperioodil vahemikus 2,5...5,7 g/m³, perioodiliselt köetavates majades 0,5...2,5 g/m³ ja talvise kasutusest elamutes 0,5...2,0 g/m³. Suvel on maksimaalsed niiskulusid kõigis elamutes vahemikus 1,5...3g/m³.



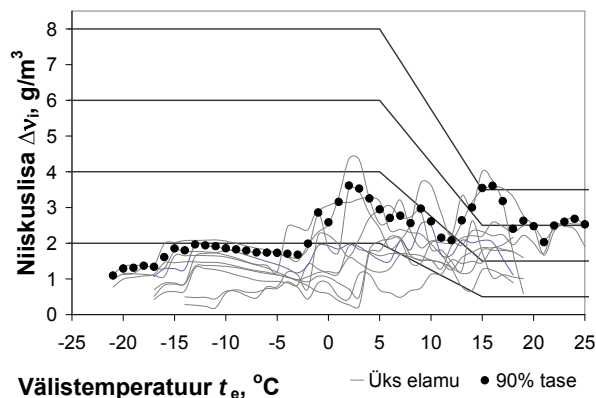
Kõik elamud



Püsivalt kasutatavad elamud



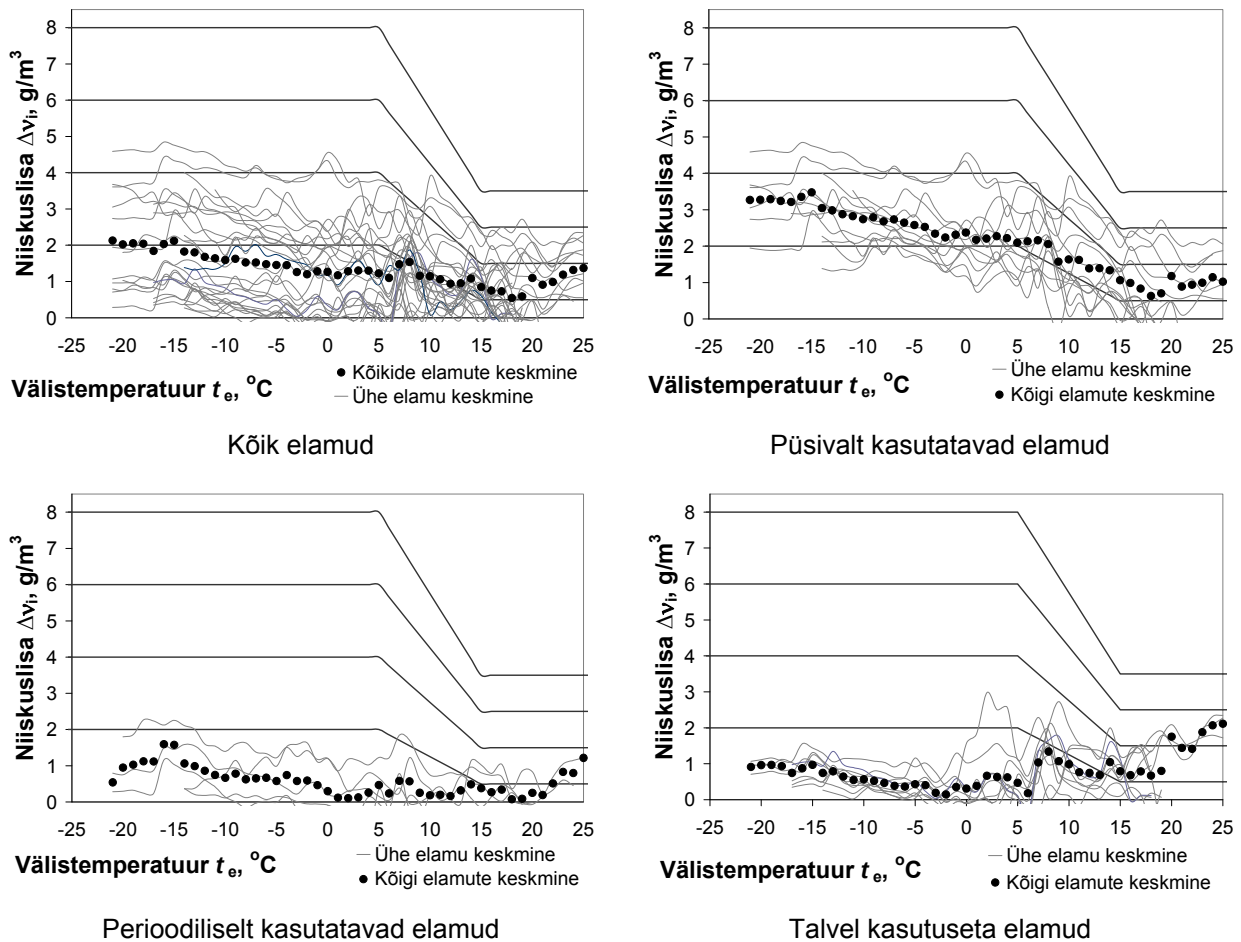
Perioodiliselt kasutatavad elamud



Talvel kasutuseta elamud

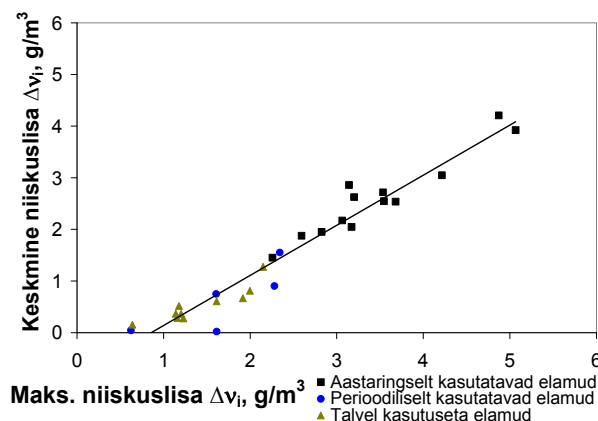
Joonis 5.3 Nädala keskmise maksimaalse niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist.

Kõikide mõõdetud elamute keskmise niiskuslisa ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused on toodud järgneval joonisel (Joonis 5.4), lisaks on välja toodud püsivalt köetavate, perioodiliselt köetavate ja suvilate sõltuvused. Köetavate elamute keskmine niiskuslisa on talvel vahemikus 0...4g/m³, perioodiliselt köetavates ja suvilates on niiskuslisa alla 2g/m³.



Joonis 5.4 Keskmise niiskuslisa sõltuvus välitemperatuurist.

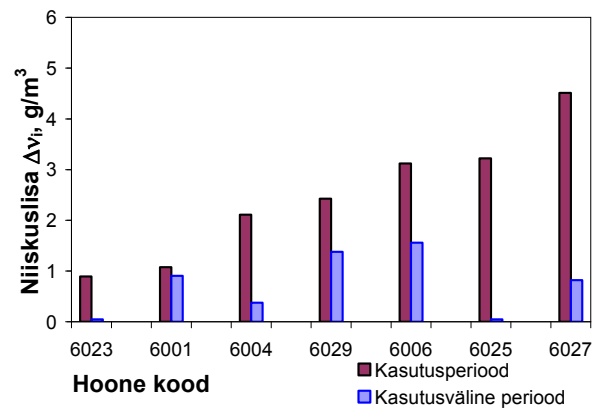
Võrreldes niiskuslisa maksimaalset ja keskmist suurust, on näha (vt. Joonis 5.5), et hoone kasutusest sõltumatult on maksimaalne niiskuslisa suurusjärgus 1 g/m³ suurem keskmisest niiskuslisast. See omadus on tulemuste rakenduse suhtes hästi kasutatav. Näiteks, kui külmasildade hindamiseks on vaja teada ruumide niiskuskooormust, saab sisekliima lühemaajalise (2...4 nädalat) mõõtetulemuse alusel hinnata niiskuskooormuse normatiivsuurust, kui keskmisele suurusele lisada 1 g/m³.



Joonis 5.5 Keskmise ja maksimaalse niiskuslisa võrdlus.

Perioodiliselt köetavate ja kasutatavate elamute niiskuslisa andmed on jagatud kaheks: kasutusperioodiks ja kasutusväliseks perioodiks. Kuna niiskuslisa on talvel ($t_e \leq +5$ °C) suhteliselt püsiv suurus, võib kasutada tulemuste analüüsis ka talveperioodi keskmist niiskuslisa. Joonis 5.6-l on toodud talveperioodi keskmine niiskuslisa elamu kasutusaegsel ja kasutusvälisel perioodil. Perioodiliselt kasutatava elamu niiskuskooormus on kasutusaaja välisel perioodil

väiksem kui kasutusperioodil, sest kasutusaja välisel perioodil niiskustootlus elamus puudub või on väga minimaalne. Kuigi kasutusaja välisel perioodil võib olla niiskuskooormus väiksem, ei võimalda see kasutada projekteerimisel seda väiksemat niiskuskooormust, kuna kasutusaegne niiskuskooormus on võrdne tavapärase elamuga, kus arvutuslik siseõhu niiskuskooormus on $\Delta v = 4 \dots 6 \text{ g/m}^3$.



Joonis 5.6 Hoone kasutuseaegse ja kasutusaja välise niiskulisa võrdlus.

6 Külmasillad

Külmasild on tarindi osa, mille soojusjuhtivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad võivad olla põhjustatud ehituskonstruktivistest lahendustest (tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigud jne.) või tulenevad geomeetristest põhjustest (välisseina välisnurk, tarindi paksuse lokaalne muutus jne.).

Külmasilla juures on tarindi sisepinnatemperatuur madalam ja välispinnatemperatuur kõrgem. Lisaks külmasildadele võivad sisepinnatemperatuuri lokaalset alanemist põhjustada ka vea soojustuse paigalduses, soojustuse puudumine, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhutõkke lekkes ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus.

Külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis mitmel põhjusel:

- Külmasilla suuremast soojusjuhtivusest põhjustatud madalam sisepinnatemperatuur 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 toatemperatuuril algab 75...80% juurest.
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust, tulenevalt eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest.
- Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures on hoone soojuskadude külmasildade suhteline osakaal kasvanud.

Kuna hoone välispiirete (välisseinte, põrandate ja katuste) soojuskadud arvutatakse välispiirdeosa soojusjuhtivuse ja sisemõõtudega arvatud pindala järgi, tuleb nurkade (välissein-välissein, põrand-välissein ja katuslagi-välissein) lisasoojuskadud võtta eraldi arvesse geomeetriste joonkülmasildade lisajuhtivustega. Lisajuhtivus on soojuskadu vattides külmasilla kaudu, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. Ka muud võimalikud tarinditest tulenevad külmasillad (nt. akna seinakinnituse sõlm, jäigastussidemed, müüriankrud) võetakse arvesse vastava külmasilla lisajuhtivusega. Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne lisajuhtivus keskmiseks välispiirde soojusjuhtivuseks, jagades välispiirde summaarse lisajuhtivuse kasutatava arvutustarkvara reeglite järgi määratud välispiirde pindalaga.

6.1 Meetodid

6.1.1 Mõõtmine

Külmasildade analüüs kasutati nii mõõtmist termovisiooni infrapunakaameraga kui ka arvutuslikku analüüsi.

Termovisiooni infrapunakaameraga mõõtmine põhineb kehadelt kiirguva soojusenergia mõõtmisel. Keha, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, s.o. $-273,15\text{ °C}$, kiirgab soojusenergiat. Termovisiooni infrapunakaamera abil mõõdetakse kehalt või esemelt kiirgunud või peegeldunud soojusenergiat ja teades keskkonnatingimusi ning kiirgava pinna omadusi, saab arvutada selle pinna temperatuuri. Termograafia abil on võimalik ehitustehnikas teha mitmeid uuringuid ilma tarindeid avamata. Termograafia abil on võimalik eelkõige:

- määrata hoonepiirete pinnatemperatuuride ebaühtlust, mis viitab soojusjuhtivuse ja niiskussisalduse ebaühtlusele;
- hinnata erinevate pinnatemperatuuride alusel, kui palju erineb hoonepiirete soojusjuhtivus;
- leida õhulekkekohti ja hinnata nende suurust, tehes termograafilised mõõtmised normaalingimustes ja ala- või ülerõhu tingimustes;
- 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 soojusjuhtivust.

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

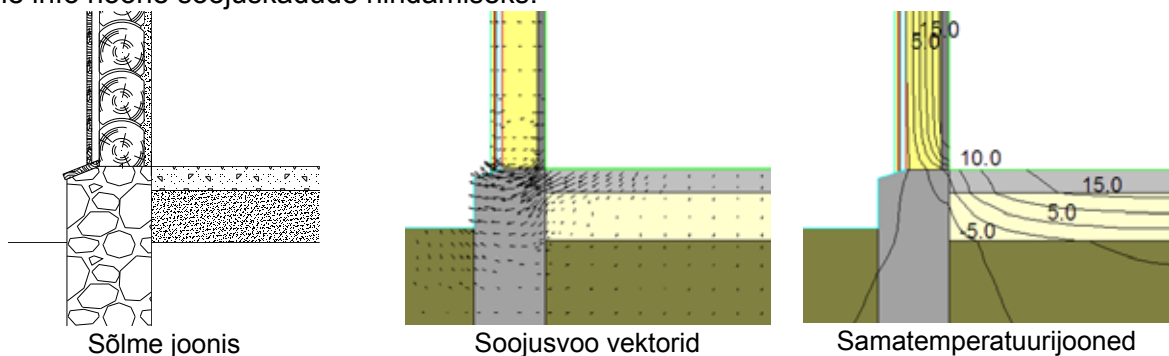
- kvaliteetsed mõõteriistad,
- kogenud mõõtja,
- termopiltide korrektne tõlgendus.

Käesolevas uurimistöös kasutati FLIR Systems E320 – termokaamerat (mõõtevahemik – 20 °C...+500 °C, tundlikkus: 0,10 °C, mõõtmistäpsus: ± 2 °C, +2 % (kordusmõõtmisel: ± 1 °C, +1 %), sensor: 320 × 240 pikslit).

Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri taotluslik erinevus >20 °C. Lisaks mõõtmisaegsele sise- ja välistemperatuurile on ka äärmiselt oluline, et mõõtmisele eelnevalt oleks selline temperatuuride vahe ühtlaselt püsinud pikemat aega. Kui öösel langeb temperatuur 0 °C juurde ja sisetemperatuur on 20 °C, ei tähenda see seda, et mõõtmise jaoks oleksid sobivad keskkonnatingimused. Vaja on pikemaajalisemat püsivat temperatuurierinevust.

6.1.2 Külmasildade hindamine temperatuurivälja arvutusmeetodiga

Külmasilla kriitilisust saab hinnata arvutusliku temperatuurindeksi abil. Külmasilla lisajuhtivus on oluline info hoone soojuskadude hindamiseks.



Joonis 6.1 Külmasild soklisõlmes

Käesolevas uuringus on kasutatud temperatuurivälja arvutusprogrammi THERM 6.3. Arvutustes määrati kõikidele pindadele temperatuurid ja soojustakistused ning materjalidele soojuserijuhtivused. Liitekohta genereeritud võrgustiku abil arvutati soojuste vool tarindite liitekohtade kaudu, arvestades erinevate materjalide omadusi ning materjalide paiknemist nendes liitekohtades.

Materjalide soojuserijuhtivused on toodud Tabel 6.2. Liitekohta genereeritud võrgustiku abil arvutati soojuste vool tarindite liitekohtade kaudu, arvestades erinevate materjalide omadusi ning materjalide paiknemist nendes liitekohtades.

Külmasilla soojuste lisajuhtivuse arvutustes ja külmasilla temperatuurindeksi arvutustes on kasutatud erinevaid sisepinnatakistuste suurus, sest energiaarvutus (külmasilla lisajuhtivus) tehakse keskmiste suuruste järgi, niiskustehnilise toimivuse arvutus (külmasilla temperatuurindeks) tehakse kriitiliste suuruste alusel (üldiselt kasutatakse kriitilisuse taset, kus 90% olukordadest ei ületa määratud taset ja 10% olukordadest ületab määratud taset). EVS-EN ISO 10211-1:2000 standard soovib külmasilla kriitilisuse arvutustes kasutada järgmisi sisepinna soojustakistusi, vt. Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Arvutustes kasutatud pinna soojustakistuste suurused

	Pinna soojustakistus sõltuvalt soojusvoolu suunast		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein)	Alla (põrand)
R_{si} , (m ² ·K)/W	0,10	0,13	0,17
R_{se} , (m ² ·K)/W	0,04	0,04	0,04

Tabel 6.2 Arvutustes kasutatud materjalomadused

Materjal	Soojuserijuhtivus λ , W/(m·K)
Palk ja laudis	0,12
Maakivi (vundament)	3
Betoon	1,7
Krohv	0,6
Kuiv liiv	0,25
Mineraalvill	0,04
Kergkruus	0,16
Vahtpolüstüreen	0,04
Kuiv saepuru	0,08

6.1.3 Külmasilla kriitilisuse hindamine

Külmasillast põhjustatud madalama sisepinnatemperatuuri kriitilisuse määrab sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavaheline suhe, e. temperatuuriindeks, f_{Rsi} : (Hens 1990, EVS-EN ISO 13788:2001, vt. 6.1)

$$f_{Rsi} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} \quad (6.1)$$

kus:

- f_{Rsi} temperatuuriindeks, -;
- R_T piirdetarindi kogusoojustakistus, m²·K/W;
- R_{si} piirdetarindi sisepinna soojustakistus, m²·K/W.
- t_{si} sisepinnatemperatuur, °C;
- t_i sisetemperatuur, °C;
- t_e välistemperatuur, °C.

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

Eesti elamute kohta kehtivad külmasilla temperatuuriindeksi piirsuurused vt. Tabel 6.3. Kui ruumides on niiskuskooormus suurem, peavad hoonepiirded ja külmasillad olema paremini soojustatud. Valdavalt tuleb kasutada hallituse tekke vältimise kriteeriumit.

Tabel 6.3 Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused

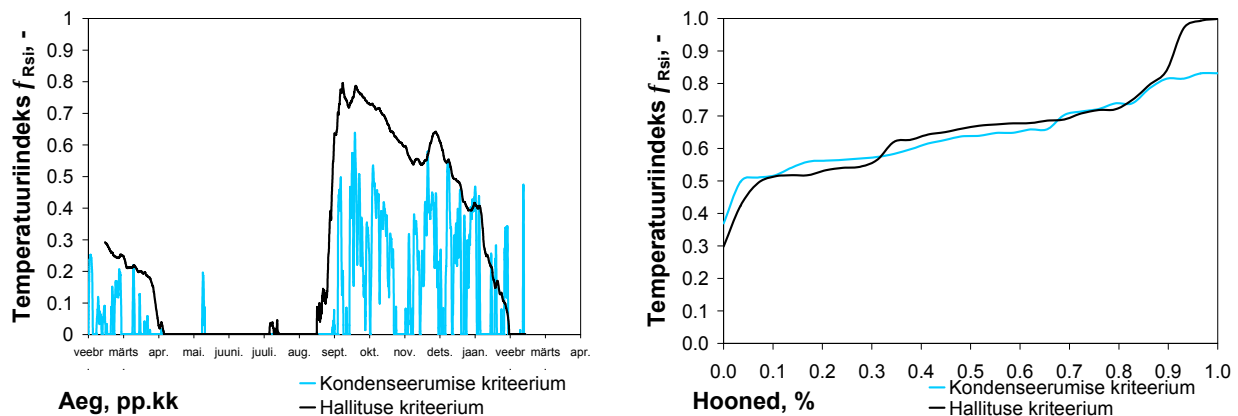
Niiskuskooormus	Temperatuuriindeksi piirsuurus f_{Rsi} - (mõõdetud või arvutatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuselisa talvel +4 g/m ³ ja suvel +1,5 g/m ³ – need on väikese niiskuskooormusega ja hea ventilatsiooniga elamud.	≥0,65	≥0,55
Niiskuselisa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

Kütmata ruumide korral on sisetemperatuur talvel madalam, mis on külmasilla suhtes kriitilisem: madalam sisetemperatuur tõstab veelgi külmasilla sisepinna suhteline niiskust.

Uuritud elamute sisekliima mõõtetulemuste baasil arvutati temperatuuriindeksi piirsuurus, mis on antud elamule kriitiline:

- kondenseerumise kriteeriumi korral kasutati ööpäeva keskmisi kliimaandmeid, hallituse kriteeriumi korral kasutati kuu keskmisi kliimaandmeid;
- hallituse kasvu kriteeriumiks kasutati temperatuuri ja suhtelise niiskuse sõltuvust, Joonis 4.1;
- sisetemperatuuri ja -suhtelise niiskuse andmete alusel arvutati kondenseerumise ja hallituse suhtes kriitiline pinnatemperatuur;
- kasutades välistemperatuuri, sisetemperatuuri ja arvutatud pinnatemperatuuri, arvutati elamu mõõteperioodiaegne maksimaalne temperatuuriindeks;
- kui termograafiliste mõõtmiste korral mõõdetav külmasilla temperatuuriindeks on suurem maksimaalsest arvutatud aktsepteeritavast temperatuuriindeksist, ei teki külmasillal niiskustehnilisi riske.

Temperatuuriindeksi muutus sisekliima mõõteperioodi jooksul ühes elamus ja kõikide elamute maksimaalsete temperatuuriindeksite jaotus vt. Joonis 6.2-l. Kasutades maksimaalsuurustest 90 % fraktiili on maaelamutes temperatuuriindeksi kriitiline tase 0,85. Kuigi uuritud elamutes on niiskuskooormus sarnane eramutega üldiselt, põhjustab suuremat temperatuuriindeksi piirsuurust madalam sisetemperatuur.



Joonis 6.2 Temperatuuriindeksi muutus sisekliima mõõteperioodi ühes elamus ja kõikide elamute maksimaalsete temperatuuriindeksite jaotus.

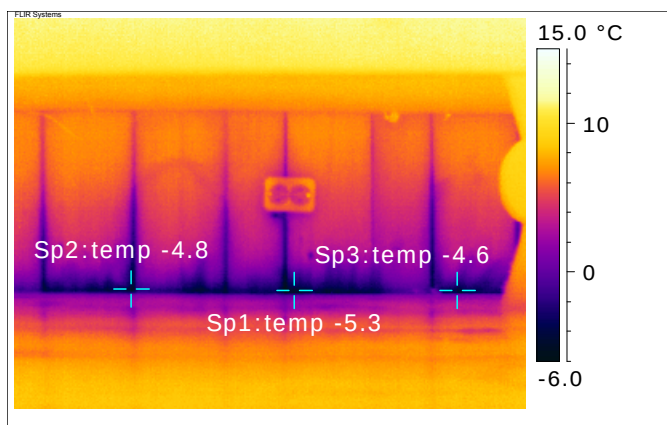
Temperatuuriindeksi piirväärtusi tuleb võrrelda normaaltingimustes (ilma täiendava alarõhuta) tehtud termograafiliste mõõtmistulemustega. Hoone normaaltingimuste mõõtmine tuleb läbi viia töötava ventilatsiooniga. Kui hoones on suur alarõhk (näiteks väljatõmbeventilatsioon + ebapiisav arv värseõhuklappe), siis näeb õhulekkekohtade mõju pinnatemperatuurile ka ilma täiendava alarõhu tekitamiseta.

6.2 Tulemused

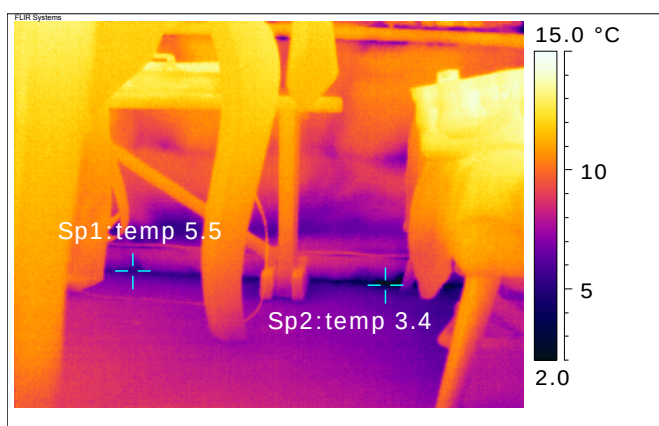
6.2.1 Mõõtmistulemused

Termografeerimine viidi läbi 16 uuritavas elamus. Termografeerimised viidi läbi peamiselt seestpoolt, kuna seestpoolt termografeerimine võimaldab paremini hinnata külmasildade kriitilisust. Väljastpoolt termografeerimine, mis võimaldab visualiseerida külmasildade ulatust ja peamisi paiknemiskohti, viidi läbi valitud elamutes.

Palksein on soojuslikult homogeenne tarind, kus probleemseid konstruktiivseid külmasildu esines üldiselt vähe. Konstruktiivsed külmasillad paiknesid eelkõige palkseina ja kivitarindite liitekohas: sokli sõlm, korstna läbiviik, liitumised kiviseintega, akna sõlm jne. Külmasillana toimib ka betoonpõrand, kui on valatud vastu vundamenti. Geomeetrilised külmasillad paiknesid välisseina välisnurgas ning akna/ukse ja välisseina liitumiskohas.

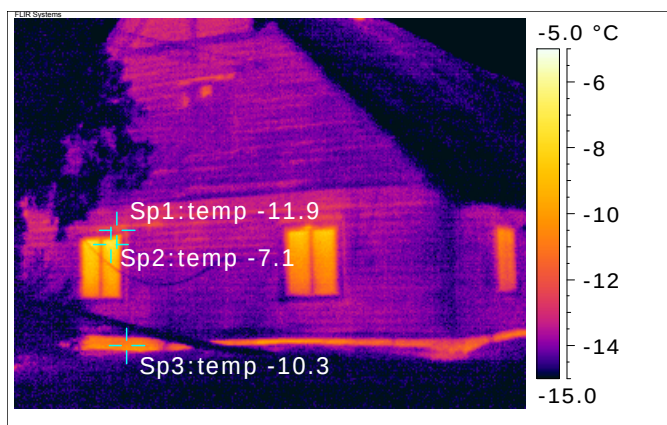


Joonis 6.3 Oluline külmasild ($f_{RSi}=0,4$) põranda ja välisseina liitekohas: vasakul termopilt normaalrõhu juures, paremal on näha samast kohast tehtud foto.

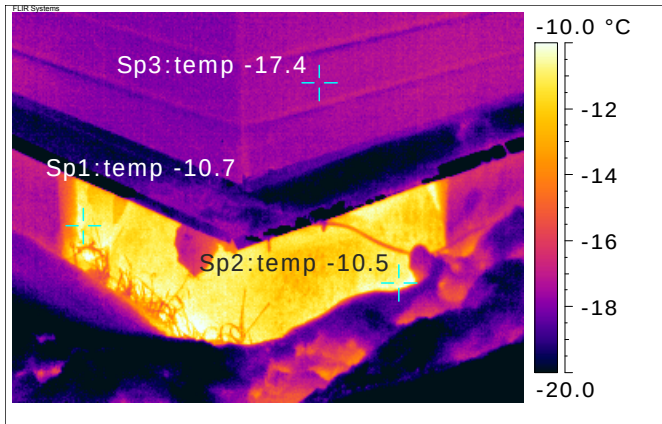


Joonis 6.4 Oluline külmasild ($f_{RSi}=0,20$) põranda ja välisseina liitekohas, kus betoonpõrand on valatud vastu vundamenti. Vasakul termopilt normaalrõhu juures, paremal on näha samast kohast tehtud foto.

Väljastpoolt termografeerimisel tulevad kõige paremini välja külmasillad läbi vundamendi. Joonis 6.5 näitab ilmekalt, et soojustamata põranda ja vundamendi korral lahkub vundamendi kaudu märgatav hulk soojust.



Joonis 6.5 Külmasild läbi sokli. Vasakul termopilt väljast ja paremal samast kohast tehtud foto.

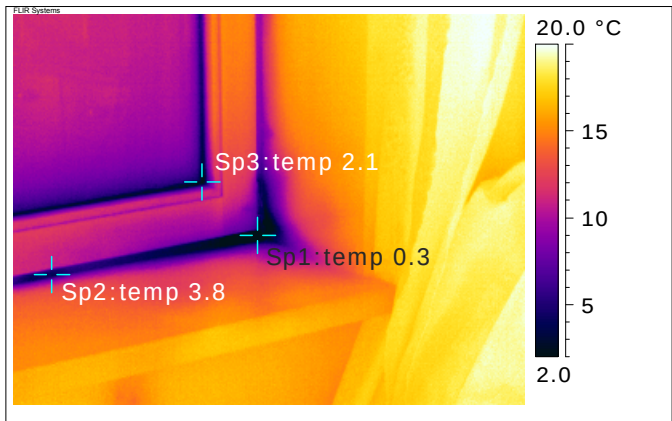


Joonis 6.6 Kohalik külmasild vundamendi nurgas. Vasakul termopilt väljast ja paremal samast kohast tehtud foto.

Järgnevatel joonistel on toodud renoveeritud elamutes uue plastakna ja uute puitakende võrdlus. Joonis 6.7 toodud akna lengi piirkonnas on oluline külmasild, kuna akna leng on ainult ~7 cm paks. Joonis 6.8 toodud kahe raamiga ja ~15 cm paksuse lengiga puitakende juures külmasilda ei esine.



Välistemperatuur -10 °C
Sisetemperatuur +19 °C

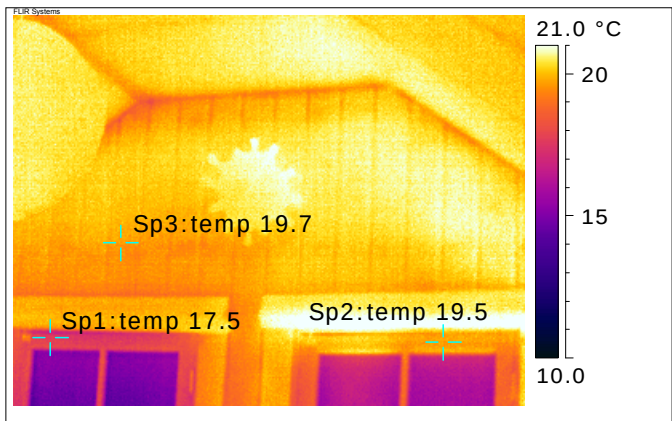


$f_{Rsi} \text{ Sp1}$ 0,36
 $f_{Rsi} \text{ Sp2}$ 0,47
 $f_{Rsi} \text{ Sp3}$ 0,42

Joonis 6.7 Külmasild akna alumises nurgas. Vasakul termopilt ja paremal samast kohast tehtud foto.



Välistemperatuur +2 °C
Sisetemperatuur +20 °C

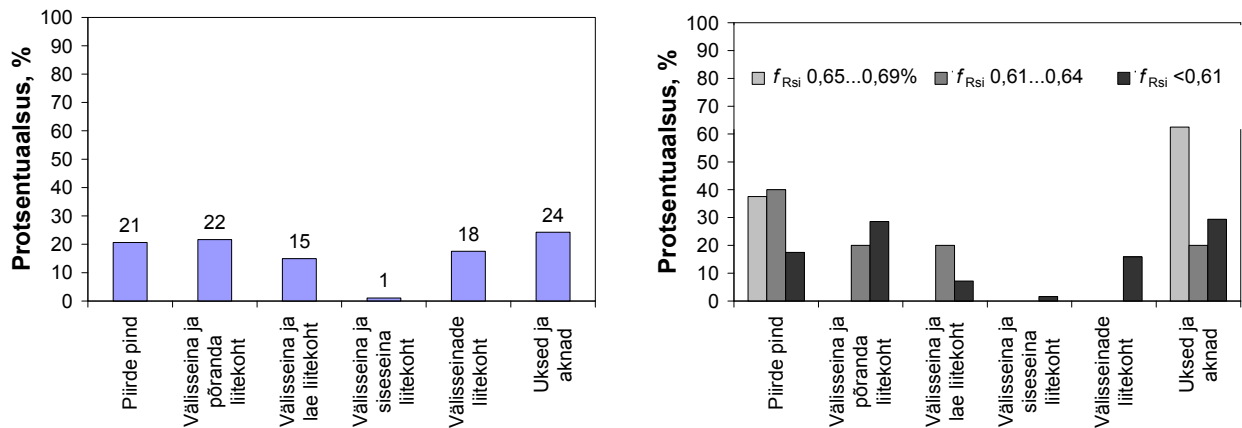


$f_{Rsi} \text{ Sp1}$ 0,84
 $f_{Rsi} \text{ Sp2}$ 0,95
 $f_{Rsi} \text{ Sp3}$ 0,96

Joonis 6.8 Uued kahe raamiga puitaknad: külmasilda ei ole. Vasakul termopilt ja paremal samast kohast tehtud foto.

Järgnevalt on toodud külmasildade (sisaldab õhulekkeid normaalarhul) jaotus hoone erinevates osades (Joonis 6.9 vasakul). Vaheseinte ja välisseinte liitekohas esines vaid üks külmasild. Piirde pinnal, välisseina ja pörandi liitekohas, välisseina ja lae liitekohas, välisseinte liitekohas ja uste ning akende ümber esines külmasildu võrdselt, kuid suurest piirde soojusjuhtivusest tingitud külmasillad domineerisid välisseina ja pörandi liitekohas.

Joonis 6.9 paremal on toodud külmasildade kriitilisus. Kõige rohkem kriitilisi külmasildu, mille $f_{Rsi} < 0,61$, esineb uste ja akende ümber ning välisseina ja pörandi liitekohas.



Joonis 6.9 Külmasildade ($f_{Rsi} < 0,8$) peamised asukohad (vasakul) ja külmasildade kriitilisus (paremal).

6.2.2 Arvutustulemused

Arvutuslikult analüüsiti erinevaid tarindite liitekohti, et selgitada välja arvutuslikud soojuse lisajuhtivuse ja temperatuuriindeksi suurused.

Tabel 6.4 Arvutuslikud külmasilla lisajuhtivused ja temperatuuriindeksid lihtsustatud olemasolevate konstruktsioonilahenduste näitel

Sõlm ja arvestatud materjalide paksused	Soojuse lisajuhtivus Ψ , W/(m ² •K)	Temperatuuriindeks f_{Rsi} , -
Seina nurk – palk 150 mm	0,05	0,80
Seina nurk – palk 150 mm + mineraalvill 50 mm + tuuletõke 20 mm	0,01	0,88
Välisseina / pööningu vahelae liitekoht:		
• pööningu vahelagi – krohv 30mm + laudis 30mm + saepuru 150 mm	0,15	0,87
• välissein – palk 150 mm		
Välisseina / pööningu vahelae liitekoht:		
• pööningu vahelagi – laudis 30 mm + liiv 100 mm	0,04	0,91
• välissein – palk 150 mm		
Vundamendi sõlm:		
• sein – palk 150 mm	0,07	0,67
• pörand – laudpörand 40 mm		
Vundamendi sõlm:		
• sein – palk 150mm + soojustus 100 mm + tuuletõke 20 mm	0,27	0,72
• pörand – polüstüreen 150 mm + õhuvahe 50 mm + laudis 40 mm		
Vundamendi sõlm:		
• sein – palk 150 mm	0,61	0,41
• pörand – killustik / kruus 200 mm + betoon 100 mm		
Vundamendi sõlm:		
• sein – palk 150 mm + soojustus 50 mm + tuuletõke 20 mm	0,16	0,68
• pörand – kergkruus 300 mm + laudis 40 mm		

7 Hoonepiirete õhupidavus

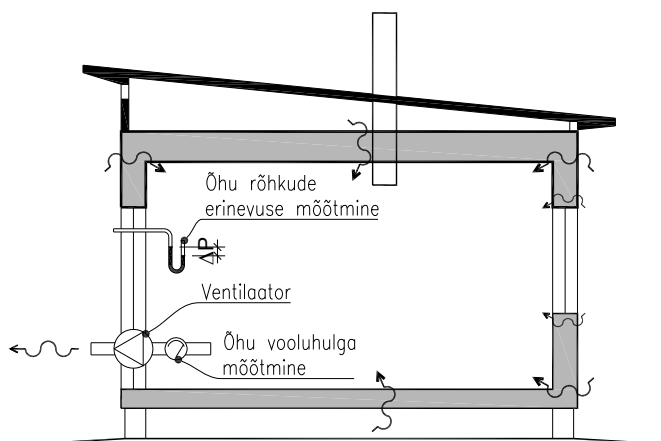
Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub planeerimatu ja kontrollimatu õhuvoolu näol pragude ja ebatiheduste kaudu hoone piiretes. Õhu infiltratsioon ja tema mõju sõltub hoonepiirete õhupidavusest, lekkekohtade paiknemisest, õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret, kasutatavate materjalide omadustest ja kliimatingimustest. Õhurõhkude erinevust kahel pool piiret põhjustavad tuul, temperatuuride erinevus (nn. korstna efekt) või ventilatsiooni õhuvooluhulkade erinevus.

Hoonepiirete suure õhulekkega võivad olla seotud mitmed probleemid:

- niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, niiskuse kondenseerumine;
- hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, õhusaaste ja ebasoovitavate lõhnade liikumine;
- piirde pindade alajahtumine;
- sisekliima kvaliteet, tuuletõmbus;
- ventilatsioonisüsteemide toimivus;
- müraprobleemid;
- tuleohutus.

7.1 Meetodid

Hoonepiirete õhupidavus mõõdeti standardi EVS EN 13829 järgi. Elamu välisukse avasse paigaldati mõõteseade (Minneapolis Blower Door Model 4": mõõteala 50 Pa juures 25 m³/h...7.800 m³/h, täpsus ±3 %), mis koosnes muudetava suurusega raamist, õhutihedast kangast, ventilaatorist ja mõõte- ning juhtimisadmetest (vt. Joonis 7.1).



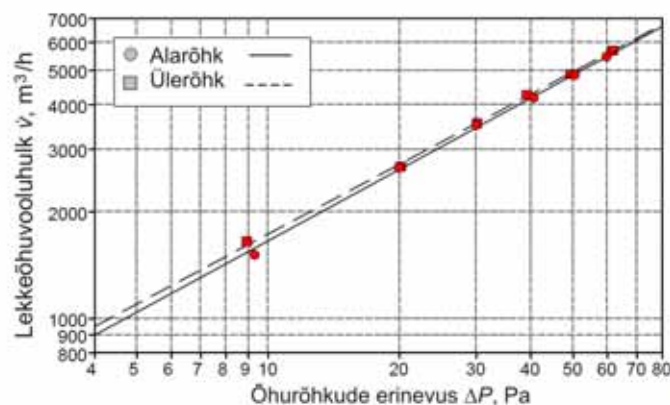
Joonis 7.1 Hoonepiirete õhupidavuse mõõtepõhimõte (vasakul) ja mõõteseade (paremal).

Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmiseks suleti kõik välispiirdes olevad suletavad avad ehk ukSED ja aknad normaalasendis, värskõhuklapid ja ventilatsioonisüsteem teibiti kinni (vt joonis 2.2). Ahjude ja kaminade avad teibiti samuti kinni, sest alarõhu tingimustes võib sealt tahma tuppa tulla. Sisemised vaheuksed jäeti avatuks. Lisaks kontrolliti, et põrandatrappide haisulukkudes oleks vesi. Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmisel lähtuti eelkõige sisekliima tagamisest eluruumides. Näiteks eluruumidega piirnevad kütmata kuurid, garaaž või muud abiruumid jäeti mõõtmisest välja (vaheuks suleti ja teibiti vajadusel kinni (tihendite puudumise või väikese õhutiheduse korral)).



Joonis 7.2 Hoonepiirete õhupidavuse mõõtmise ajaks suleti kõik küttekolded ja ventilatsiooniavad.

Mõõteseadme ventilaator tekitab sise- ja väliskeskkonna vahele soovitud õhurõhkude erinevuse. Katse käigus mõõdeti õhuvooluhulka, mis oli vajalik tekitatud rõhuerinevuse hoidmiseks. Sama õhuhulk, mis läbis ventilaatorit, tuli ka hoonesse piirete ja pragude kaudu. Lekkeõhu hulka mõõdeti erinevate õhurõhkude nii alarõhu kui ka ülerõhu tingimustes 10 Pa sammuga, 0...±60 Pa. Alarõhu- ja ülerõhu mõõtmistulemuste trendijoonelt loetakse lekke õhuvooluhulk 50 Pa juures, millest arvutati keskväärts (vt joonis 2.3).



Joonis 7.3 Hoonepiirete õhulekke graafik: lekkeõhuvooluhulga sõltuvus õhurõhkude erinevusest.

Enne ja pärast lekkeõhuhulga mõõtmist mõõdeti sise- ja väliskeskkonna vaheline loomulik õhurõhkude erinevus ning sise- ja välistemperatuur. Nende alusel korregeeriti mõõtetulemust.

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 teatud õhurõhkude erinevus (tavaliselt 50 Pa). Kuna valmis hoone erinevate piirete õhupidavust eraldi mõõta polnud võimalik, mõõdeti kogu hoone õhupidavus ja väljendati see kõikide piirete keskmise õhulekkena. Lisaks on hoone õhupidavust iseloomustatud ka n_{50} arvu abil. n_{50} mõõtühikuks on $1/\text{h}$ ja see väljendab õhuvahetuskordsust hoones, kui õhurõhkude erinevus kahel pool piiret on 50 Pa. Õhupidavuse mõõtemetod on mõlemal puhul sama. Kui tulemus esitatakse õhulekkearvuna (ühik $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool hoone välispiirete sisepindalaga, ja kui õhupidavust väljendatakse õhuvahetuskordsusena n_{50} (ühik $1/\text{h}$), jagatakse 50 Pa juures mõõdetud lekkeõhuvool hoone siseruumide kubatuuriga.

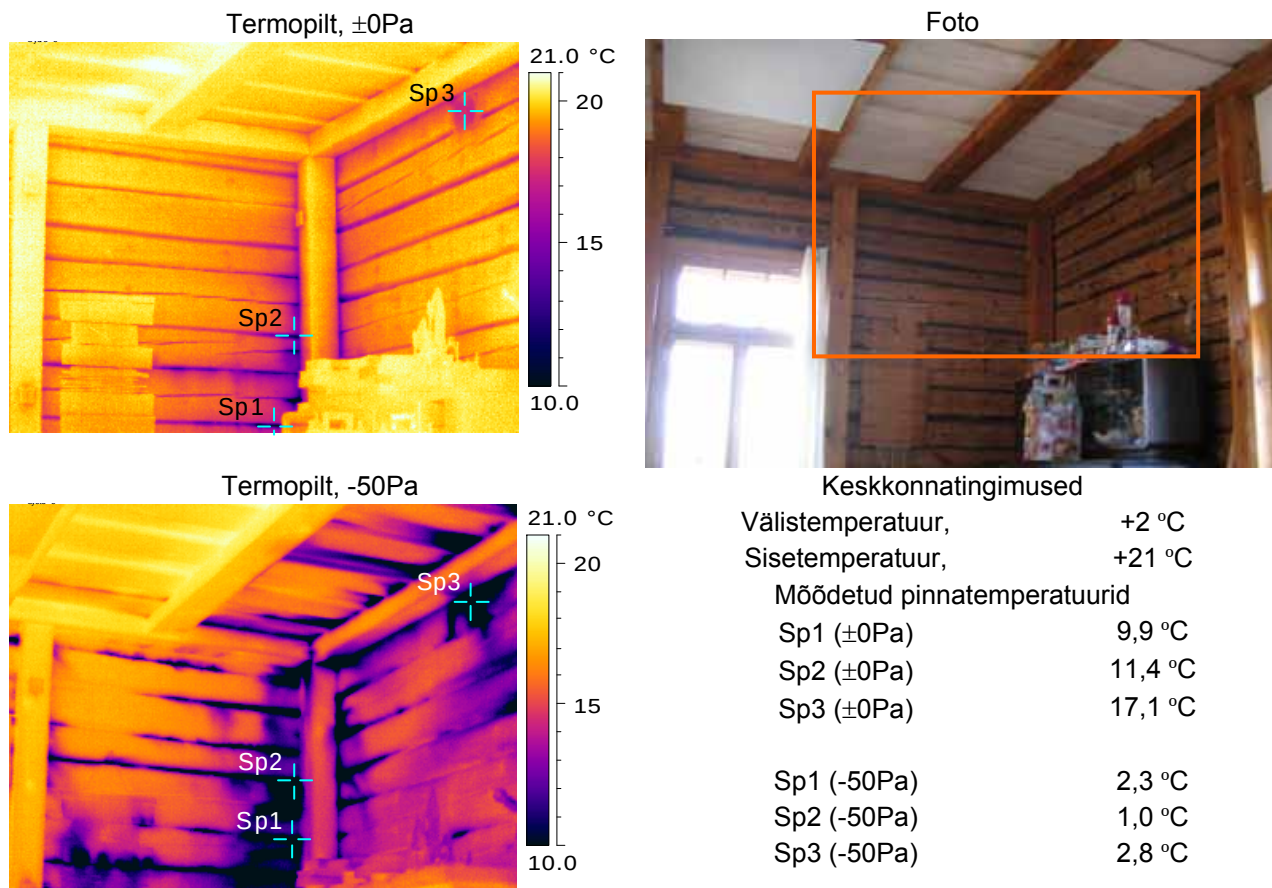
Hoonepiirete õhupidavust võib iseloomustada ka õhulekkepindalaga, mida õhk läbib teatud rõhuerinevuste juures. See aitab paremini visualiseerida, kui suur auk on välispiirdes. Kasutatakse kahte õhulekkepindala:

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

EqLA defineeris Kanada rahvuslik uurimisasutus (Canadian National Research Council) ja see näitab ümmarguse teravaservalise ava pindala, mille kaudu lekib sama palju õhku, kui läbi kõikide hoone 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 kõikide hoone piirete kaudu 4 Pa juures.

Õhulekkekohtade ja külmasildade tuvastamiseks kasutati termograafia infrapunakaamerat (FLIR Systems E320: mõõtevahemik $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +500\text{ }^{\circ}\text{C}$, tundlikkus: $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$, mõõtmistäpsus: $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+2\%$ (kordusmõõtmisel: $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+1\%$)) ja märkesuitsu andureid.

Õhulekkekohtade leidmiseks termograafia infrapunakaamera abil mõõdeti piirdepinna temperatuurid kaks korda: esmalt elamu tavatingimustes (et leida külmasillad ja õhulekke mõju normaalingimustes) ja seejärel samadest kohtadest uuesti, kui elamu on 20...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 $>20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Joonis 7.4-l on toodud näide õhulekkekoha tuvastamisest termograafia infrapunakaamera abil.



Joonis 7.4 Termograafia infrapunakaamera abil õhulekkekohtade leidmine.

7.2 Tulemused

Õhupidavust mõõdeti 24 elamus. Õhupidavus on mõõdetud õhulekkestiga ja tulemused on esitatud kahel viisil:

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

Kõigi mõõdetud elamiseks kasutatud elamute keskmine õhulekkearv $q_{50} = 15 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja õhuvahetuvus 50 Pa juures $n_{50} = 22 \text{ h}^{-1}$. Energiaarvutustes kasutatav õhulekkearvu baasväärtus (põhineb normaaljaotusejärgse valiku 50% fraktili 95% tõenäosusel) vanemate maaelamute jaoks on $q_{50} = 18 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ja õhuvahetuvus 50 Pa juures $n_{50} = 26 \text{ h}^{-1}$.

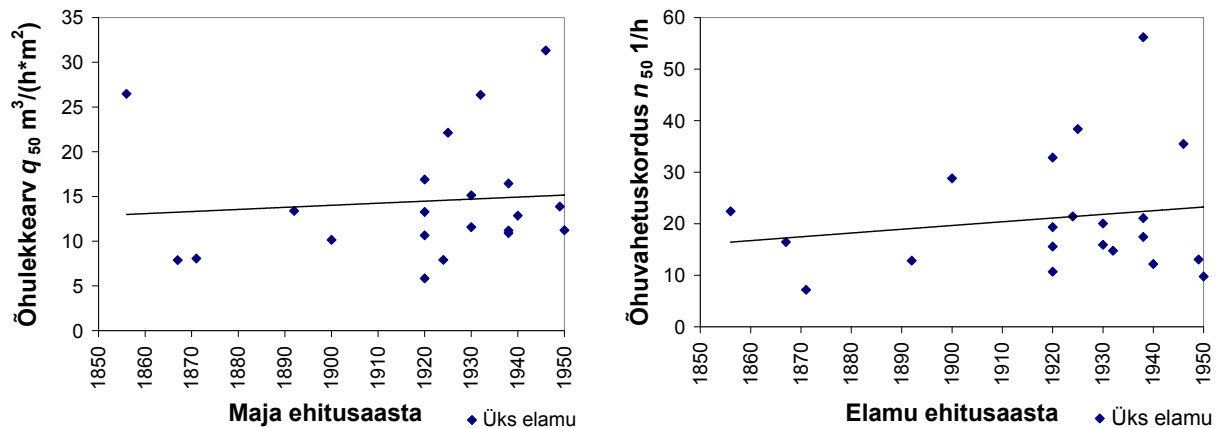
Mõõtmisandmete analüüsist on välja jäetud Eesti Vabaõhumuuseumis mõõdetud taluelamu õhupidavuse väärtus, kuna hoone ei ole elamuna kasutuses. Tabel 7.1 esitab kõik käesoleva uurimuse käigus mõõdetud elamute õhupidavuse tulemused.

Tabel 7.1 Korterite õhupidavuse tulemused

Elamu kood	Õhulekkearv q_{50} , $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	Õhuvahetuvus @50Pa, n_{50} , h^{-1}	EqLA @ 10Pa, mm^2/m^2	LBL ELA @ 4Pa, mm^2/m^2
6001	17	19	2202	1205
6002	11	13	1815	988
6004	26	38	1891	996
6005	13	29	1024	562
6006	10	17	424	214
6007	7,9	11	1258	635
6009	5,8	7,2	625	325
6012	17	20	1727	934
6013	12	16	1111	576
6014	13	18	1242	651
6018	13	22	1098	635
6019*	68	105	5311	3000
6020	7,9	13	512	264
6022	8,1	9,8	1140	599
6023	31	38	2872	1611
6024	27	36	3867	2341
6025	9,6	13	781	395
6026	11	16	847	434
6027	31	56	880	390
6028	14	21	1137	572
6029	13	17	1238	676
6030	11	15	1200	632
6031	22	33	1463	808
6032	15	21	1059	559
Keskmine	15	22	1367	739
Baasväärtus	18	26	1633	901

* Ei ole elamuna käigus (muuseumihoone) ja seetõttu ei osale edasises analüüsis.

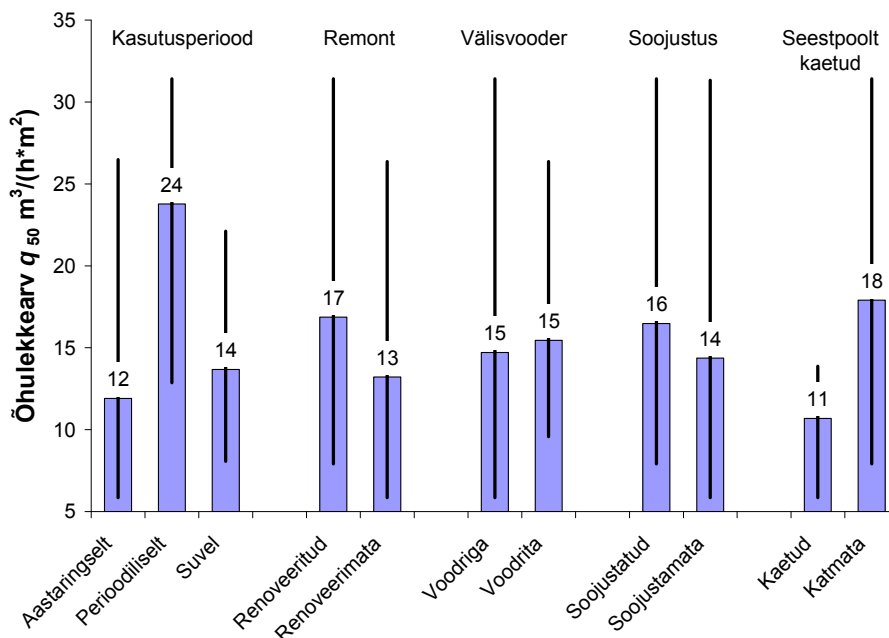
Tuginedes Joonis 7.5 võib väita, et elamu õhulekkearv ja õhuvahetuskordsus ei sõltu otseselt elamu ehitusaastast.



Joonis 7.5 Elamu vanuse mõju elamu õhulekkearvule q_{50} ja õhuvahetuskordsuse n_{50} suurusele.

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

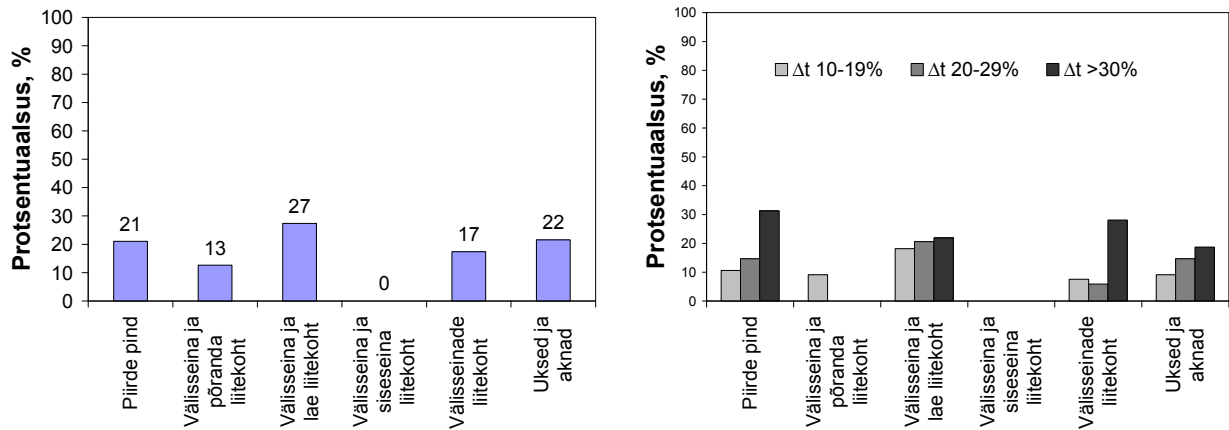
Keskmiselt ligi kaks korda väiksema õhulekkega olid elamud, mis olid seestpoolt krohvitud (või küllaltki õhutihedalt vineeriga kaetud), vt. Joonis 7.6. Lisaks saab mõõtmiste põhjal väita, et kui inimesed elavad elamus aastaringelt, siis on elamute välispiirded ka oluliselt paremini tihendatud. Uuritud elamute põhjal elamu remont, soojustamine ja välisvooder hoonepiirete õhupidavust oluliselt ei mõjutanud. Renoveeritud elamute õhuleke oli suurem kui renoveerimata elamute oma. Kuna renoveeritud elamute õhupidavust enne renoveerimist ei mõõdetud, ei saa välja tuua renoveerimise mõju õhupidavuse muutusele. Renoveeritud elamute suurem õhuleke võib olla põhjustatud asjaolust, et renoveerimise käigus on sisemine pagi pind üldjuhul välja puhastatud. Sellega eemaldati ka seina sisekrohv, millel on oluline mõju hoone õhupidavusele.



Joonis 7.6 Õhulekkearvu q_{50} sõltuvus elamu kasutusest, remondist ja välisseina konstruktsioonist. Statistiliselt oluline on vaid seestpoolt katmine.

7.3 Õhulekkekohad

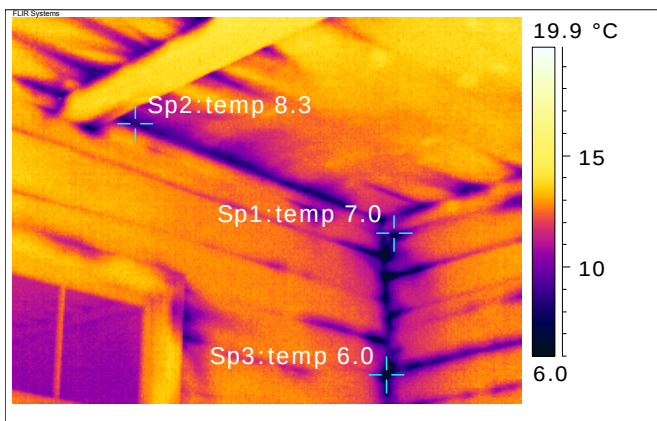
Kuigi väikese õhupidavusega piirded toimivad osana ventilatsioonist ja madalama niiskusega sisekliima tagamisel, tuleb ventilatsioon suuremat energiatõhusust silmas pidades siiski lahendada kontrollitult (tuulutuspilud ja/või mehaaniline ventilatsioon). Termograafia mõõtmistel tulid välja peamised õhulekkekohad palkhoonetel, milleks olid laetalade läbiviigud välisseinast, akna- ja ukسلengide ümbrus ja nurgatappidest (eelnimetatud kohtades oli suur õhuleke kõigis uuritud elamutes, mis polnud seestpoolt krohvitud), vt. Joonis 7.7.



Joonis 7.7 Õhulekkekohtade peamised asukohad (vasakul) ja kriitilisus (paremal).

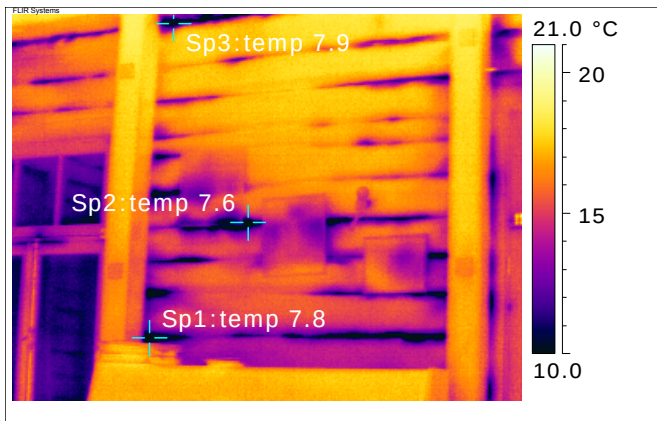
Seinte ja seinatappide õhupidavus

Kõigil rõhtpalkelamutel on konstruktiivselt kõige suuremate õhuleketega kohaks seinanurgatapid ja laetalade tapid seinas. Nurgades on tapid tehtud suurema varuga ja nende vajumine on ebaühtlasem kui mujal seinas. Laetalad kuivavad pärast paigaldamist radiaalsuunas kokku ja nende kõrvale tekivad praod. Ilmekalt illustreerib neid probleeme Joonis 7.8.



Joonis 7.8 Termopilt 50 Pa alarõhu juures näitab tugevat õhuleket nurgatappide vahelt ja laetala ning seina ühenduskohast, samuti seina ja laeliitekohast.

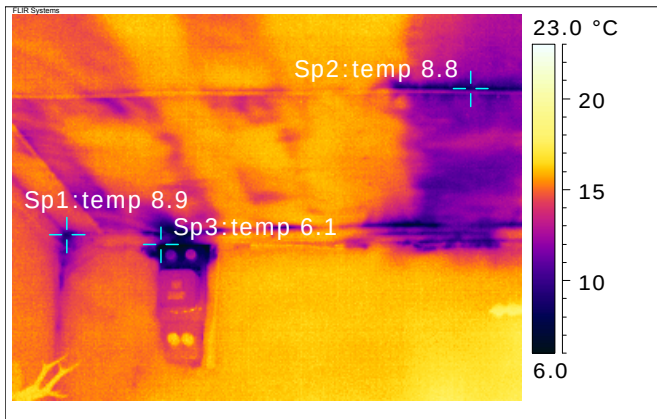
Suuremaid õhulekkeid esines mõnes elamus suvalisest kohast seina pinnal. Väga suurte õhuleketega seinapind on toodud Joonis 7.10, sellele elamule oli lisatud ka soojustus ja tuuletõke. Palgi vahedest lekkiva õhu põhjuseks võib olla palkide ebaühtlane vajumine, tihendusmaterjali väljakukkumine (sammal, takk või vill) või palkide mädanemine. Õhulekkeid saab oluliselt vähendada palgivahede toppimisega mõlemalt poolt. Joonis 7.9 toodud elamul on enne soojustamist ilmselt toppimine tegemata jäetud.



Joonis 7.9 Termopilt alarõhu tingimustest näitab tugevat õhuleket palkide vahelt.

Vanadest elektripaigaldistest jäänud augud

Vanades renoveerimata elamutes on pärast elektrisüsteemi osalist uuendamist seinale alles jäetud vanad elektriarvestid ning nendega seotud juhtmekõrid seinas. Läbi nende torude on olulised punktõhulekked (Joonis 7.10). Põhjalikuma renoveerimise käigus sellised mittevajalikud ja vananenud elektripaigaldised eemaldatakse.



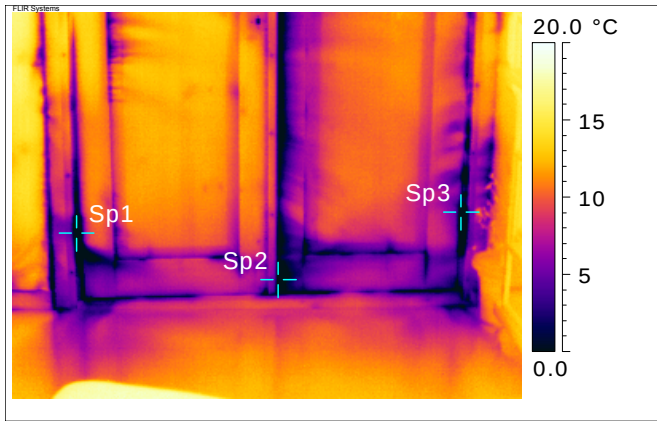
Joonis 7.10 Termopilt alarõhu tingimustes näitab õhuleket ja ebaühtlaselt soojustatud lage.

Lagede õhupidavus

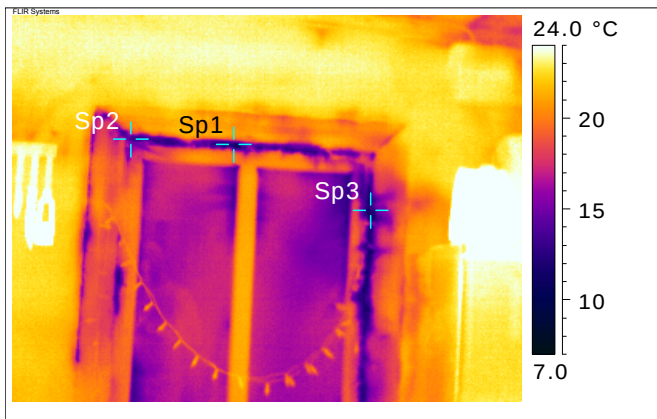
Laepealne soojustus on enamasti puistematerjal või vill, millest kumbki ei taga õhupidavust. Samuti ei pea õhku laudlagi, kuna laudise vahesid ei ole võimalik saada õhutihedaks (eriti arvestades kuivamiskahanemist ja paisumist). Mõnevõrra parandab lae õhupidavust laudise vineeriga katmine. Joonis 7.10 toodud lagi on kaetud vineeriga, kuid termopildi järgi on laelaudis ja soojustus ebaühtlane, Joonis 7.8 on näha õhulekked läbi laelauavahede (seda eriti laetalade lähedal). Kõige väiksema õhupidavusega on mõõtmiste põhjal kattelaudisega lagi.

Akende ja uste õhupidavus

Vanad aknad ja ukseid on tehtud puidust ja küllaltki lihtsa ehitusega, renoveerimata elamutes on need siiani kasutusel. Lisaks sellele, et nende tootmistehnoloogia täpsus oli madalam, on need ka aja jooksul kuivanud ning tekkinud praod. Joonis 7.11 iseloomustab ilmekalt õhulekete hulka ukse ja ukseleingi vahedest (tegemist on kahepoolse soojustamata verandauksega). Sarnased õhulekked esinesid enamikus vanemate ustega elamutes. Isegi ühe uue elamu tihenditega verandauste õhulekke pilt on sarnane Joonis 7.11 toodud pildile, seal oli probleemiks ukse kehva paigalduskvaliteet. Joonis 7.12 toodud vana akna lengi ja raami vahelt on suured õhulekked hoolimata sellest, et need vahed on õhupidavuse parandamiseks kinni teibitud. Sarnaselt ustele on puudujääke ka akende paigalduskvaliteediga palkelamutesse, õhulekkeid esines mitmel uute puit- ja plastakendega elamutel ukseleingi ja tenderposti/seina vahelt.



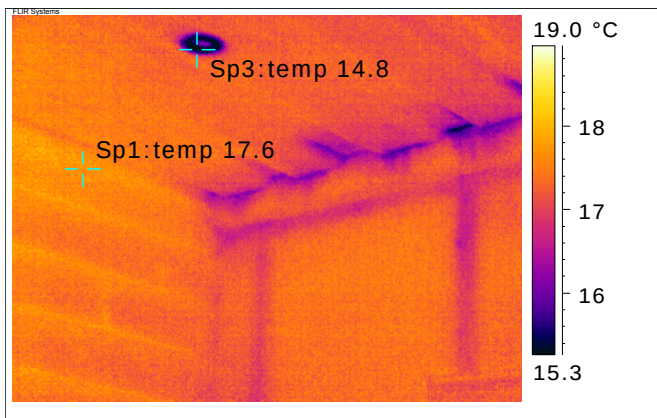
Joonis 7.11 Termopilt 50 Pa alarõhu tingimustes näitab suuri õhulekkeid verandauste vahelt.



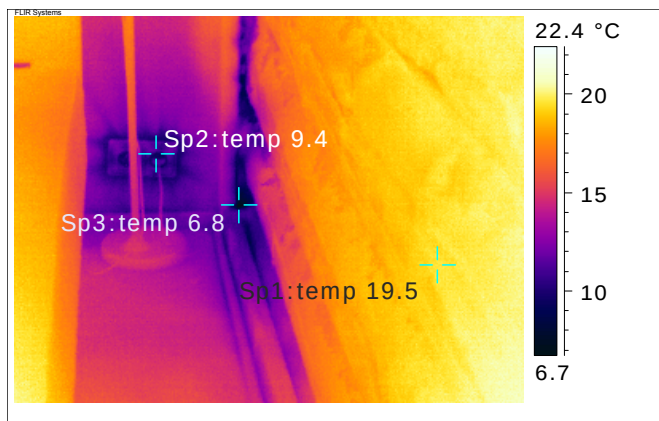
Joonis 7.12 Termopilt alarõhu tingimustes näitab suuri õhulekkeid vana puitakna lengi ja raami vahelt (aken seejuures teibitud).

Õhulekked läbiviikudest ja pistikupesadest

Sageli olid renoveerimise käigus pistikupesad süvistatud välisseinapalkidesse (või seina viimistlusmaterjalisse) ja termopiltidelt on nendest kohtadest näha olulised õhulekked (Joonis 7.14). Analoogilised õhulekked tekivad süvistatavate laelampide kasutamisel (Joonis 7.13). Pistikupesad on lihtsam ja õhupidavuse seisukohalt parem paigaldada palgi (või viimistlusmaterjali) pinnale. Süvistatavad tuleb isoleerida mittepõleva materjaliga ja katta õhutõkkega. Ventilatsioonitorude läbiviikused seinast esines paaris elamus, ühes neist oli selle ümbrus kehvalt tihendatud.



Joonis 7.13 Termopilt alarõhu tingimustes näitab, et õhuleke toimub vahelae ja välisseina liitekohas ning laelambi kohalt.



Joonis 7.14 Termopilt alarõhu tingimustes vaheseina ja välisseina liitekohast näitab õhulekked pistikupesade ümbert ja vaheseina ning välisseina liitekohast.

8 Energiatõhusus

8.1 Energiatõhususe mõjurid

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

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

Energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju võetakse arvesse energiakandjate kaalumisteguritega:

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

Primaarenergia all mõeldakse ühe ühiku tarnitud energia (näiteks 1 kWh elektri või soojuse) tootmiseks vajalikku esmast energiahulka koos kõigi kadudega tootmises ja transpordis. Näiteks ühe kuupmeetri maagaasi kütteväärtus on 9,3 kWh/m³. Seda saab kasutada nii elamu kütmiseks kui ka elektrijaamas elektrienergia valmistamiseks. Paraku saab sellest ühest kuupmeetrist oluliselt vähem elektrienergiat kui 9,3 kWh/m³. Samuti on 1 kWh elektrienergia tootmisel tekkivad kasvuhoonegaaside heitmed suuremad kui 1 kWh soojusenergia tootmisel tekkivad heitmed.

Kuna tegelikkuses on energiakandjate vahelised erinevused primaarenergiakasutuse ja CO₂ heitmete osas suuremad kui Eestis kasutatavaid kaalumistegureid arvutades, võtavad energiakandjate kaalumistegurid primaarenergiakasutust ja CO₂-heitmeid arvesse pigem konservatiivsel viisil. Näiteks on Eestis elektri tootmiseks vajaminev primaarenergiakulu tegelikkuses suurem kui 1,5 korda.

Puit on taastuv energiaallikas ja puidu põletamisel tekkiva süsihappegaasi neelab kasvav mets taas endasse, samas kui fossiilkütuste puhul seda ei toimu. Seetõttu on taastuvate energiaallikate kaalumistegur väiksem kui üks. Puidu põletamine ebaefektiivsetes ahjudes ja kateldes võib põhjustada õhusaastet tuha, tahma ja lenduvate peenosakeste tõttu. Oma keskkonnasõbralikkuse ja hinna tõttu on puit püsivalt kasutatavate maaelamute soojusenergia tagamisel siiski üks arvestatavamaid energiaallikaid. Puidu kasutamisel on väiksemad võimalused perioodiliselt kasutatavate elamute juures. Kui elamus ei ole püsielanikke, on küttekoldes põlev tuli üksikus elamus seotud alati teatud tuleohutusriskidega. Tulekahju süttimisel info tulekahjust ei levi kiiresti ja elamu põleb tõenäoliselt maha.

Kasutusaja välisel perioodil on peamiseks võimaluseks elekterkütte kasutamine. See on kõige rohkem automaatselt reguleeritav ja kasutusaja välisel perioodil kõige ohutum energiaallikas. Elekterküte võib olla lahendatud otsese elekterküttena (peamiselt radiaatorküte või pörandaküte) või efektiivsema – soojuspump-lahendusena (maasoojuspump, õhk-vesi-soojuspump). Õhk-õhk-soojuspumba juures tuleb arvestada, et tema tööpiirkond lõpeb enne välisõhu arvutusliku temperatuuri (sõltuvalt asukohast Eestis -19...-25 °C) saavutamist ja tippkoormusel võib tekkida vajadus lisakütteallika järele.

Lisaks energiaallika tüübile mõjutab hoone energiatõhusust:

- hoonepiirete omadused, eelkõige:
 - o soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$;
 - o õhupidavus q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$;
 - o külmasilla lisasoojusjuhtivus Ψ , $W/(m \cdot K)$;
 - o teatud määral ka hoonepiirete soojuslik massiivsus (eelkõige suvist jahutusenergia kulu);
- hoone kompaktsus on kõetava ruumi pinna või kubatuuri ja ruumi välispiirete (kustkaudu pääseb soojus välja) suhe;
- avatäidete (aknad, ukSED) omadused, eelkõige:
 - o klaasiosa soojusläbivus U , $W/(m^2 \cdot K)$;
 - o raamiosa soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$;
 - o avatäidete suurus, suund (ilmakaar);
 - o klaasiosa päikesetegur g , - ja valguse läbivus;
 - o päikesekaitse lahendused (jahutuse vältimiseks);
- soojusvarustuse ja küttesüsteemi omadused:
 - o ahju, katla, soojuspumba vms. efektiivsus;
 - o ruumitemperatuuri reguleerimise võimalus, ülekütmise vältimine;
 - o kütte ja sooja tarbevee jaotussüsteemi soojuskaod;
- ventilatsioonisüsteemi omadused, eelkõige:
 - o väljapuhkeõhu soojussisalduse ära kasutamine;
 - o ventilaatori elektriline erivõimsus SFP, $kW/(m^3/s)$;
 - o õhuvahtuse efektiivsus;
- elektriseadmete ja valgustuse energiatõhusus;
- sisekliima, eelkõige:
 - o ruumitemperatuur;
 - o ventilatsiooni õhuvooluhulk;
 - o ruumide valgustus (sh. loomulik valgus ja tehnisvalgustus);

Nagu näha, sõltub ühe hoone energiatõhusus väga mitmest tegurist. Olemasoleva elamu renoveerimisel on energiatõhususe tagamisel piiratud võimalused: harva on võimalik muuta näiteks hoone kompaktsust või avatäidete suurst. Kuna energiasääst ei tohi tulla sisekliima arvelt, käsitletakse sisekliimaparameetreid lähteandmetena ja neid energiatõhususe analüüsi juures ei muudeta. Lähteandmetena kasutatakse ka elektriseadmete ja valgustuse energiakulu.

Kolm peamist võimalust olemasoleva elamu energiatõhususe parandamisel on:

- hoonepiirete omaduste muutmine (eelkõige soojusjuhtivuse ja õhulekke vähendamine ehk lisasoojustamine ja tihendamine);
- avatäidete omaduste muutmine (soojusläbivuse vähendamine);
- tehnosüsteemide (eelkõige soojusvarustus-, kütte- ja ventilatsioonisüsteemid) muutmine.

Käesolevas uuringus ei keskendutud mõõdetud energiatarbe analüüsile, kuna:

- puidu kui peamise soojusenergiaallika kulu oli raske hinnata (kütteväärtus, küttepuidu kulu mõõtmine);
- ahjude ja katelde efektiivsus ei olnud teada;
- tarbevee kulu elamutes ei mõõdetud (kinnistusesisene veevõrk).

Maaelamutele kohaldatavad energiatõhususe miinimumnõuded ja energiatõhususarv erinevates energiamärgise klassides vt. Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Eramute energiatõhususe miinimumnõuded ja energiatõhususarv erinevates energiamärgise klassides

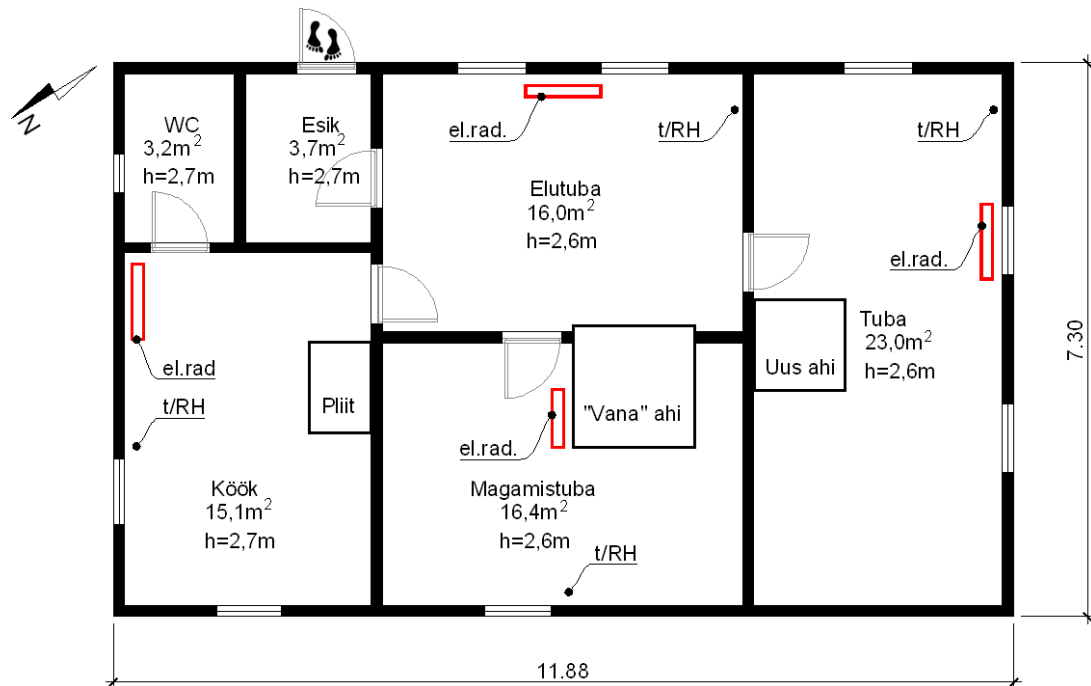
Energiatõhususe miinimumnõue eramutele (sh. paarismajad ja ridaelamud)	Energiatõhususarv erinevates energiamärgise klassides, $kWh/(m^2 \cdot a)$ (energiatõhususe miinimumnõuded on toonitud alas)						
	A	B	C	D	E	F	G
Uued hooned $\leq 180 kWh/(m^2 \cdot a)$, Oluliselt renoveeritavad hooned $\leq 250 kWh/(m^2 \cdot a)$	≤ 120	121-130	131-150	151-190	191-250	251-320	≥ 321

8.2 Meetodid

Et vältida hoone kasutuse mõju energiatõhususe hindamisele, tuleb energiaarvutus teha standardkasutusel ja ühtse arvutusmetoodika alusel. Maaelamute energiatõhususe analüüsil on käesolevas uuringus kasutatud VV. määruse nr. 258 (20.12.2007) „Energiatõhususe miinimumnõuded“ arvutuse aluseid (vabasoojused, sooja vee erikulu, ventilatsiooniõhuhulgad jms) ja standardkasutust. Energiatõhususe analüüsimisel on tüüpelamu modelleeritud dünaamilise simulatsiooniprogrammi IDA ICE 4.0 abil. Nimetatud arvutusprogramm vastab määruses toodud valideeritud tarkvarale esitatud nõuetele.

8.2.1 Analüüsitud tüüpelamu kirjeldus

Analüüsitud tüüpelamuks valiti üks uuringu all olnud ühekorruseline kolmetoaline üksikelamu (vt. Joonis 8.1 ja Joonis 8.2). Selline Setu taluelamu oli tüüpiline uuringus olnud Kagu-Eestis paiknenud elamute seas.



Joonis 8.1 Elamu plaan M1:100



Joonis 8.2 Eestvaade (vasakul) ja tagantvaade (paremal).

Elamu välisseinad on tahutud 15 cm paksusest rõhtpalgist ilma välisvoodrita, seest puhastatud (tubades seinapalgid nähtavale toodud) ja palgivahed kohati topitud (nii seest kui väljast) ning niiskuskahjustustega väga kehvast seisust palgid välja vahetatud. Hoone on vundeeritud maakividest vundamendile, sokli kõrgus ≈ 20 cm. Põrandaks on puittaladele toetatud laudpõrand, mis on kohati soojustatud (otskamber ja eestuba: ≈ 10 cm saepuru, peenike

höövlilaast; köök ja sahvri ≈ 15 cm keramiitkruusaga, väike tuba ja esik on soojustamata). Põrandaalune ruum on välisõhuga nõrgalt tuulutatav: köögi põranda all on 2 tuulutussava, üks otsaseinas ja teine maja tagaseinas, teiste põrandate all on ainult üks ava, maja eessein. Aknad on kahe raamiga puitaknad (kaks 4 mm klaasi, klaasi osa aknaavast 46%...53%). Pööningu vahelagi on puittaladel, viimistletud puitlaudisega ja saepuruga (otskambri kohal laudise peal ehituspapp ja soojustuseks 20 cm hoovlilaastu (originaalis oli ca 1 cm puulehti!!!) ülejäänud osas originaalsoojustus: linaluu ja liiva segu ca 20-25 cm). Katuseks on puitsarikatel laastukatus, mis on hiljem kaetud eterniidiga.

Elamut koetakse kahe ahju ja pliidi (köök) abil. Tarbevee soojendamine on lahendatud elektriboileri abil. Ruumide õhuvahetus on tagatud akna kaudu tuulutuse, köögis paikneva tuulutussava ja piirete õhulekete kaudu.

Elamus elas kolmeliikmeline pere: kaks täiskasvanut + laps.

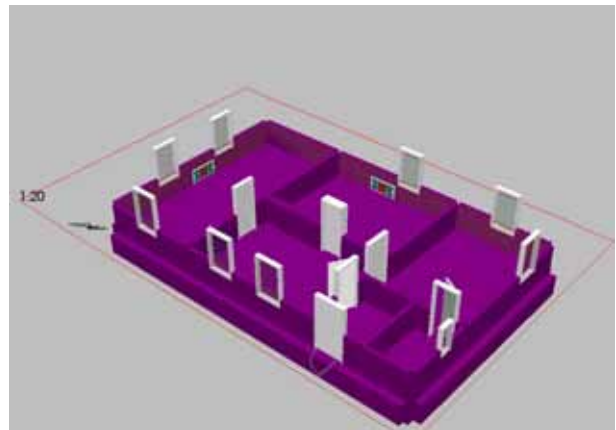
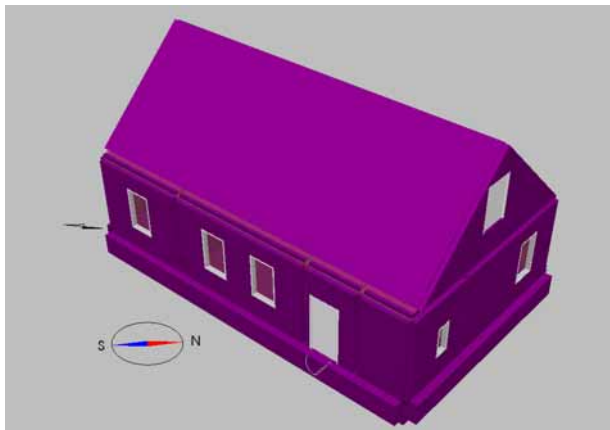
Elamu peamised tehnilised näitajad:

- suletud netopind = köetav pind: $77,5 \text{ m}^2$;
- välismõõdud: laius $\times$ pikkus: $11,9 \text{ m} \times 7,3 \text{ m}$;
- siseruumide kõrgus: $2,6 \dots 2,7 \text{ m}$;
- magamistubade arv: 1;
- elanike arv: 3;
- hoone kompaktsus (välispiirete pindala ja siseruumala suhe: $A_{\text{piirded}} / V_{\text{sise}} = 1,3$;
- suletud netopinna suhe välispiirete pinda on: $A_{\text{piirded}} / A_{\text{neto}} = 260 \text{ m}^2 / 77,5 \text{ m}^2 = 3,5$;
- hoonepiirete õhupidavus: $q_{50} = 16,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$; $n_{50} = 20,1 \text{ h}^{-1}$.

8.2.2 Arvutusmudeli kirjeldus ja valideerimine

2009 detsembriks paigaldati elamusse elektriradiaatorid kütteenergia tarbimise väljaselgitamiseks. Radiaatorid paigaldati kööki, elutuppa, magamistuppa ja tuppa. Igale radiaatorile paigaldati elektrienergia mõõdik. Nii saadi teada ruumide kütteks vaja läinud elektrienergia tarbimine. Üldelektri tarbimine saadi koguelektri ja radiaatorite elektritarbimise erinevusest. Mõõtmisperioodil ahje ei (oluliselt) köetud. Mõõdetud elektrienergia tarbimise andmeid kasutati hoone energiaarvutusmudeli kalibreerimiseks.

Hoone arvutati 8-tsoonilise hoone mudelina nii, et omaette tsoonid moodustasid kõik ruumid, pööning ja põrandaalune vt. Joonis 8.3 vasakul. Energiaarvutustes kasutatud peamised lähteandmed vt. Tabel 8.2.



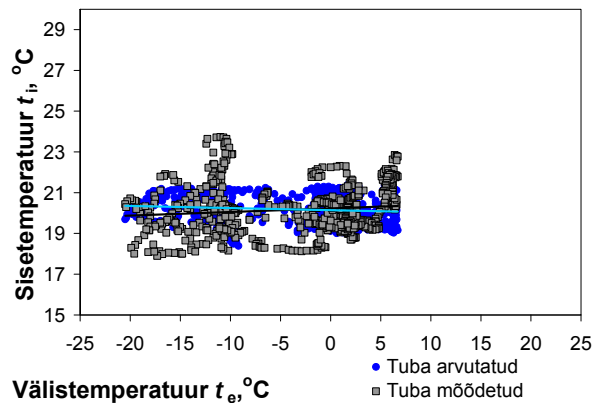
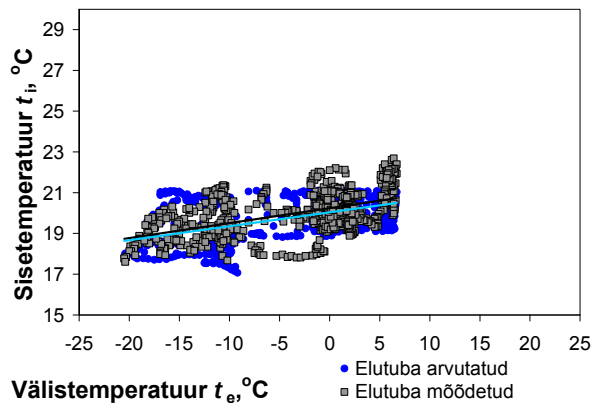
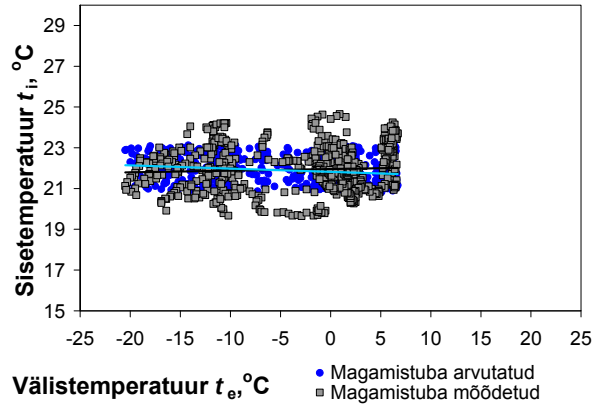
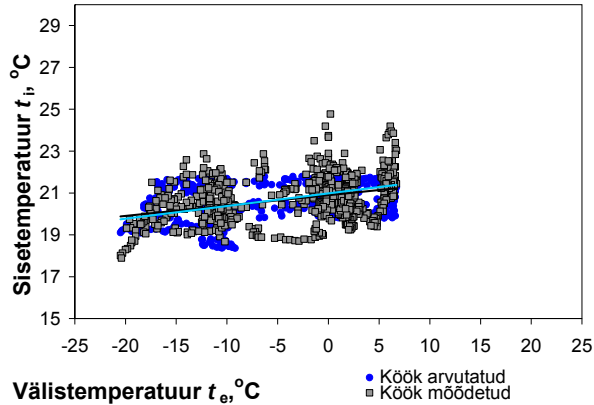
Joonis 8.3 Hoone energiaarvutusmudeli välisvaade (vasakul) ja tsoonide jaotus I korrusel.

Hoonepiirete õhupidavuse mõju modelleeriti üksikute õhuleketena ruumide välisseintel, põrandal ja pööningu vahel. Piirete kaudu toimuvat õhuleket põhjustas sise- ja välisõhurõhkude erinevus, mis tekkis tuulest ja temperatuuride erinevusest tulenevast nn. korstna efektist. Igasse ruumi valguse ja seadmete ning mahtveesoojendi võimsus ja kasutusagedus on arvestatud võrdseks üldelektri tarbimisega. Ruumide temperatuuriseaded valiti vastavalt sisetemperatuurile.

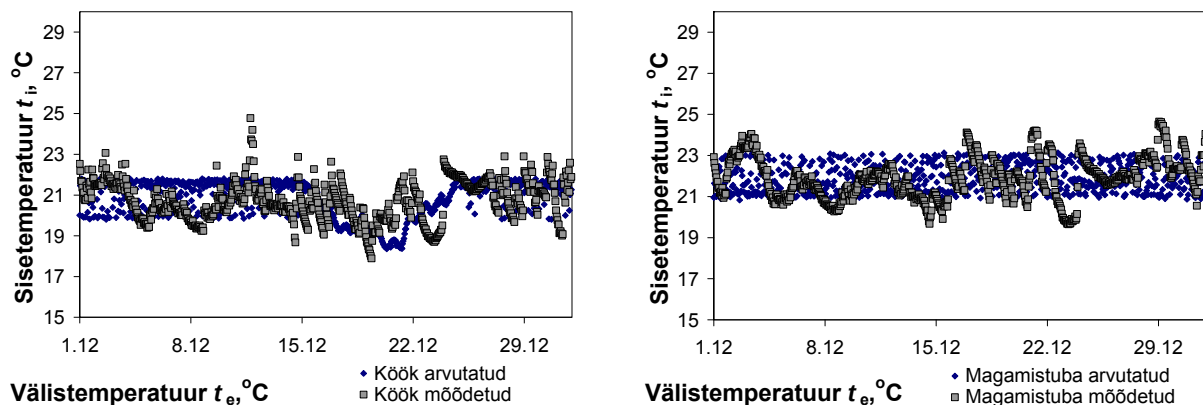
Ruumide sisetemperatuuri ja välistemperatuuri erinevus mõjutab otseselt hoone kütteenergia tarbimist. Elamu mõõtmisaegse ja arvutusliku sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist vt. Joonis 8.4. Arvutatud sisetemperatuur vastab hästi mõõdetulemustele. Suurim erinevus seisneb mõõtmis- ja arvutustulemuste erinevas hajuvuses, vt. Joonis 8.5. Arvutustulemused saadi kuu aja jooksul püsiva kasutusprofiiliga, kui tegelikkuses oli hoone kasutus iga päev kindlasti mõnevõrra erinev. Kuna soojusenergia tarbimist mõjutab oluliselt sise- ja välistemperatuuride erinevus, on oluline võrrelda keskmist arvutusliku ja mõõdetud sise- ja välistemperatuuri erinevust, mitte ainult arvutuslikku ja mõõdetud sisetemperatuuri.

Tabel 8.2 Analüüsitud elamu piirdetarindite põhiomadused.

Omadus	Suurus
Soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$	
Välissein	0,70
Põrand	0,56
Katuslagi	1,2
Välisuks	2,0
Akna soojuslähivus U , $W/(m^2 \cdot K)$	klaas / raam 2,9 / 1,35
Klaasi/raami osakaal	50%
Päikesetegur g , -	0,76
Päikeseenergia tegur/Valguslähivustegur, -	0,70 / 0,81
Joonkülmaklasilla lisasoojusjuhtivus Ψ , $W/(m \cdot K)$	
Välisseina / vahelae liitekoht	0,15
Välisseina / vaheseina liitekoht	0,1
Välisseina välisnurk	0,05
Akna / ukse liitumine seinaga	0,03
Katuse / välisseina liitumine	0,15
Põranda / välisseina liitumine	0,16
Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$	16,5

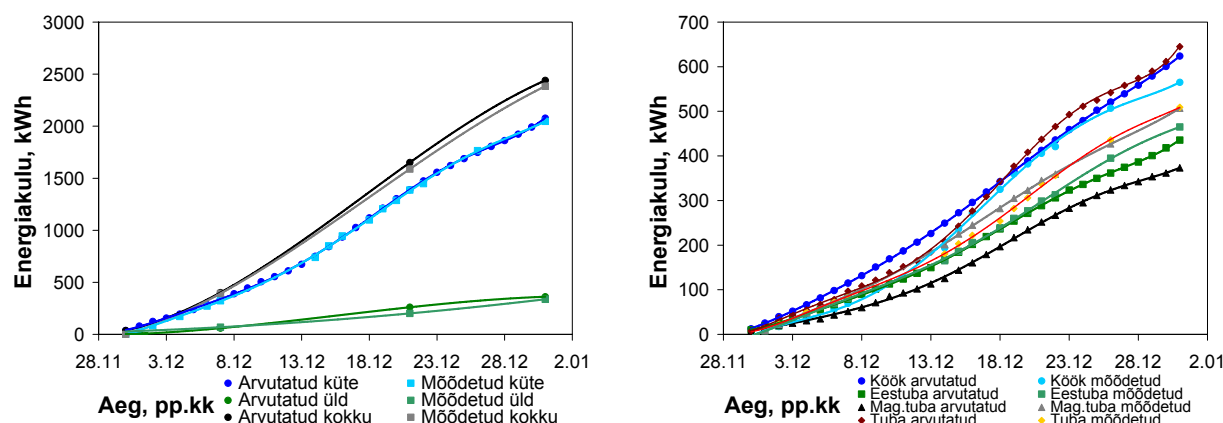


Joonis 8.4 Mõõdetud ja arvutatud sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist.



Joonis 8.5 Mõõdetud ja arvutatud sisetemperatuur köögis ja magamistoas.

Elamu summaarne elektrienergia tarbimine hoones tervikuna ja erinevates ruumides vt. Joonis 8.6, Tabel 8.3. Hoones tervikuna vastab mõõdetud energiatarbimine rahuldavalt arvutuslikule energiatarbimisele. Üksikute ruumide osas on vastavus väiksem.



Joonis 8.6 Mõõdetud ja arvutatud elektrienergia kulu detsembri kuul hoones tervikuna (vasakul) ja erinevates ruumides (paremal).

Tabel 8.3. Mõõdetud ja arvutatud elektrienergia kulu detsembris

		Energiakasutus						
	Kokku	Ruumide kütte			Ventilaatorid	Elektri-	Valgustus	Soe
		Ventilatsiooniõhu soojendamine			pumbad	seadmed		tarbevesi
		Köök	Mag.tuba	Elutuba	Tuba		Kokku	
Energia erikasutus hoones tervikuna detsembris, kWh								
Mõõdetud	2384			2046			338	
Arvutatud	2440			2078			362	
Energia erikasutus ruumide kaupa detsembris, kWh								
Mõõdetud	2384	565	507	465	509		338	
Arvutatud	2440	624	373	436	645		362	

8.2.3 Ahju arvutusmodel

Et võtta reaalsemalt arvesse puudega köetava ahju mõju sisetemperatuurile, energiakulule ning üle- ja alakütmist. Ahju toimimist on uuritud energiaarvutuste simulatsiooniprogrammiga IDA-ICE 4.0. Ahju mudel on koostatud, et analüüsida ala- ja ülekütmist koos temperatuuri muutumisega ahjuga kütmisel ning energia kulu ahjuga kütmisel.

Arvutusmodelis on 2 arvutustsooni, vaata Joonis 8.7. Eraldi tsoonid on köetav ruum ja ahi. Ahju tsooni neli seinu avanevad kõik köetavasse tsooni. Ahju ja köetava ruumi vaheline seinu konstruktsioon on valitud vastavalt ahju seinu konstruktsioonile. Ahju seinu konstruktsiooniks on valitud ahjutellisest 15 cm paksune sein. Ahjutellige soojuserijuhtivuseks on valitud $0,81 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, erisoojuseks $0,88 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ ja tiheduseks 1800 kg/m^3 (Veski 1988). Ahju lagi ja põrand piirnevad vastavalt põrandaaluse ruumi ja laepealse ruumiga. Ahju põranda ja lae konstruktsiooniks on valitud raudbetoonplaat paksusega 200 mm, mis on isoleeritud lae korral pealtpoolt ja põranda korral altpoolt 200 mm paksuse mineraalvilla kihiga. Ahju mõõtmeteks on arvestatud $80 \times 80 \text{ cm}$ ja kõrgus 2,5 m, ahju ligikaudne mass on 2 tonni. Köetava ruumi pindala on 80 m^2 ja kubatuur 208 m^3 , välisseina konstruktsiooniks on 15 cm paksune palksein, ruumi põrand toetub pinnasele, ruumi lae kohal on katusealune õhuruum.

Arvutusmodelis on kasutatud ahju põlemisest saadava soojust simuleerimiseks küttekeha. Kütteseadme kuumadelt pindadelt kandub soojus ahju konstruktsioonidele. Ahju seinu konstruktsioonid soojenevad ja soojus kandub ahju kuumadelt pindadelt üle piirneva ruumi siseõhule ja konstruktsioonidele. Küttekeha maksimaalseks võimsuseks on 10 kW. Küttekeha maksimaalne võimsus on määratud arvutuslikult, arvestades ahju kolde kasutegurit, ahju kolde mahtu ja koldesse mahtuva küttepuidu kogust ning sellest saadavat soojusenergiat:

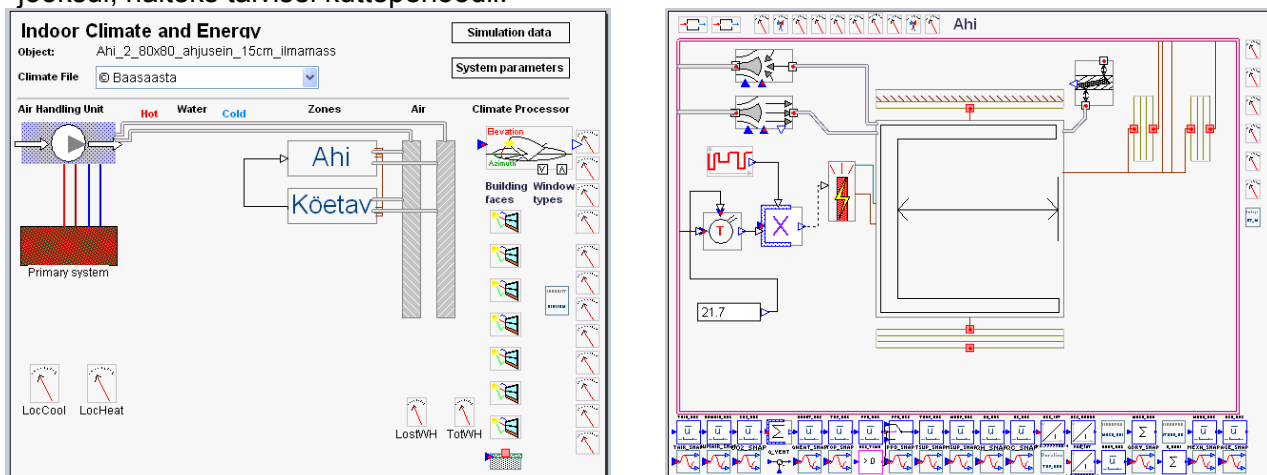
- kütmise aeg 2 tundi, ära köetava küttepuidu kogus $\sim 13\ldots 15 \text{ kg}$ ($0,03\ldots 0,04 \text{ m}^3$);
- küttepuidu keskmine kütteväärtus $3,60\ldots 3,83 \text{ kg/kWh}$ (kuusk, kask $3,71 \text{ kg/kWh}$) (Veski 1988);
- umbkoldega ahju kasutegur $0,3\ldots 0,5$ (Veski 1988).

Arvutustes on arvestatud kahe olukorraga:

- ahju köetakse 2 korda päevas, hommikul ja õhtul, ja üks kütmine kestab 2 tundi;
- ahi kütab kogu aeg, vastavalt ruumi temperatuurile.

Esimene arvutusolukord peaks olema vastav tegelikkuses toimuvale kütmisele ja teine olukord on teoreetiline.

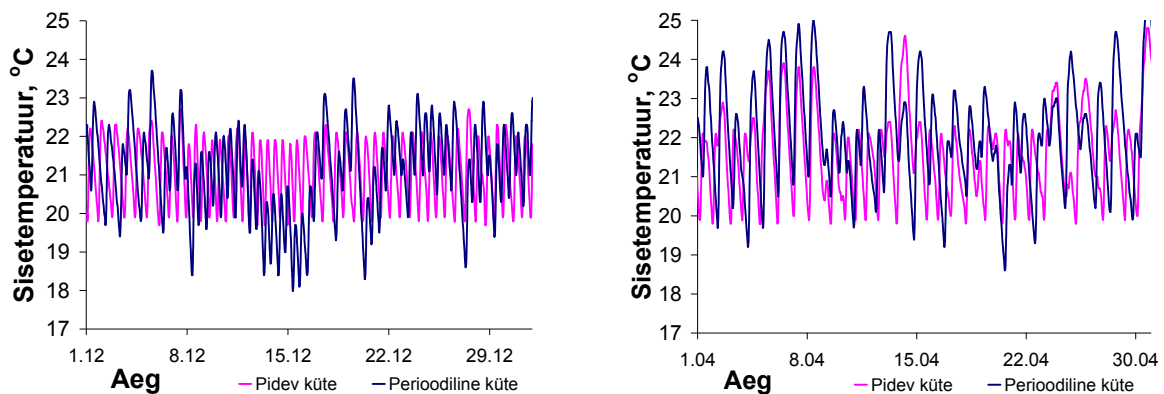
Ahjude kütmine toimub vastavalt köetava ruumi sisetemperatuurile. Ahju köetakse, kui köetava ruumi sisetemperatuur langeb alla etteantud piirarvu. Piirarv on antud juhul suurus, mis iseloomustab neutraalset olukorda, kui inimesel ei ole külm ega soe. Köetava ruumi piirarvuks on valitud 21 °C . Piirarvu suurus näitab ruumi soovituslikku keskmist temperatuuri teatud aja jooksul, näiteks talvisel kütteperioodil.



Joonis 8.7. Arvutustsoonide skeem ja ahju skeem.

Esimeses arvutusolukorras on ahju kütmisel lisaks sisetemperatuurile ka ajaline tegur. Ajaline tegur arvestab inimeste harjumustega ligilähedast olukorda, et ahjus ei ole pidev tuli ja inimesed kütavad ahju näiteks hommikul, kui ärkavad ja õhtul enne kui magama minnakse. Ajaline tegur seab piirangu ahju kütmisele nii, et ahju köetakse päevas maksimaalselt kaks korda ja kummalgi korral maksimaalselt kolm tundi. Ahju kütmise ajaline tegur, kui ahju köetakse kaks korda päevas, vastab ka soovituselise ahju soojussalvestuse määramisel. Soojussalvestuse määramisel arvestatakse, et ahju summaarne soojasalvestus peaks olema piisav hoone 12 tunni soojakadude kompenseerimiseks ja seda mõningase varuga, et temperatuuri kõikumine ruumis ei ületaks lubatud piiri, näiteks ± 3 °C.

Teises arvutusolukorras ahju kütmisel ajaline tegur puudub, mis tähendab seda, et ahju köetakse kogu aeg, kui ruumis on külm ehk sisetemperatuur langeb alla piirväärtuse. Sisetemperatuuri muutumine perioodilise ja pideva kütmise korral talvisel ning kevadisel perioodil ühe kuu jooksul on kujutatud graafikul, vaata Joonis 8.8.



Joonis 8.8. Perioodiline ja pidev kütmine talvisel (vasakul) ning kevadisel (paremal) ajavahemikul.

Tulenevalt ahju soojussalvestusest, ahju kütmise perioodilisusest ja hoone soojuskadudest on küttekehadele määratud seadeväärtused, milleni tuleb köetava ruumi siseõhk kütta, et ruumis oleks tagatud piirväärtus 21 °C. See tähendab, et kui ajaline tegur ei piira kütteseadme töötamist ja köetava ruumi sisetemperatuur on madalam kui seadeväärtus, lülitub kütteseadme tööle ning vastupidi – kui saavutatakse kütteseadme seadeväärtus, lülitub küttekeha välja. Esimese arvutusolukorra puhul on kütteseadme seadeväärtus $21,7 \pm 3$ °C, et saavutada ruumis siseõhu temperatuuriks 21 °C. Teise arvutusolukorra puhul on kütteseadme seadeväärtus $20,5 \pm 1$ °C, et oleks ruumis tagatud piirtemperatuur 21 °C. Seadeväärtuste suurustest on näha, et perioodilise kütmise korral peab kütma ruumi siseõhu kõrgemale temperatuurile tagamaks piirsuurust 21 °C, mis iseloomustab perioodilise kütmise korral esinevat ülekütmist. Võrreldes pideva kütmisega on perioodilise kütmise korral ruumis temperatuuride kõikumine suurem ning minimaalne temperatuur võib langeda madalamale kui seadeväärtuse minimaalne väärtus 18,7 °C, mis iseloomustab perioodilise kütmise korral esinevat alakütmist. Selline olukord tekib juhul, kui enne järgmise kütmise aja lõppu ei ole temperatuur langenud alla suuruse 18,7 °C ning kütmist ei alustata, seega on kahe kütmise vaheline aeg 12 tunni asemel 24 tundi. See on ka põhjuseks, miks minimaalne temperatuur on alla seadeväärtuse alumise väärtuse. Arvutusmodelitega arvatud temperatuuride väärtusi ja energiakulu talvisel ajavahemikul (detsember, jaanuar, veebruar) vaata Tabel 8.4.

Tabel 8.4. Arvatud temperatuurid ja energiakulu talvisel ajavahemikul

	Perioodiline kütmine	Pidev kütmine
Minimaalne temperatuur, °C	17,1	19,5
Keskmine temperatuur, °C	21,0	21,1
Maksimaalne temperatuur, °C	23,8	22,7
Kraad tundide arv, sisetemperatuur <18°C	7,5	0
Kraad tundide arv sisetemperatuur <19°C	80,5	0
Aastane energiakulu ruumidekütteks, kWh	10039	9723

Perioodilise ja pideva kütmise vaheline põhiline erinevus on siseõhutemperatuuri kõikumises, mida iseloomustab minimaalse ja maksimaalse temperatuuri suurem erinevus, ning kraadtundide arvus, mille korral sisetemperatuur on madalam kui sisekliima madalaima III klassi alumine väärtus.

Kogu aastane küttekulu on esimesel arvutusolukorral 10039 kWh ja teisel arvutusolukorral 9723 kWh. Talvise ajavahemiku küttekulu on vastavalt 4615 kWh ja 4651 kWh. Kogu aastase küttekulu erinevus kahe kütmissviisi vahel on 4%. Kahe kütmissviisi vaheline erinevus talvisel ajavahemikul on 1%.

Kui vaadata ahju kahe erineva kütmissviisi arvutusolukorra aastast summaarset energiakulu, siis suurt erinevust ei esine. Arvutusliku kütteenergiakulu järgi arvutatav kütuse (halupuit) kulu aastast on kahel erineval kütmise viisil võrdne.

8.2.4 Energiatõhususarvutuste lähteandmed

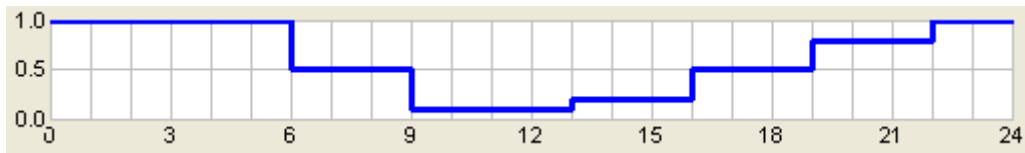
Erinevate renoveerimislahenduste mõju hindamiseks ja võrdlemiseks elamu energiatohususele teostati energiatohususarvutused, kasutades VV. määruse nr. 258 (20.12.2007) „Energiatõhususe miinimumnõuded“ arvutuse aluseid (vabasoojused, sooja vee erikulu, ventilatsiooniõhuhulgad jms.) ja standardkasutust.

Tüüppoone renoveerimiseelse olukorrana kasutati vanemate maaelamute keskmisi andmeid:

- välissein: 15 cm palk, soojusjuhtivus $U_{\text{välissein}} = 0,70 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$;
- pööningu vahelagi: puittaladel vahelagi täiteks $\approx 12 \text{ cm}$ saepuru + $\approx 10 \text{ cm}$ liiva, soojusjuhtivus $U_{\text{vahelagi}} = 0,46 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (pööning on välisõhuga tuulutatav), katus: 3 cm puitu;
- põranda soojusjuhtivus $U_{\text{põrand}} = 0,56 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; pinnase temperatuuriks põranda all 1 m sügavusel on arvestatud $8 \text{ }^\circ\text{C}$;
- aknad: 1+1 klaas omaette raamides: klaasiosa soojusläbivus $U_{\text{klaas}} = 2,9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, raamiosa $U_{\text{aknaraam}} = 1,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, klaasi päikesetegur $g = 0,76$, klaasi päikeseenergia tegur 0,7, klaaside vahe 14 cm; raami osakaal akna pindalast: 35%;
- välisukse soojusjuhtivus $U_{\text{välisuks}} = 2,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$;
- hoonepiirete õhupidavuseks on arvestatud maaelamute normaaljaotusejärgse valiku 50% fraktili 95% tõenäosusele vastav suurus: $17,3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Arvutustes on kasutatud aasta keskmist konstantset lekkeõhuvoolu;
- elanike arv elamus: 2 (veekasutus), 1,9 (vabasoojused);
- ventilatsiooni õhuvooluhulk:
 - o olemasoleva õhuvahetuse juures on arvestatud III sisekliima klassi õhuvooluhulkadega: üldõhuvahetus $0,35 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ või elu- ja magamistoad $0,6 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$: elamu arvutuslik õhuvooluhulk 33 l/s (õhuvahetuskordsus $0,58 \text{ h}^{-1}$);
 - o elamu olulise rekonstrueerimise korral või ventilatsioonisüsteemi renoveerimise korral on arvestatud II sisekliima klassi õhuvooluhulkadega: üldõhuvahetus $0,42 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ või elu- ja magamistoad $1,0 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$: elamu arvutuslik õhuvooluhulk 55 l/s (õhuvahetuskordsus $1,0 \text{ h}^{-1}$);
- sooja tarbevee kulu on arvestatud $45 \text{ l/(in}\cdot\text{d)}$, mis kahe inimese kohta on kokku $90 \text{ l/(in}\cdot\text{d)}$;
- kütte temperatuuriseade: $21 \text{ }^\circ\text{C}$; ventilatsiooniõhk soojendatakse üles $+18 \text{ }^\circ\text{C}$ -ni (sõltuvalt lahendusest kas küttesüsteemi või ventilatsioonisüsteemi abil);
- küttevõimsuse arvutamisel on lähtutud arvutuslikust välistemperatuurist $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tartu, Võru, Jõgeva).

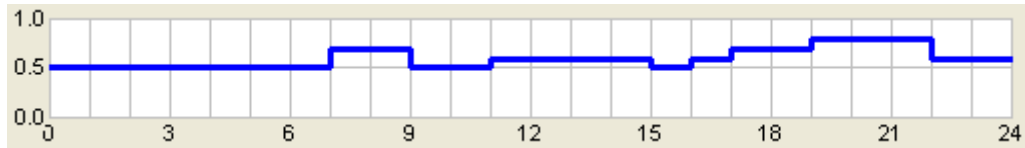
Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud 2 W/m^2 s.o. $2 \times 77,4 = 155 \text{ W}$. Arvestades inimese soojuseraldusega 80 W (ei sisalda varjatud soojust) on arvestatud 1,9 inimesega, kelle soojaeraldus on arvatud vastavalt ISO 7730 standardile ($1,2 \text{ met}$, $0,7 \text{ clo}$). Kasutusaste on 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 8.9. Ruumide kasutusprofiil on aasta ja nädala lõikes sama.

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I



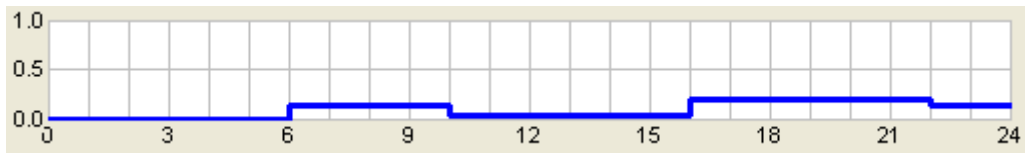
Joonis 8.9 Elanike kohalolek elamus.

Seadmete vabasoojus on $2,4 \text{ W/m}^2$ so. $2,4 \times 77,4 = 186 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,6 ($12,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 978 kWh/aastas). Seadmete elektritarve $186/0,7 = 265 \text{ W}$ ($18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 1397 kWh/aastas). Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 8.10. Majandusruumis on vabasoojusena arvesse võetud 10% tarbevee soojendamise netoenergiavajadusest, teisendades selle püsivaks aastaringseks võimsuseks ($1924 \text{ kWh}/8760 \text{ h} \times 10\% = 22 \text{ W}$; $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$).



Joonis 8.10 Seadmete töögraafik.

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m^2 s.o. $8 \times 77,4 = 620 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,1 ($7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 542 kWh/aastas). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 8.11.



Joonis 8.11 Valgustite töögraafik.

Sooja tarbevee kulu on 45 l inimese kohta ööpäevas ja on arvestatud 2 inimesega (1 magamistuba) s.o. $0,001042 \text{ l/s}$. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C .

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka $q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot 35} \cdot A$, l/s, mis on arvutatud maaelamute hoonepiirete õhulekkearvu baasväärtuse $18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja hoonepiirete pindala (260 m^2) abil.

Kaalutud energiaerikasutuse juures on arvestatud, et:

- ruumide kütte ja vee soojendamine on lahendatud:
 - o ahikütte baasil: energiakandja kaalumistegur 0,75; soojusallika kasutegur 0,6; perioodilisest küttest tulenev kadu (ajutine ülekütmine, alakütmise vältimiseks kõrgem baastemperatuur) 15 %;
 - o otsese elekterkütte baasil (radiaatorid): energiakandja kaalumistegur 1,5; soojuse väljastamise kasutegur 0,97;
 - o maasoojuspumba baasil (põrandaküte): energiakandja kaalumistegur 1,5; soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur: 0,8; soojustegur ruumide kütteks: 3,0; soojustegur tarbevee soojendamiseks: 2,7;
- sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniseadme korral on ventilatsiooniõhu soojendamine lahendatud elektrienergia baasil (kaalumistegur 1,5).

8.2.5 Analüüsitud energiatõhususmeetmed

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

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

Erinevate renoveerimislahenduste üksikkomponentide mõju uurimiseks on iga uue arvutusvariandi korral on muudetud ainult ühte energiatõhususe komponenti (näiteks ainult ventilatsiooni lahendust või ainult välispiirete lisasoojustust):

- akende vahetus või renoveerimine: klaasi osa 1 klaas + 2 × klaaspakett selektiivklaasiga ($U_{aken}=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$), $g=0,56$; hoone õhulekkearv 85 % esialgsest;
- välisseinte lisasoojustamine (50 mm soojustus ($\lambda_d 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) puitsõrestiku vahel + 20 mm min.villa ($\lambda_d 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) tuuletõkkeplaat) ja uus välisvooder: $U_{välissein}=0,33 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; õhulekkearv 85 % esialgsest;
- välisseinte lisasoojustamine (100 mm soojustus ($\lambda_d 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) puitsõrestiku vahel + 20 mm min.villa tuuletõkkeplaat) ja uus välisvooder: $U_{välissein}=0,25 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; õhulekkearv 85 % esialgsest;
- pööningu vahelae soojustamine (olemasoleva soojustuse / liiva eemaldamine ja uus soojustus 20 cm soojustus talade vahel ($\lambda_d 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$): $U_{pööningu vahelagi}=0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; õhulekkearv 85 % esialgsest;
- soojustagastiga mehaaniline ventilatsioon: temperatuuri suhtarv $\geq 0,8$, ventilatsioonisüsteemi ventilaatori erivõimsus $\leq 2,0 \text{ W/(l/s)}$, õhuvooluhulk suurem: üldõhuvahetus $0,42 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ või elu- ja magamistoad $1,0 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$; hoonepiirete hoolikas tihendamine: õhulekkearv 50 % esialgsest;
- küttesüsteemi mõju:
 - o ahiküte,
 - o otsene elekterküte (radiaatorid);
 - o maasoojuspump (põrandaküte);

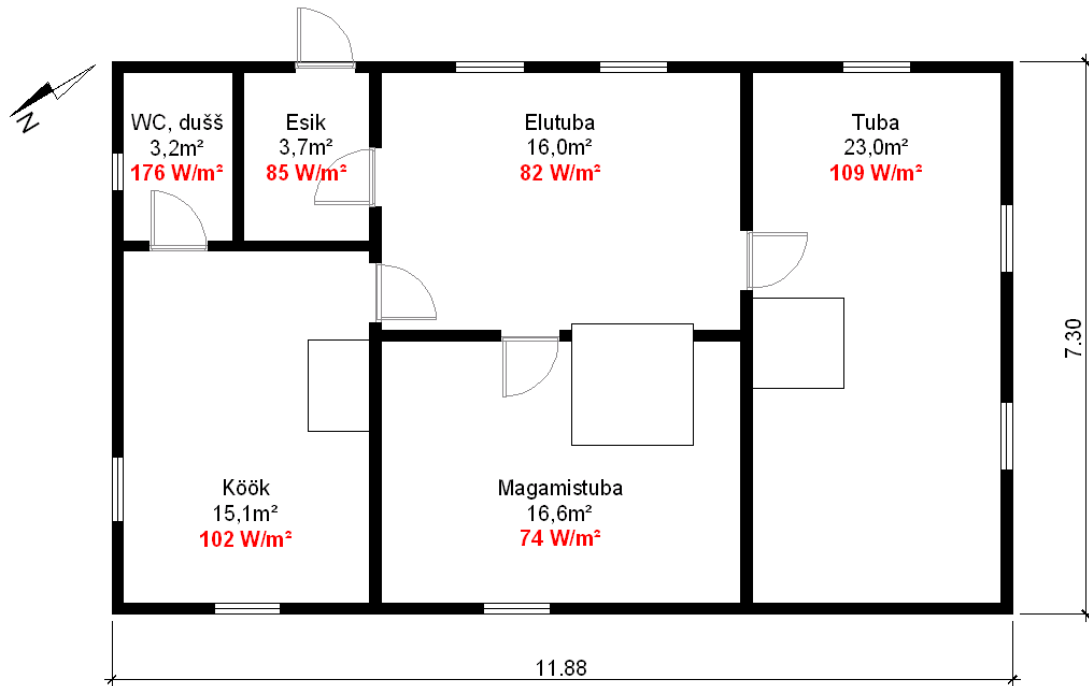
8.3 Energiaarvutuste tulemused

Et selgitada välja üksikute renoveerimismeetmete mõju hoone energiatõhususele ning ruumide kütte- ja ventilatsiooniõhu soojendamise energia erikasutus, on hoone ehitusjärgse olukorra energiakulu (variant 0, sisekliima klass III) võrreldud ainult ühe renoveerimismeetme mõjuga (ventilatsiooni renoveerimisel ka sisekliima klass II). Energiatõhususe muutumist on võrreldud elamu ehitusjärgse olukorraga tema standardkasutusel.

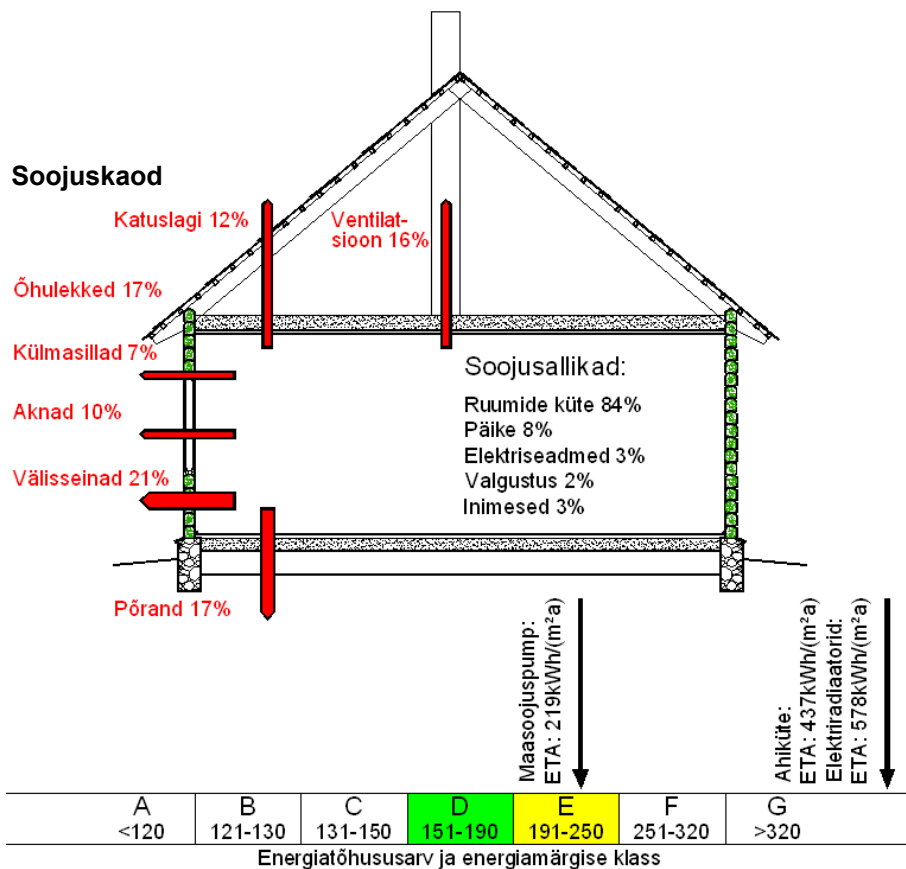
Sisetemperatuuri tagamiseks vajalik küttevõimsus hoone erinevates ruumides on erinev vt. Joonis 8.12. Erinev on ka vajalik küttevõimsus ruutmeetri kohta. Nurgatoad ja suurte akendega toas vajavad suuremat küttevõimsust. Seetõttu tuleb olla ettevaatlik, lähtudes kütteallika valikul ainult köetava pinna ruutmeetritest, kuigi mitmed katelde, ahjude ja kaminade müüjad kinnitavad, et nende toode sobib nii ja nii mitme ruutmeetri kütmiseks.

Elamu tarnitud energia kulu tema standardkasutusel vt. Joonis 8.13. Olemasoleva hoone suurim soojusenergia kao koht on välisseinad ja õhulekked, järgnevad põrand ja katuslagi. Efekttiivsem on alustada energiakulu vähendamist sealt, kus kadu on kõige suurem. Soojusenergia tagatakse peamiselt ruumide kütteseadmete abil. Vaatamata väikestele akendele on aasta keskmine päikese soojusbilansis ~10 %, talvekuudel vahemikus 1 %...3 %.

Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I



Joonis 8.12 Elamu vajalik küttevõimsus arvutuslikul välistemperatuuril -25 °C ja sisetemperatuuril +21 °C.



Joonis 8.13 Elamu tarnitud energia kulu ja allikate protsentuaalne jaotus.

Energiasäästu saavutamise juures tuleb arvestada, et maksimaalne sääst on saavutatav toimiva küttesüsteemi korral, s.t et ei teki olulist ülekütmist. Üsikkomponentide mõju analüüs on tehtud vaid erinevate osade suunda andva mõju väljatoomiseks, mis võib aidata renoveerimisjärjekorra koostamist, kui ei tehta kõike korraga. Siiski tuleb alati eelistada elamu korraga tervik-

renoveerimist. Üksikute renoveerimismeetmete mõju energiatõhususarvule ja kütteenergia erikasutusele vt. Tabel 8.5.

Tabel 8.5. Elamu renoveerimisvariantide energiakasutus ja -sääst

Renoveerimismeede	Energiatõhususarv ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga		Soojusenergia erikasutus (ruumide küte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamine) ja selle protsentuaalne vähenemine võrreldes ehitusjärgse olukorraga	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
Ahiküte				
Algolukord	437		545	
Akende vahetus või renoveerimine	400	8	496	9
Välisseinte lisasoojustamine (+50 mm+20 mm)	365	16	450	17
Välisseinte lisasoojustamine (+100 mm+20 mm)	353	19	432	21
Pööningu vahelae soojustamine (+200 mm)	376	14	463	15
Õhulekete vähendamine, soojus-tagastiga ventilatsioonisüsteem	353	19	423	22
Akende vahetus või renoveerimine + välisseinte, pööningu vahelae ja põranda soojustamine, õhulekete vähendamine 50%, soojus-tagastiga ventilatsioonisüsteem	278	36	333	39
Otsene elekterküte				
Algolukord	578		366	
Akende vahetus või renoveerimine	530	8	335	9
Välisseinte lisasoojustamine (+50 mm+20 mm)	484	16	304	17
Välisseinte lisasoojustamine (+100 mm+20 mm)	467	19	293	20
Pööningu vahelae soojustamine (+200 mm)	497	14	313	15
Õhulekete vähendamine, soojus-tagastiga ventilatsioonisüsteem	465	20	289	21
Akende vahetus või renoveerimine + välisseinte, pööningu vahelae ja põranda soojustamine, õhulekete vähendamine 50%, soojus-tagastiga ventilatsioonisüsteem	369	36	304	17
Maasoojuspump				
Algolukord	219		128	
Akende vahetus või renoveerimine	203	8	117	9
Välisseinte lisasoojustamine (+50 mm+20 mm)	187	15	106	17
Välisseinte lisasoojustamine (+100 mm+20 mm)	181	17	102	20
Pööningu vahelae soojustamine (+200 mm)	192	13	109	15
Õhulekete vähendamine, soojus-tagastiga ventilatsioonisüsteem	182	17	100	21
Akende vahetus või renoveerimine + välisseinte, pööningu vahelae ja põranda soojustamine, õhulekete vähendamine 50%, soojus-tagastiga ventilatsioonisüsteem	147	33	79	38

Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu:

- välisseinte lisasoojustamine; lisasoojustamisel üle 12...15 cm paksuse hakkab soojustuse suhteline mõju energiakulule vähenema ja maamajadel võib kaaluda piirduda maksimaalselt nimetatud paksusega;
- hoonepiirete õhulekete vähendamine koos soojustagastiga ventilatsiooni kasutamisega;
- soojusallika efektiivsuse parandamine; otsese elekterkütte asendamisel soojuspump lahendusega on võimalik vähendada tarbitavat soojusenergia kulu.

Nagu näha on võimalik vanemate maaelamute energiatõhusust parandada nii hoone soojuskadude vähendamisega (lisasoojustamine, õhulekete vähendamine) kui ka tehnosüsteemide efektiivsuse tõstmisega. Lõpliku valiku juures tuleb arvestada ka maksumust (algmaksumus ja kasutuskulud) ja miljööväärtuse säilimist. Õhksoojuspumba korral tuleb leida koht soojuspumba välisosale. Välisosa paiknemist hoone esifassaadil rehealuse uksele (vt. Joonis 8.14) ei saa pidada maamaja miljööd väärtustavaks lahenduseks. Puitvälisseinale paigaldamist tuleb vältida ka kompressori vibratsiooni seina ülekandumise vältimiseks. Otstarbekam on paigaldada soojuspumba välisosa omaette raamile, mis toetub maapinnale ja leida selline asukoht, kus ta ei kahjusta miljööd.



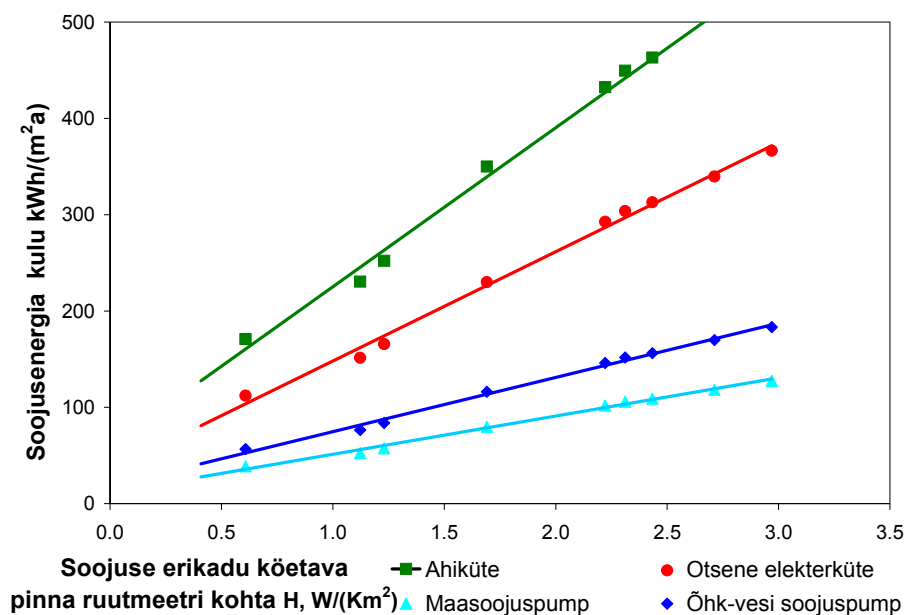
Joonis 8.14 Elamu energiatõhusust on võimalik parandada nii tehnosüsteemide (all vasakul) kui ka hoonepiirete soojustamisega (all paremal). Tähtis on, et hoone arhitektuurne väärtus säiliks.

Hoone summaarne soojuskadu H , W/K sõltub välispiirete soojusjuhtivusest U , W/(m²·K), nende piirete suurusest A , m², külmasildade soojusjuhtivusest Ψ , W/(K·m) või χ , W/K ja nende pikkusest l , m või arvust ning lekkeõhu ülessoojendamise vajadusest ja on arvatav valemiga 8.1:

$$H = \sum U_i \cdot A_i + \sum \Psi_j \cdot l_j + \sum \chi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{inf}, \text{ W/K} \quad (8.1)$$

Hoonepiirete soojuskadu moodustub soojusjuhtivuskaost piirdetarindite kaudu, soojusjuhtivuskaost külmasildade kaudu ja välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevast soojuskaost. Kui soojuskadu jagada läbi köetava pinna ruutmeetritega saame soojuse erikao, millega on võimalik iseloomustada hoone soojuskadusid üldisemalt, sõltumata hoone suurusest. Hoonepiirete soojuse erikadu on võrdelises sõltuvuses hoonesse tarnitud soojusenergia erikuluga, kWh/(m²·a), vt. Joonis 8.15. Erinevad punktid tähistavad erinevaid arvutusolukordi: parempoolsemad punktid märgivad ehitusjärgset olukorda või vähem soojustatud hoonet ning vasakpoolsemad punktid tähistavad rohkem soojustatud hoone renoveerimislahendust: väiksem soojuskadu tagab väiksema soojusenergia kulu. Joonisel tähistab iga erinev joon erinevaid soojusallikaid: ahiküte, elekterküte, õhk-vesi soojuspump ja maasoojuspump.

Selline sõltuvus lubab hoone renoveerimisel valida soojustatavaid piirdeid: hoonepiirded, mida on lihtsam soojustada, soojustatakse rohkem ja hoonepiirded, mille lisasoojustamine on problemaatilisem, soojustatakse vähem. Sama soojuse erikao juures erinevate soojusallikate poolt saavutatav erinev soojusenergia erikulu on põhjustatud efektiivsusest, soojustegurist, soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurist ning sisetemperatuuri juhtimise võimalikkusest (ülekütmise vältimine).



Joonis 8.15 Hoonesse tarnitud soojusenergia sõltuvus hoonepiirete soojuse erikaost

9 Põhimõttelisi renoveerimislahendusi

Maaelamute renoveerimisel tuleb tähelepanu pöörata kõigile ehitisele esitatavatele olulistele nõuetele:

- mehaaniline tugevus ja stabiilsus;
- tuleohutus;
- hügieenilisus, tervise- ja keskkonnaohutus;
- kasutusohutus;
- mürakaitse;
- energiasääst ja energiatõhusus.

Renoveerimisel on esmatähtis hoone ohutuse (kandevõime, tule-, kasutus-, keskkonnaohutus jne.) ja tervisliku sisekliima (piisav õhuvahetus, niiskuskahjustuste vältimine, sobiv temperatuur ja niiskus jne.) tagamine ehk esimesed neli ja osaliselt ka viies oluline nõue. Kultuuri- ja ajalooliselt väärtuslike hoonete ning miljööväärtuslike hoonete juures tuleb erilist tähelepanu pöörata ka nende väärtuste säilimisele. Alles seejärel võib pöörata tähelepanu energiasäästule ja mugavustaseme parandamisele. Loomulikult võib renoveerimistööd teha nii, et tagatakse hoone ohutus, tervislikkus, energiasääst ja parem elukvaliteet. See on parim lahendus.

Lihtsustamaks seda renoveerimistööde prioriteetsust, võib renoveerimistööd jaotada kolmeks tasemeks: **A, B, C**:

- **Tase A.** Selle juures pööratakse tähelepanu eelkõige hoone **ohutusele** (kandevõime, tule-, kasutus-, keskkonnaohutus) ja **tervislikkusele** (piisav õhuvahetus, niiskuskahjustuste vältimine, sobiv temperatuur ja niiskus jne.);
- **Tase B.** Parandatakse hoone **energiatõhusust** ja pikendatakse **säilivust** ning **kasutust**;
- **Tase C.** Parandatakse hoonete **kvaliteeti** ja **elamismugavust**.

Oluline on, et enne järgneva taseme töödega alustamist peavad olema eelmise taseme tööd tehtud või tehakse kõik korraga. Ei ole õige teha investeeringuid mugavuse jaoks või viimistluseks (...krohv, värv, lasuur jne.), kui energiatõhususe tööd (näiteks hoonepiirete soojustamine, küttesüsteemi või ventilatsioonisüsteemi renoveerimine jne.) ei ole tehtud või ei ole tagatud ohutus (konstruktsioonide kandevõime) või tervislik elukeskkond (näiteks ventilatsiooni renoveerimine).

Ajalooliste väärtuste säilimisele ja miljööväärtuslikkuse tagamisele tuleb tähelepanu pöörata igas etapis. Konsultatsiooni vanade maamajade renoveerimise osas võib saada näiteks:

- MTÜ Vanaajamaja (info@vanaajamaja.ee);
- Eesti Vabaõhumuuseum (<http://www.evm.ee/id/120/>, <http://maaarhitektuur.blogspot.com/>);
- Säästva Renoveerimise Infokeskus, SRIK (<http://www.srik.ee>);
- renoveerimisele keskendunud professionaalsed insenerid ja arhitektid;

Erinevatel renoveerimismeetmetel on erinev energiakulu vähenemine, mõju hoone kestvusele, erinev maksumus (ehitus-, kasutus-, hooldusmaksumus) jne. Eelistada tuleb hoone tervikrenoveerimist pöörates tähelepanu:

- hoone turvalisuse ja tervislikkuse tagamisele; ohtliku- või avariolukorra likvideerimisele;
- hoone tarindite ja konstruktsioonide kasutusea pikendamisele;
- hoone energiatõhususe parandamisele;
- hoone arhitektuursele sise- ja välisilmele;
- ajalooliste väärtuste säilimisele ja miljööväärtuslikkuse tagamisele;
- maksumusele: ehitus, kasutus (energialuku), hooldus.

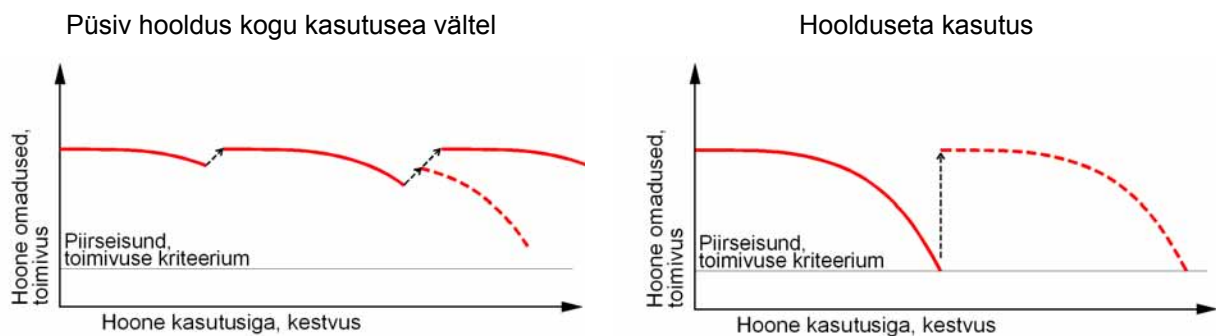
Kahjustunud tarindi või mittetoimiva süsteemi renoveerimise juures on esmatähtis probleemi põhjuse likvideerimine ja alles seejärel tagajärgedega võitlemine. Kuna ressursse pole kunagi piisavalt, tuleb renoveerimistööd viia läbi säästlikult. Suurim sääst seisneb õigesti tegemises ja mitu korda ümbertegemata jätmises.

Enne hoone renoveerimist tuleb läbi viia teatud eeltööd:

- Ehitusekspertiis, mille käigus uuritakse:
 - o ehitiste, kande- ja piirdetarindite ja materjalide seisukorda,
 - o võimalikke kahjustusi ja nende ulatust,
 - o selgitatakse välja kahjustuste põhjused,
 - o tehakse ettepanekud olukorra parendamiseks või likvideerimiseks;
- Energiaaudit, mille käigus selgitatakse:
 - o kuidas kasutatakse energiat,
 - o millised on võimalikud energiasäästumeetmed,
 - o kuidas saab energiat tõhusamalt kasutada.
- Renoveerimistöde ehitusprojekt:
 - o annab aluse tööde teostatuseks, tulemuse hindamiseks ning selged juhised tööde tegemiseks,
 - o projekteerimise käigus saab koostada ja võrrelda erinevaid lahendusi, arvestades energiatõhususe, arhitektuursete, miljööväärtuslike, majanduslike jne. seisukohtadega,
 - o projekteeritud lahendused peavad toimima nii ehitustehniliselt, ehitusfüüsikaliselt kui ka arhitektuursetelt,
 - o kahjustuste korral on esmatähtis kahjustuse või probleemi põhjuse likvideerimine ja alles seejärel tagajärgedega võitlemine,
 - o võimalikult palju kasutada ja säilitada hoonete ajaloolisi väärtusi.

Lisaks hoone renoveerimisele on oluline ka hoone püsiv hooldus. Keskkonnamõjude tõttu hoone omadused ja nende tehniline toimivus üldjuhul vähemal või suuremal määral halveneb. Kui aga hoonet keskkonnamõjude ja kahjustuste eest piisavalt kaitsta, võib hoone kasutusega olla sajandeid pikk. Selleks tuleb hoone omanikul või kasutajal hoonet pidevalt hooldada ja õigel ajal sekkuda. Hoolduse ja renoveerimise mõju hoone kasutuseale võib vaadelda Joonis 9.1-e abil. Igal omadusel (kandevõime, veepidavus) võib vaadelda teatud seisundit, mille ületamisel hoone/konstruktsioon/tarind lakkab rahuldavast talle esitatud nõudeid, edasine kasutamine tuleb katkestada, on vaja teha omaduste oluline parendamine. Seda seisundit nimetatakse piirseisundiks. Eristatakse kande- ja kasutuspiirseisundit:

- **kandepiirseisundi** ületamine põhjustab konstruktsiooni kandevõime kaotuse (purunemise, stabiilsuse kaotuse jne.);
- **kasutuspiirseisundi** ületamisel ei ole enam täidetud konstruktsioonile esitatavad kasutusnõuded:
 - o konstruktsioonide läbipained ja deformatsioonid on liiga suured (kahjustavad normaalset kasutamist, välimust, mittekandekonstruktsioone vms.),
 - o kahjustavate pragude tekkimine,
 - o kestvust vähendavad kahjustused (mädanik, korrosioon, soolade kahjustused vms.);
 - o kahjulike mikroorganismide (hallitus, bakterid vms.) kasv,
 - o hoone liigsuured kasutuskulud (energiakulu, hoolduskulu vms.),
 - o jne.



Joonis 9.1 Hoone kasutusega sõltuvalt hooldusest.

Püsiva hoolduse ja vajadusel renoveerimise korral (Joonis 9.1 vasakul) on piirseisundi ületamine vähemtõenäoline kui hoolduseta kasutuse korral (Joonis 9.1 paremal). Püsiva hoolduse ja vajadusel renoveerimise korral on ka omaduste taastamiseks, parendamiseks tehtavatele töödele kuluv aeg, raha või mõni muu ressurss väiksem.

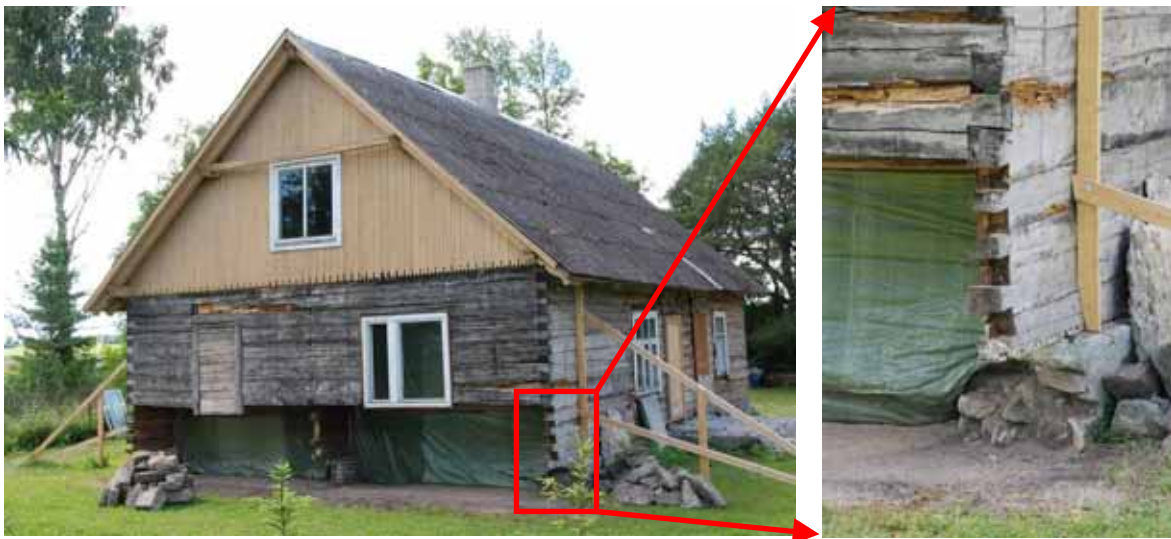
Seetõttu on kasutusea pikendamise ja ehitustööde maksumuse vähendamise eesmärgil vaja alati hoonet korralikult hooldada. Puithooneid on mõistlik korraliselt hooldada minimaalselt kaks korda aastas – kevadel pärast lume sulamist, et avastada võimalikke talviseid kahjustusi ja sügisel pärast lehtede langemist, et kontrollida, kas hoone on talve tulekuks valmis (Uus, 2010 I).

Vanemate maamajade renoveerimisel on mitmeid lahendusi ja ainuõiget lahendust alati ei ole. Igal lahendusel on oma riskid, millega tuleb arvestada. Järgnevalt on esitatud mõnede tarindite renoveerimislahenduste põhimõttelised lahendused. Neid ei tule käsitleda konkreetsete tööjoonistena, vaid põhimõtteliste renoveerimisideedena.

Renoveerimislahenduste joonistel on lahendused esitatud ühe tarindiosa kohta, et tuua selgemini välja konkreetse tarindi renoveerimislahendus. Ehitusprojekti peab sokli, seina ja põranda renoveerimislahendused koondama ühele joonisele. Tööd tuleb terviklikult planeerida.

9.1.1 Välissein

Enne renoveerimistööd tuleb selgitada välisseinapalkide seisukord. Vanemate palkhoonete levinud probleem on, et alumised 1–3 palgirida on kahjustunud ja vajavad asendamist, vt. Joonis 9.2. MTÜ Vanaajamaja on koostanud tutvustava infomaterjali palkide vahetuse kohta (Uus, 2010 II), kust saab esmast infot selle töö kohta. Kui hooneomanikul või ehitusfirmal ei ole varasemat kogemust palkide vahetusega, tasub lasta see teha oskajatel meistritel (OÜ Vana Maja, Hobbiton Home OÜ, Saulerman OÜ, OÜ Vipson Projekt jt.). Alati tuleb kontrollida alumise palgi ja vundamendi vahelise toimiva hüdrosolatsiooni olemasolu ning selle puudumisel tuleb see paigaldada.



Joonis 9.2 Välisseinte alumiste palkide asendamine.

Alumiste palkide kahjustuse põhjuseks on palgi ja vundamendi vahelise hüdrosolatsiooni puudumine või liiga madal sokkel. Sokli kõrgus peaks olema üle 30 cm. Vajadusel tuleb maapinda planeerida, pöörates samas tähelepanu, et maapinna kalle ($>1/20$) jääks hoonest eemale ja et ei kahjustataks vundamenti. Madala vundamendi korral tuleb kasutada külmakerke soojustust.

Kui hoone välisvooder vajab vahetamist, on väga soovitatav kaaluda koos välisvoodri vahetusega paigaldada välisseintele ka lisasoojustust. Lisasoojustamise korral tuleb hoolikalt läbi mõelda seina liitumine teiste ehitusosadega: akendega, sokliga, räästaga, et ei tekiks vastuolu hoone esialgse arhitektuurse välisilmega. Hoolika projekteerimise ja ehitamise korral on võimalik ka lisasoojustamise korral vältida hoone välisilme kahjustumist ja esialgse miljööväärtuse kadumist. Mõõtmised uuritud hoonetel näitasid, et akna ja sokli lahendused võimaldavad hoone välisilmet kahjustamata paigaldada 5...10 cm paksust lisasoojustust, vt. Joonis 9.3. Lisasoojustus paigaldatakse puitroovide vahele ja kaetakse tuuletõkkeplaadiga. Tuuletõkkeplaadiks on soovitatav kasutada mineraalvillast tuuletõkkeplaati, kuna see on suurema soojustakistuse ja veeaurujuhtivusega. Need omadused parandavad välisseina soojus-

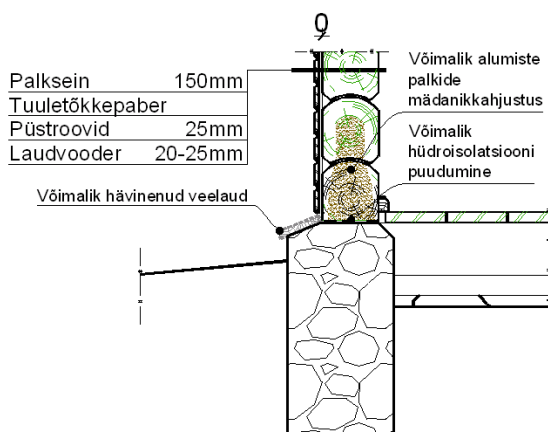
ja niiskustehnilist toimivust. Need omadused parandavad välisseina soojus- ja niiskustehnilist toimivust. Koos tuuletõkkeplaadiga kujuneks siis soojustuse kogupaksuseks 7...12 cm. See suurendab oluliselt välisseinte soojustakistust. Koos lisasoojustustöödega tuleb viia läbi ka palgivahede topimine ja tihendamine.



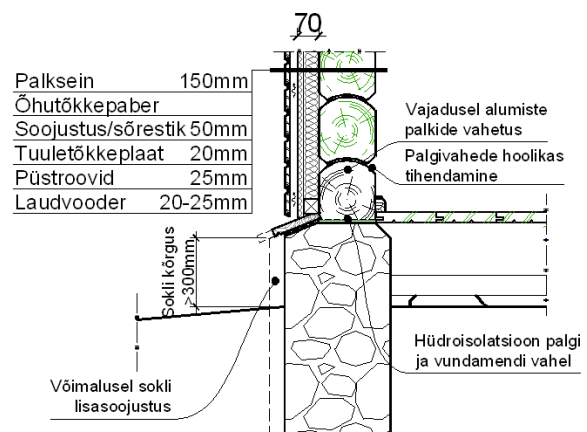
Joonis 9.3 Välisseinte lisasoojustamisel tuleb hoolikalt lahendada liitumised akna ja sokli juures. Üldjuhul võimaldab olemasolev tarindus vanemate palkelamute lisasoojustamist ilma hoone väärtust kahjustamata.

Joonis 9.4 ja Joonis 9.5 esitavad välisseinte lisasoojustamine lahenduse 50 mm paksuse soojustuskihiga ja 20 mm paksuse tuuletõkkeplaadiga. Üldjuhul on võimalik sellise lisasoojustuse paksuse korral jätta aknaraamid (tihti ka tenderpostideks) alles, oma esialgsesse (ehitusjärgsesse) asukohta.

Renoveerimiseelne olukord

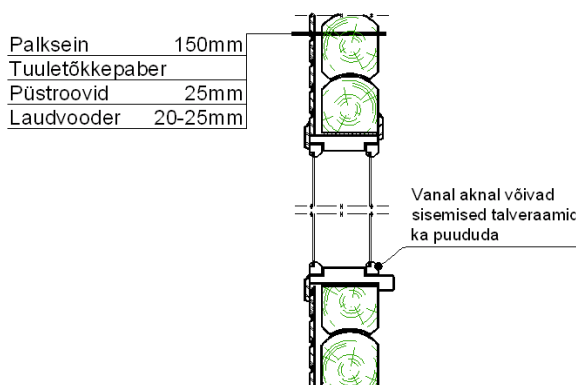


Renoveerimisjärgne olukord

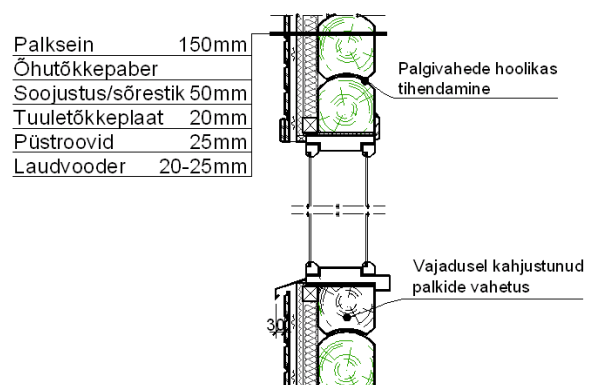


Joonis 9.4 Välisseinte lisasoojustamine 50 mm + 20 mm tuuletõkkeplaat: sokli sõlm.

Renoveerimiseelne olukord

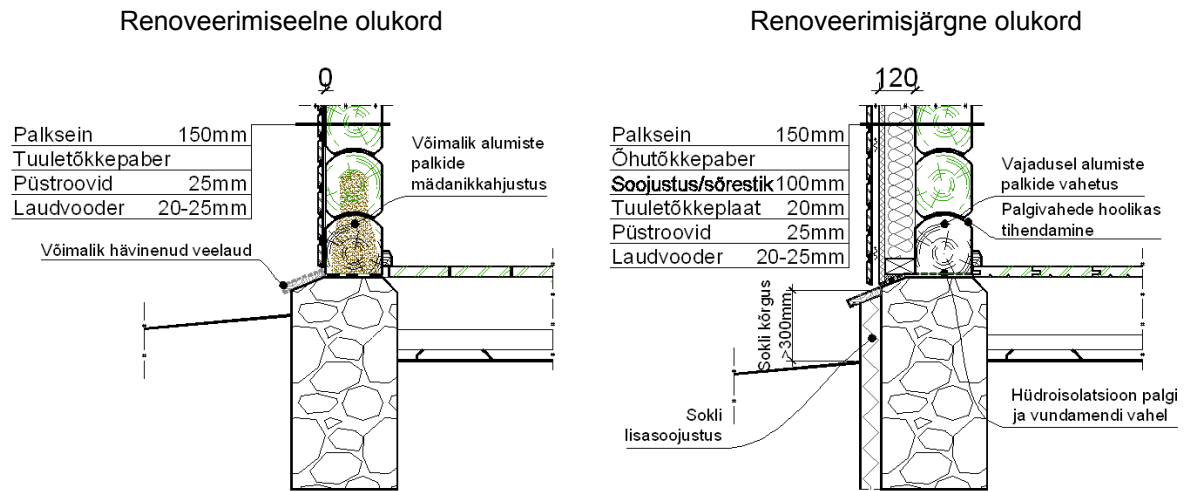


Renoveerimisjärgne olukord

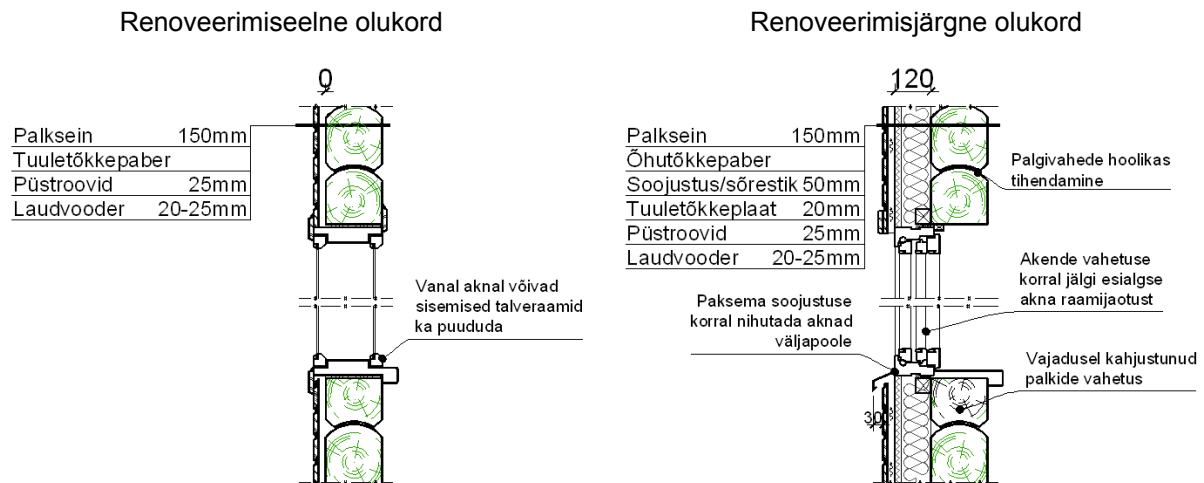


Joonis 9.5 Välisseinte lisasoojustamine 50 mm + 20 mm tuuletõkkeplaat: akna sõlm.

Joonis 9.6 ja Joonis 9.7 esitavad välisseinte lisasoojustamine lahenduse 100 mm paksuse soojustuskihiga ja 20 mm paksuse tuuletõkkeplaadiga.



Joonis 9.6 Välisseinte lisasoojustamine 100 mm + 20 mm tuuletõkkeplaat: sokli sõlm.



Joonis 9.7 Välisseinte lisasoojustamine 100 mm + 20 mm tuuletõkkeplaat: akna sõlm.

Soojustus paigaldatakse seinal kinnitatud roovide vahele. Kuigi üldjuhul on vanema palkhoone seinte vajumine renoveerimise ajaks lõppenud, on soovitatav jälgida, et roovid võimaldaksid palkseina kõrguste muutusi. Roovide omavaheline vahemaa on 1 cm kitsam soojustusplaadi laiusest. Siis liubub soojustus tihedalt vastu roove. Palkseina läbipuhutavuse vähendamiseks tuleb palkide vahed hoolikalt tihendada ja toppida. Seinte läbipuhutavuse vähendamiseks on soojustuse ja palkseina vahele hea paigaldada õhutõkkepaber. Tuuletõkkeplaatide omavahelised liitekohad ja liitekohad akende, katusega, sokliga jne. peavad olema õhutihedad.

Esialgse arhitektuurse ilme säilitamiseks on üldjuhul vajalik sellise lisasoojustuse paksuse korral nihutada ka aknad väljapoole. Kuna tihti on aknaraamid palkhoonel ka tenderpostideks, tuleb need alles jätta või paigaldada uued. Tenderpostide ülesanne on palgiotsi siduda ja seina tugevdada. Tenderposti puudumise tõttu võib sein vajuda kõveraks (vt. Joonis 9.8). Sõltuvalt ava kõrgusest peaks kasutama T-tenderposte või palk-tenderposte ($h > 1$ m.) või peitetenderposti ($h < 1$ m.), vt. Joonis 9.9.

Tenderposti puudumise tõttu on sein kõveraks vajunud



Joonis 9.8 Tenderpostideks olnud aknaraamide eemaldamisse korral tuleb tagada tugi palgiotstele.

T-tenderpost

Peit-tenderpost



Joonis 9.9 Palgiotste sidumine akna juures.

9.1.2 Põrand

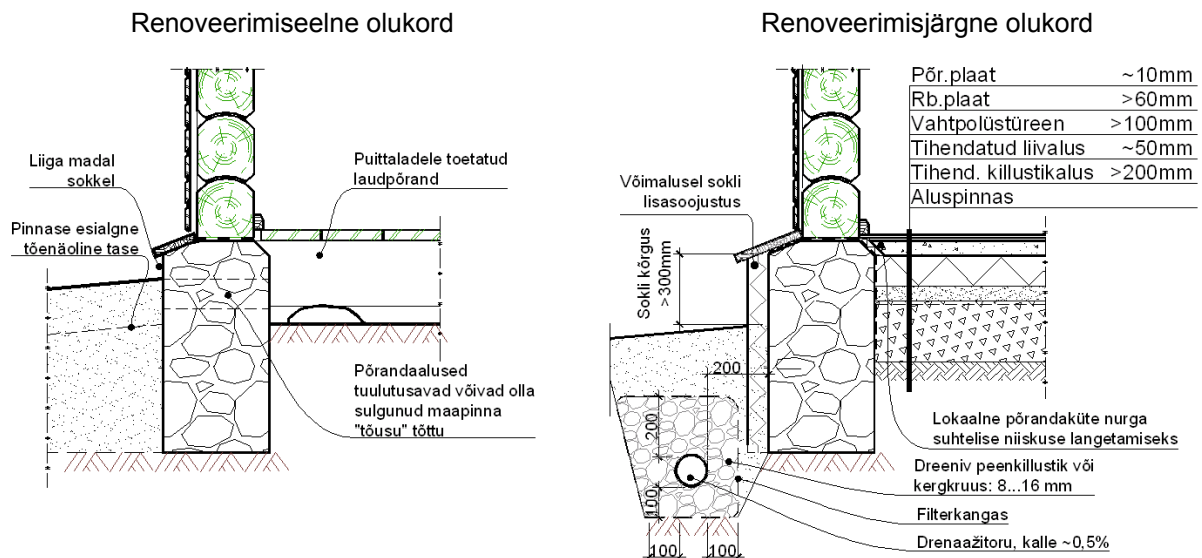
Esimese korruse põrandate lahendused ja probleemid võivad olla väga erinevad. Seetõttu on raske anda nendele ühtselt sobivaid renoveerimislahendusi. Alati tuleb lähtuda probleemi või kahjustuse põhjusest ja see likvideerida. Vastasel korral, kui ainult tagajärgedega võidelda, tuleb probleem või kahjustus uuesti.

Et hoida pinnasevee tase piisavalt kaugel põrandast ja vundamendist, paigaldatakse hoone ümber või alla drenaažitorustik. Drenaažitorustik võimaldab koguda pinnases liikuvat vett ja juhtida see vundamendist eemale ning katkestada vee kapillaarne tõus. Drenaaž rajatakse topeltseinaga gofreeritud plasttorudest, läbimõõduga Ø110/95mm, mille seinad on pilutatud.

Drenaažitoru kõrgeim koht peab olema alati põranda alusest madalamal üle 40 cm ja madalamal kui vundamendi põhi. Eelnevalt tuleb vundamendi sügavus ja olukord (seotud kivid või mitte) selgitada lokaalse surfimise teel. Väikese vundamendi sügavuse ja sidumata kivide korral tuleb drenaaž rajada hoonest mõnevõrra eemale, et kaevamisel ei kahjustataks vundamenti. Drenaažitoru paigaldus või soojustus peab tagama, et torustik oleks külmumispiirist allpool. Drenaažitorustiku alla tihendatakse vähemalt kümne sentimeetri paksune ühtlase kaldega kruusa või killustiku alus. Hoonevälise drenaažitoru miinimumkalle on $i = 0,5 \%$ (viis millimeetrit kallet ühe meetri toru pikkuse kohta) ja hoonealuse torustiku miinimumkalle on $i = 0,8 \%$. Drenaažitoru kaetakse pealt vähemalt kahekümne sentimeetri ja külgedelt vähemalt

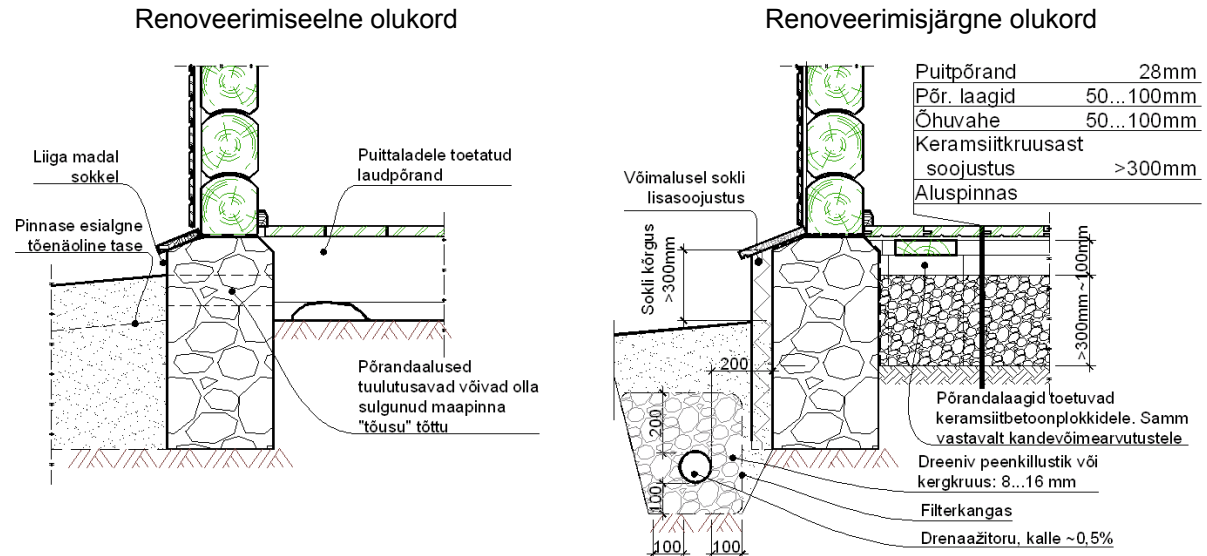
kümne sentimeetri paksuse dreniiva peenkillustiku või kergkruusa kihiga (8...16 mm). Drenaažitoru mähitakse filterkangasse või kaetakse kangaga kogu toru ümbritsev dreniiv pinnas. Drenaažitorustiku vähemalt igasse teise pöördepunkti paigaldatakse drenaažikaevud, mille kaudu saab torustikku puhastada ja millesse settib ka torusse sattunud liiv ja muu sete. Drenaažitorustikku ei tohi juhtida katuse sadevett ega pinnavett maapinnalt, sest nii hakkab katuselt kokkukogutav vesi või pinnavesi niisutama vundamenti. Drenaaži rajamisel tuleb pöörata tähelepanu killustiku ja drenaažitoru filterkangaga ümbritsemisele ja tagasitäite tihendamisele. Vastasel korral võib voolav vesi hakata pinnast ära uhtuma ja vundamendi ümber olev pinnas võib vajuma hakata. Drenaaži rajamise korral peab olema ka koht pinnasevete ärajuhtimiseks (veekogu, kraav vms.)

Üks renoveerimislahendus on olemasoleva põranda asendamine soojustatud betoonpõrandaga (vt. Joonis 9.10). Kui soovitakse kasutada põrandakütet, on see üks sobivaim lahendus. Põranda viimistluseks võib olla põrandaplaat, põranda rullkate või laudpõrand. Betoonplaadi all on soojustuseks vahtpolüstüreen (niiskust mitteimav, koormustkandev). Soojustuse alla tuleb teha 20...25 cm paksune tihendatud killustikust või kruusast niiskuse kapillaarset liikumist takistav kiht. Sellele on soovitatav lisada õhuke liivakiht, et killustikukivid ei muljuks soojustusmaterjali katki. Soojustuse paksuseks võib arvestada põrandakütte korral 20...15 cm; kui põrandakütet ei ole, või piirduda 10 cm paksuse soojustusega. Betoonpõrandat ei tohi valada palkide vastu (põrand palkidest kõrgemal). Soojustada on soovitatav ka sokkel. Kui soklit ei soojustata, jääb põranda ja seina liitekohta oluline külmasild. Madalate pinnatemperatuuride vältimiseks (kõrge suhteline niiskus) on soovitatav põranda välisperimeetrisse paigaldada põrandaküttekaabel. Betoonpõrandaplaati ei tohi valada kokku vundamendiga, kuna siis tekib sinna oluline külmasild.



Joonis 9.10 Olemasoleva põranda asendamine soojustatud betoonpõrandaga.

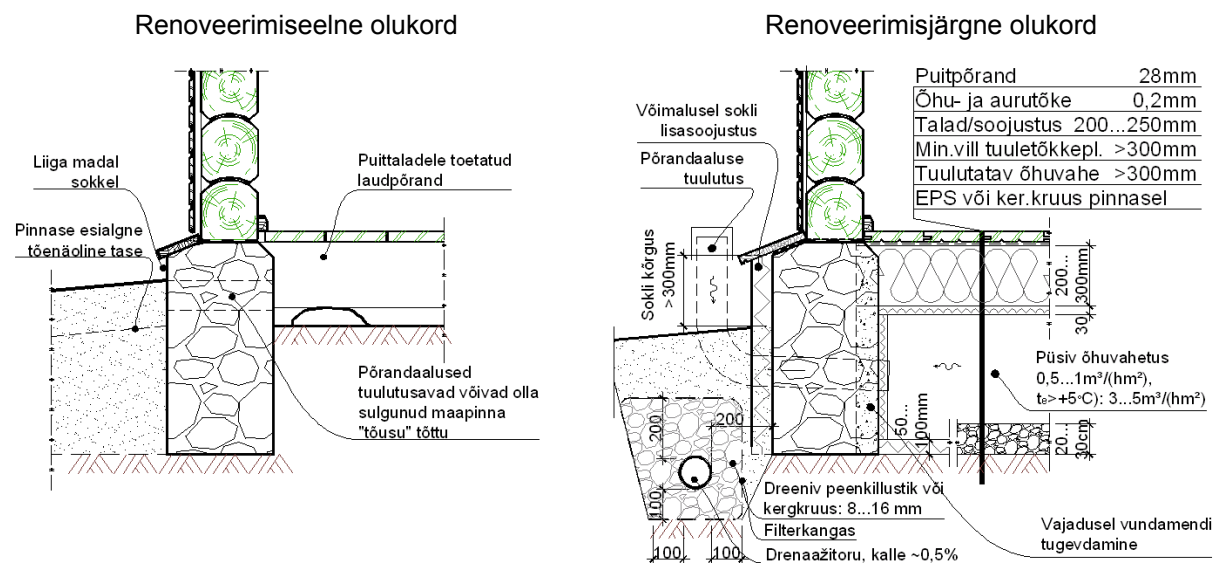
Üks võimalik põranda renoveerimislahendus võib olla ka põrandaaluse soojustamine keramsiitkruusaga ja laagidele toetatud laudpõranda ehitus (vt. Joonis 9.11). Keramsiitkruusast soojustuse vajalik paksus on > 30 cm. Põrandalaagid toetatakse keramsiitplokkidele, mis paiknevad soojustuse sees. Kui põranda tõstmine ei tekita probleeme, võib sokli külmasilla vähendamiseks keramsiitkruusast soojustuse kihi paigaldada kuni vundamendi ülemise pinnani. Keramsiitkruusaga soojustatud ja laagidele toetatud laudpõranda riskikohaks on maapinna võimalike gaaside, mikroobide vms. liikumine siseruumidesse, kuna pinnas ei ole siseruumidest eraldatud.



Joonis 9.11 Põrandaaluse soojustamine keramsiitkruusaga ja laagidele toetatud laudpõranda ehitus.

Üks võimalik põranda renoveerimislahendus võib olla ka välisõhuga tuulutatava soojustatud puitpõranda ehitus (vt. Joonis 9.12). See lahendus eeldab põrandaaluse süvistamist. Madala ja sidumata kividega vundamendi korral on see probleemne ja võib nõuda vundamendi tugevdamist. Täiendava meetmena tuleb tagada ka põrandaaluse ruumi õhuvahetus $0,5...1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, mida tõhustatakse suvel: $3...5 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Põrandaaluse ruumi tuulutamiseks tehakse alusmüüri tuulutusavad, mille summaarne pindala on vähemalt 4 % põranda pindalast. Tuulutusavade alaserv peab olema maapinnast vähemalt 150 mm kõrgemal ja avade minimaalne pindala (resti või võre vaba pindala) peab olema 150 cm^2 ning maksimaalne vahekaugus 6 m. Põrandaaluses ruumis olevatesse vaheseintesse tehakse vastavad, kuid vähemalt kaks korda suuremad augud kui alusmüüris. Tuulutust saab vajadusel tõhustada mehaanilise ventilatsiooniga.

Kuna soojus- ja niiskuslikud tingimused põrandaaluses ruumis on soodsad mikroorganismide kasvuks, tuleb põrandaalune ruum puhastada puitmaterjalidest ja orgaanilisest sodist. Põrandaaluse ruumi soojusliku massiivsuse vähendamiseks ja pinnasest niiskuse aurumise vähendamiseks kaetakse pinnas 10...5 cm paksuse vahtpolüstüreeniga või 30...20 cm paksuse keramsiitkruusa kihiga.



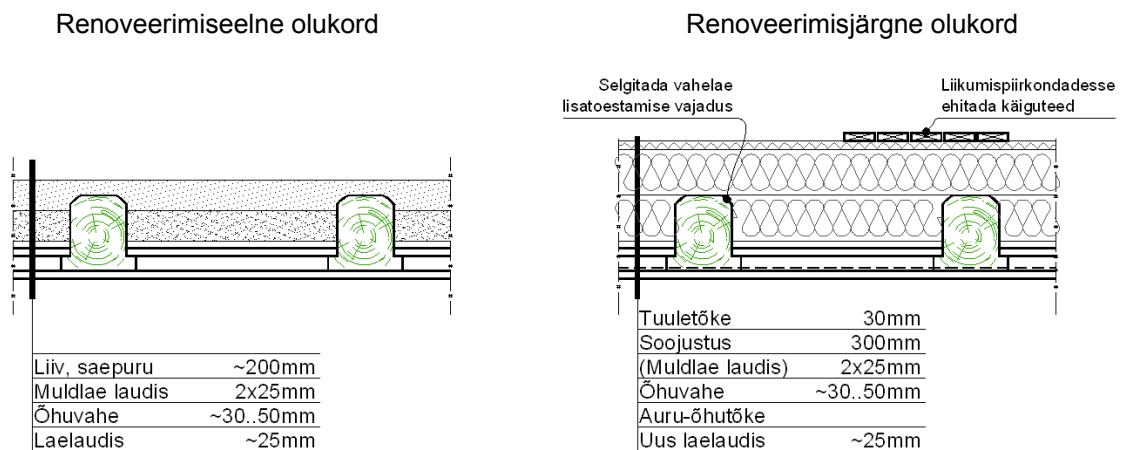
Joonis 9.12 Välisõhuga tuulutatava soojustatud puitpõranda ehitus.

9.1.3 Pööningu vahelagi

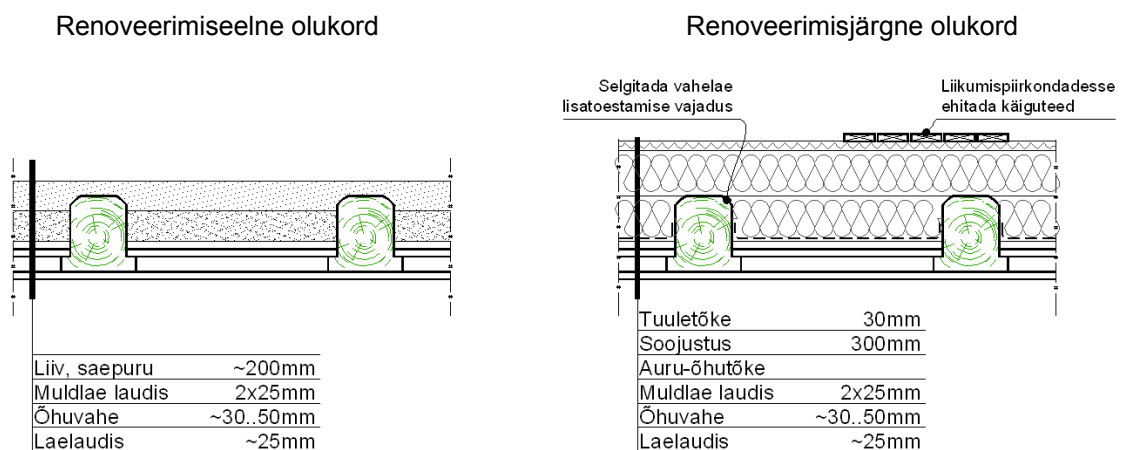
Pööningu vahelagi on ülevaalt poolt esimese korruse köetavate siseruumide piirdeks. Kuna pööningu vahelaetalade vahe oli ehitusjärgselt täidetud liiva, saepuru, õlgede või linaluuga, ei ole vahelae soojustakistus suur. Kui elamu katusealune on köetav ja eluruumidena kasutatav, ei ole vahelae soojustamine oluline. Renoveerimisel tuleb siis pöörata tähelepanu eelkõige kandevõime, tuleohutuse, läbivajumise ja helipidavuse probleemidele. Kui katusealune on kütmata ruum, tuleb tähelepanu pöörata ka õhu- ja soojuspidavusele.

Pööningu vahelae lisasoojustamise lahendused sõltuvad paljuski sellest, kas ruumide laelaudist soovetakse eemaldada/asendada või mitte. Laelaudise eemaldamisel/asendamisel (vt. Joonis 9.17) saab õhu- ja aurutõkke paigaldada laetalade alla ühtse tervikuna kogu ruumi ulatuses. Nii jääb võimalikke lekkekohti vähem. Tuleb vältida õhu- ja aurutõkkesse aukude ja läbiviikude tegemist ja kõik läbiviigud tuleb hoolikalt tihendada. Kui laelaudist ei eemaldata (vt. Joonis 9.18), tuleb õhu ja aurutõkke paigaldada laetalade vahele, muldlaelaudise peale.

Kuna pööningu vahelae soojustamine ei nõua täiendavaid tarindimuutusi, võib soojustuse paksus olla 30...50 cm. Taladevahelise vana täite (liiv, saepuru vms.) võib eemaldada, siis saab tulemuslikumat soojustust paigaldada rohkem. Korstna ja katuseluugi juurde või teistesse liikumiskiirkondadesse tuleb rajada käiguteed, et soojustust ära ei tallutaks.



Joonis 9.13 Pööningu vahelae lisasoojustamine olemasoleva laelaudise eemaldamisel/asendamisel.



Joonis 9.14 Pööningu vahelae lisasoojustamine olemasoleva laelaudise säilimisel.

Pööningule ruumide ehitamisel tuleb kontrollida vahelae kandevõimet ja läbivajumisi ning vajadusel tuleb vahelagi tugevdada.

9.1.4 Katused

Katuste renoveerimise juures tuleb vaadelda mitut aspekti:

- katusekatte veepidavust;
- katusekonstruktsioonide kandevõimet;
- katuslae korral tema soojus- ja niiskustehnilist toimimist.

Katusekate

Katusekatte peamine ülesanne on tagada hoone kaitse sademete (vihm, lumi, rahe jne.) eest. Katusekatte lekkimine on üheks peamiseks põhjuseks vanemate hoonete lagunemisel või katusekonstruktsioonide kandevõime katusel. Sõltuvalt katusekatte materjalist on nende kestvus erinev. Katusekatte veepidavust ja kestvust mõjutavad lisaks materjali enese omadustele veel ehitustöö kvaliteet, kliimamõjud ja hooldustingimused. Katusekatte ennetav remont või vahetus võib olla vajalik hoone üldise kestvuse seisukohalt. Ei ole õige oodata, kuni katus hakkab läbi tilkuma. Hooldusele tuleb mõelda iga aasta ja katusekatte vahetusele ning põhjalikumale remondile tuleb mõelda, kui katuse oodatav kasutusiga hakkab lähenema lõpule. Vana maamaja katusekatte vahetuse korral tuleb eelistada elamu ehitusjärgset katusekatet ja vältida mittesobivaid imitatsioonmaterjale. Korralikult ehitatud laastukatus võib heaperemeheliku hoolduse korral pidada vastu aastakümneid. Kogenuid ehitusmeistreid on olemas (OÜ Katusõkatja, OÜ Ökokatused, FIE Jüri Metsalu, FIE Mart Hommik, OÜ Tani Mets, FIE Jaanus Salm, OÜ Impel jne.), tuleb vaid aegsasti ennast töödejärgkorda panna.

Katusekonstruktsioonide kandevõime

Katusekonstruktsioonid peavad taluma lume-, tuule-, hoolduse- ja katusekonstruktsioonide omakaalu koormusi.

Eestis kehtivate projekteerimisstandardite järgi on normatiivne lumekoormus maapinnal vahemikus 1,0...1,75 kPa so. umbes 100...175 kg/m². Suurem lumekoormus on Pandivere, Otepää ja Haanja kõrgustikul ning väiksem Lääne-Eesti saartel.

Katusel oleva lumekoormuse juures arvestatakse lumekoormuse kujuteguriga, mis sõltub katuse kaldest ja katuse kujust ning on üldiselt vahemikus 0...1,6. Võimalikest tuulest kantud lumehangedest (nn. lumekott) võib normatiivne lumekoormus olla kuni neli korda suurem maapinnal olevast lumekoormusest. Lamekatustel on normatiivne lumekoormus üldiselt 0,8...1,2 kPa, mis võrdub seisnud lume puhul ligi 40...60 cm paksusega. Ilmade soojenedes lumekoormus ei suurene, lumi vajub kokku ja tiheneb, kuid mass ei muutu. Märja lume puhul võrdub normatiivne lumekoormus vastavalt 20...30 cm lume paksusega. Kui lumele sajab vihma, võib koormus katusele oluliselt suureneda. Katustel, mille kalle on 30 kuni 60 kraadi, on lumekoormus vähendatud. 45 kraadi juures on maja projekteerijad tõenäoliselt arvestanud märja lume paksusega vastavalt 10...15 cm. Katustel, mille kalle on üle 60 kraadi, ei jää lumi püsima ning põhiliseks koormuseks on tuul. Erinevate katuste liitumisel või katuste külgnemisel kõrgema seinaga on tavaliselt uute elamute projektides arvestatud lume kuhjumisega. Siiski võib ka sellise lumekoti puhul märja lume paksusel üle 75 cm olla tegemist reaalse ohuga konstruktsioonide kandevõimele. Vanemate majade puhul või juurdeehituste tegemisel ei pruugi olla lume lokaalse kuhjumusega projekteerimisel arvestatud. Nagu näha, ei või ainult katusel oleva lume paksuse järgi otsustada katusele mõjuva lumekoormuse ja lume eemaldamise vajaduse üle.

Kui lume koormus katusel on suurem, kui konstruktsioonid (sarikad, roovid) kanda jõuavad, toob see kaasa katuste varisemise. Suured katuse läbivajumised toimuvad juba väiksemate lumekoormuste puhul. Kuigi läbivajumised üldjuhul taanduvad koormuse eemaldamisel, võivad suured läbivajumised vähendada katusekatte veepidavust. Vanemate maamajade juures ei pruugi eriti asjakohane olla lume katuselt äralükkamise juures arvestada normatiivse koormusega. Kahjustunud konstruktsioonide kandevõime võib olla oluliselt väiksem kui kahjustamata konstruktsioonidel (ehitusjärgne olukord), kuna aja jooksul on konstruktsiooni omadused halvenenud. Seetõttu võib konstruktsioonide kandevõimekaotus juhtuda juba ka väiksema koormuse või lumepaksuse korral. Lisaks tavapärasele lumekoormusele tuleb veel

arvestada koormusega, mis võib tekkida kõrgemalt katuselt madalamale libisevalt või kukkuvalt lumelt, veeäravoolu ummistumisest tingitud koormusega, jääkoormusega jne. **Seetõttu tuleb katuselt liigse lume mahaajamisse suhtuda äärmiselt tõsiselt.**

Maja omanikul või kasutajal on soovitatav küsida konstruktsioonide kandevõime kohta nõu maja projekteerijalt või mõnelt teiselt pädevalt ehitusinsenerilt. Kandekonstruktsioonide välja vahetamise või rekonstrueerimise korral tuleb teha ehitusprojekt.

Katuslae soojus- ja niiskusrežiim

Kuna katusekattematerjal või katuse aluskattematerjal on üldiselt suure veeaurutakistusega. Seetõttu tuleb katuslae ja katusekattematerjali või katuse aluskattematerjali vahele jätta välisõhuga tuulutatav õhkvahe. Katuslagi soojustatakse 25-35 cm paksuse soojustusega, kaetakse väljastpoolt tuuletõkkeplaadiga ja seestpoolt õhu- ja aurutõkkega (vastav paber või kile). Sõltuvalt katuslae lahendusest peab õhu- ja aurutõkke veeaurutakistus olema 5-80 korda suurem kui tuuletõkkeplaadi veeaurutakistus. Vajalik veeaurutakistus arvutatakse vastavalt katuse tarindi lahendusele ja valitud ehitusmaterjalide omadusele. Ehitamise käigus tuleb tagada õhu- ja aurutõkke terviklikkus. Katuslae siseviimistlus tehakse perenaise meele järgi.

9.1.5 Ventilatsioon ja küte

Ventilatsioon

Ruumide õhuvahetuse ehk ventilatsiooni abil tuuakse ruumidesse puhas õhk ja eemaldatakse saastunud õhk. Ventilatsioon on väga oluline ruumi õhu puhtuse tagamisel. Ventilatsioon mõjutab ka oluliselt hoone energiatõhusust. Kui väljapuhkeõhu soojust kasutada ära näiteks sissepuhkeõhu või tarbevee soojendamiseks, on võimalik hoone energiatõhusust oluliselt parandada. Ventilatsioon peab elamu kasutamise ajal olema pidev. Tähtis on, et õhk vahetuks kõigis tubades. Köögi, vannitoa, duširuumi, sauna ja WC puhul tagabv ventilatsioon ka niiske õhu väljaviimise.

Hoone olulisel renoveerimisel lähtutakse õhuvahetuse tagamisel keskmisest (II klass: tava-pärased nõudmised sisekliima kvaliteedile, EVS-EN 15251) sisekliimaklassist. Selle kohaselt tagatakse inimese kohta ruumis õhuvahetus 7 l/s. Kuna projekteerimisel ei ole inimeste arv hoone eluea kestel tavaliselt teada, lähtutakse ventilatsiooni välisõhu vooluhulga määramisel ruumi pindalast: elu- ja magamistubades 1,0 l/(s·m²) või üldõhuvahetus eramu netopinna kohta 0,42 l/(s·m²). Vastavalt vajalikule sissepuhkeõhule (eelmisest kahest suurem) jaotatakse väljatõmbe õhuvooluhulgad suhtena: köök: 20 l/s, pesuruum: 15 l/s, WC: 10 l/s. Ruumide kasutajate välisel ajal võib neid õhuvooluhulkasid vähendada. Minimaalseks õhuvooluhulgaks on 0,05...0,2 l/(s·m²), mis 2,5 m kõrguse ruumi korral tähendab õhuvahetuskordsust 0,07...0,15 h⁻¹. Vähendada võib õhuvahetust ka juhul kui hoone kasutajaid-elanikke on vähem projekteerimisel arvestatust.

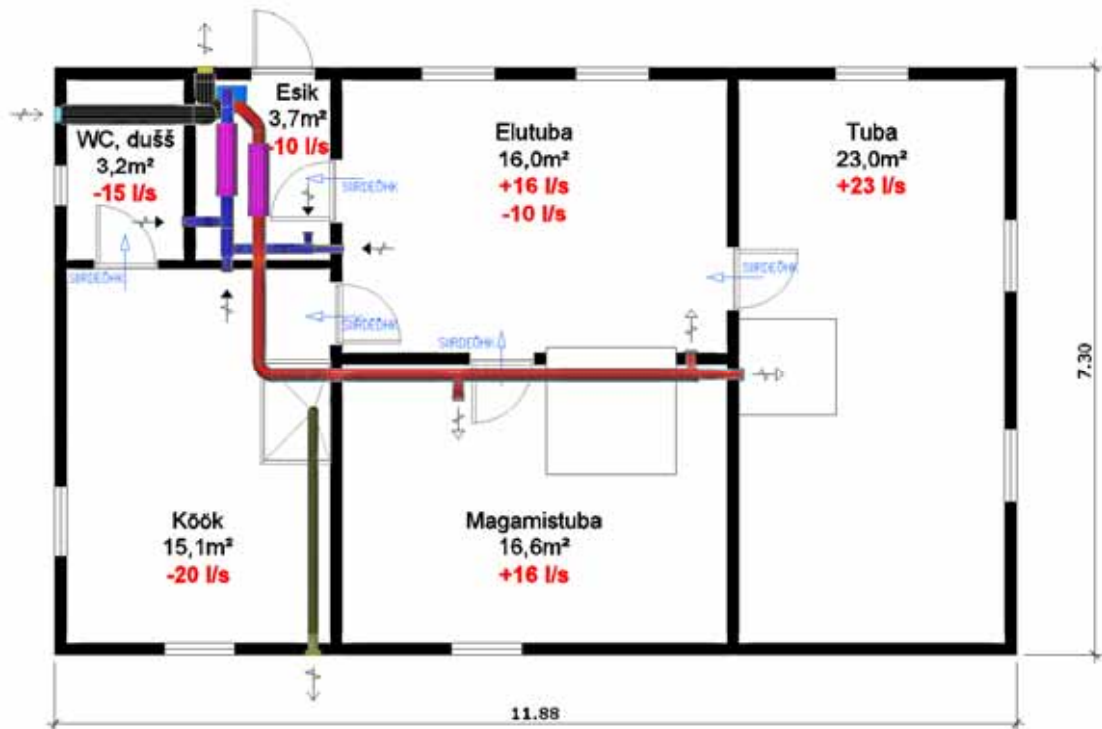
Ventilatsiooni projekteerimisel ja ehitamisel on tähtis, et õhk liiguks puhastest ruumidest (elu- ja magamistoad) saastunud õhuga ruumide suunas (köök, pesuruum, WC).

Ventilatsiooni projekteerimisel tuleb eelistada lahendusi, kus on võimalik taaskasutada väljapuhkeõhu soojussisaldust. Sellised võimalused on soojustagastiga sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonil või väljatõmbeõhu soojuspump-lahendusel. Soojustagastiga ventilatsiooni alg-investeering on suurem, kuid arvestades lisaks ka pikaajalisi kulusid hoone kütmiseks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks, on soojustagastita lahendused kallimad. Soojustagastuse mõju tuleb rohkem esile, kui hoonepiirded on õhupidavad ja enamus õhku vahetub soojus-tagasti kaudu.

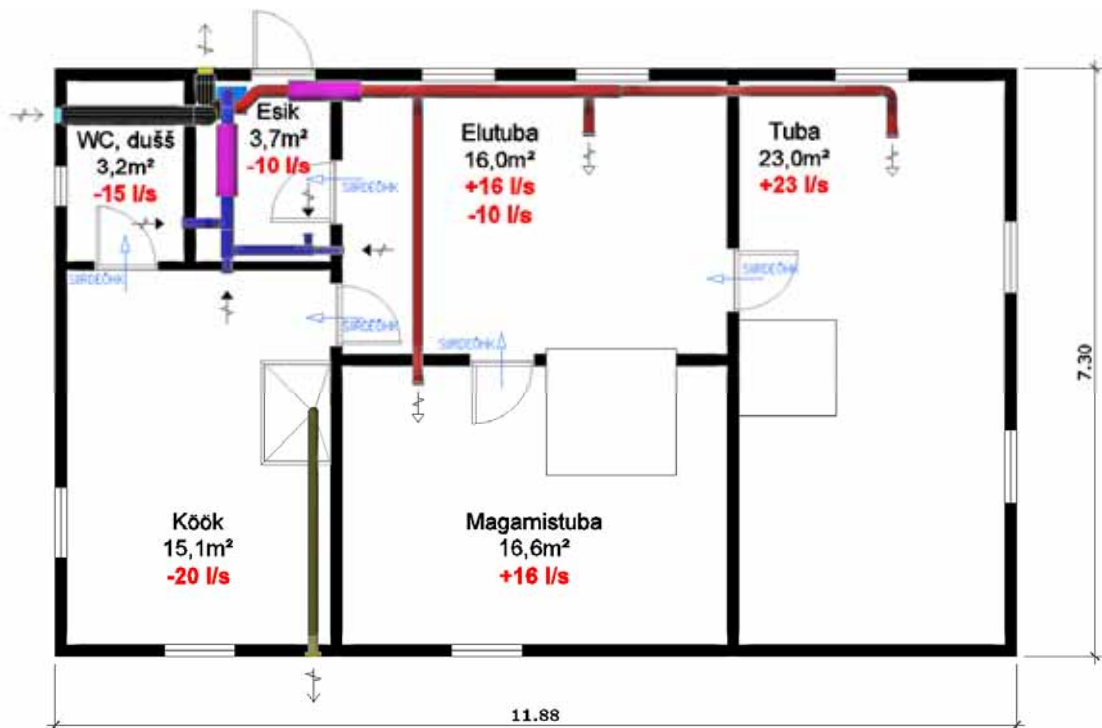
Ventilatsioon võib olla nii loomulik kui ka mehaaniline. Tähtis on, et ventilatsioon tagaks piisava õhuvahetuse. Hea ventilatsioon tagab piisava õhuvahetuse, on energiatõhus, vaikne, ei tekita tõmbust ning on kergelt reguleeritav.

Joonis 9.15 ja Joonis 9.16-l on toodud sissepuhke-väljatõmbeventilatsiooni põhimõttelised skeemid hoonele, millele tehti ka energiaarvutused. Esimesel variandil paikneb sissepuhkeõhu torustik hoone keskel, teisel variandil hoone servas. Torustikku on võimalik paigaldada

vahelakke, talade vahele või pööningule. Seega torustik ei häiri oluliselt siseruume. Pööningule paigaldatav torustik tuleb soojustada. Soojustada tuleb ka ventilatsiooniseadme ja väliskeskkonna vahelised torud.



Joonis 9.15 Võimalik lahendus ventilatsioonitorustiku paigaldamiseks, kui sissepuhkeõhutorustik paikneb hoone keskel (pööningul või ruumis).



Joonis 9.16 Võimalik lahendus ventilatsioonitorustiku paigaldamiseks, kui sissepuhkeõhutorustik paikneb hoone servas (pööningul või ruumis).

Küte

Kui vanemas maamajas planeeritakse kütte renoveerimist, siis on mitmeid valikuid, mille vahel valida:

- ahi, pliit koos soemüüriga;
- soojuspump (maasoojuspump, õhk-vesi-soojuspump, õhk-õhk-soojuspump);
- keskküte, kus soojusallikaks võib olla puidugraanulitega ehk pelletitega köetav katel, tahkekütusel (halupuit, kivisüsi, brikett) katel, puiduhakke katel;
- elekterküte (otsene elekterküte või ööelekterküte);

Küttesüsteemi uuendamine on protsess, mida tuleb hoolikalt planeerida. Arvesse tuleb võtta nii rajamis- kui ka hoolduskulud, energiaallika kättesaadavus, igapäevase aja- ja tööjõukulu, keskkonnamõju jne. Püsiva kasutuse korral tagab enamikul juhtudel hoone vajaliku soojusvarustuse korralik ahi, mis piisava massiivsuse korral hoiab ruumitemperatuuri ühtlasena. Ahi on turvaline kütteallikas maapiirkonnas asuvatele elamutele ka seetõttu, et ei vaja elektrit. Kuigi elektrijaotusvõrgu varustuskindlus on viimastel aastatel mõnevõrra paranenud, tuleb siiski igal aastal ette lühemaid või pikemaid elektrikatkestusi. Ahikütte tõhususest rääkides on oluline märksõna ahju efektiivsus, mille võti on puitmaterjali kiire põlemine väga kõrgetel temperatuuridel.

Puidu kütteväärtus oleneb puuliigi tihedusest ja puidu niiskusest. Põletatav puit peab olema kuiv. Puidu niiskus vähendab oluliselt puidu kütteväärtust, suurendab põlemisgaasi mahtu ja halvendab süttimist.

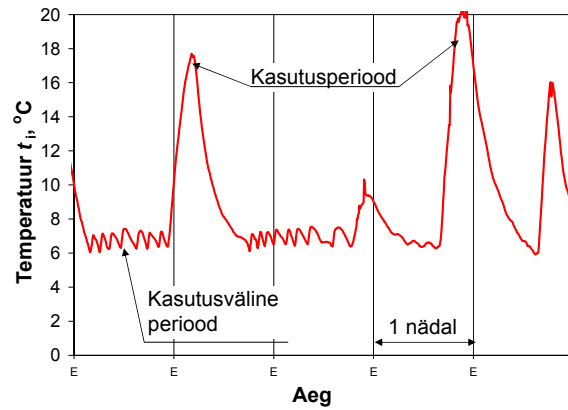
Kui põhisoojusallikaks on soojuspump või keskküttekatel, siis toimub soojuse jaotus radiaatorite või põrandakütte kaudu. Hoolikal projekteerimisel on ka siin võimalik säilitada maamaja miljööd.

Perioodiliselt kasutatava elamu puhul ahikütte kasutamine ei pruugi olla alati võimalik (hoones elanikke ei ole). Kütmine võib olla vajalik näiteks veesüsteemi külmumise vältimiseks või soovitava suhtelise niiskuse tagamiseks (näiteks vältimaks hallituse kasvuks soodsate tingimuste teket). Sellisel juhul tuleb rakendada teisi strateegiaid energiasäästlikuks kütmiseks.

Kui elamu kasutuse vaheperiood on pikk ja elanikud aktsepteerivad elamusse saabumisel madalat temperatuuri, võib elamu kütmine olla lahendatud vaid ühtlase, külmumiskaitset tagava kütte abil. Kui elamut kasutatakse näiteks nädalalõputi ja elanikud soovivad elamusse saabumisel elamiseks sobivat sisetemperatuuri ($\sim +18...+21\text{ }^{\circ}\text{C}$), on põhimõttelisi võimalusi vähemalt kaks:

- hoida püsivalt elamiseks sobivat sisetemperatuuri ($\sim +18...+21\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- kasutada kütte juhtimiseks kaugjuhtimisüsteemi, millega tõstetakse sisetemperatuur jäätumiskaitse tasemelt ($+5...+7\text{ }^{\circ}\text{C}$) soovitud tasemele ($\sim +18...+21\text{ }^{\circ}\text{C}$) enne hoone kasutusaega.

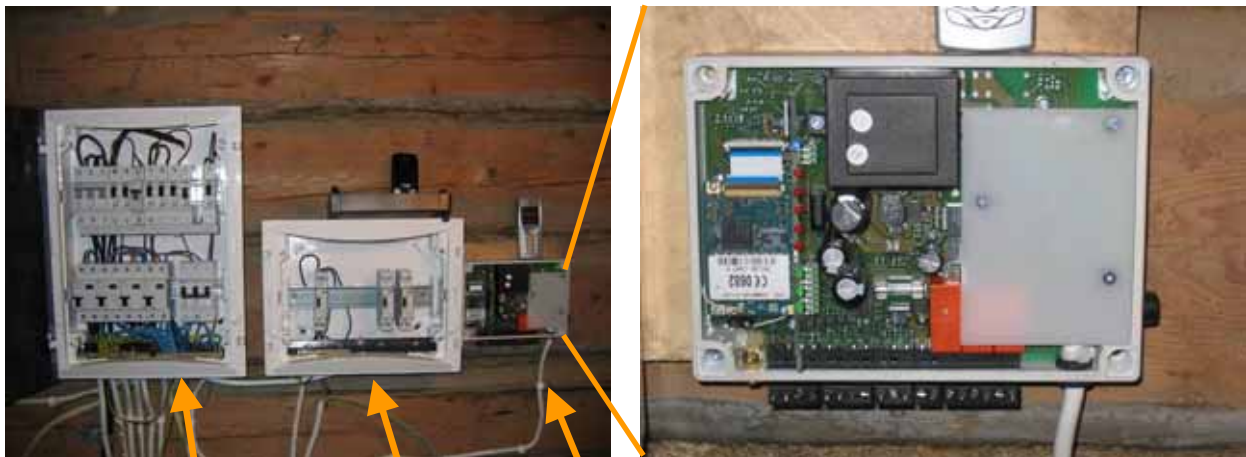
Hoides kasutusvälisel perioodil elamus kõrget sisetemperatuuri, põhjustab see liigset energiakulu ja vähendab hoone energiatõhusust. Perioodiliselt kasutatavate hoonete energiakulu saab vähendada kasutusvälisel perioodil sisetemperatuuri langetamisega. Elanikul on mugav seda teha kaugjuhtimise teel, näiteks telefonisidevõrgu kaudu. Eestis pakuvad mitmed firmad kaugjuhtimisseadmeid, mille abil on võimalik kaugjuhtimise teel lülitada sisse- välja elektriseadmeid või juhtida temperatuuri seadearvu, vt. Joonis 9.17. Sõltuvalt varustatusest võib kasutada nii tavatelefoni kui ka mobiiltelefoni levi. Kasutades elamu kasutusvälisel perioodil madalamat temperatuuri, on võimalik vähendada kütteenergia kulu 3-4 korda.



Joonis 9.17 Sisetemperatuuri muutus kütte kaugjuhtimise korral.

Infovahetus elaniku (mobili)telefoni ja kaugjuhtimissüsteemi vahel põhineb nõuetekohase teksti saatmisel, tavaliselt lühikese mobiilisõnumi (SMSi) teel. Kaugjuhtimissüsteemi terminalil on oma telefoninumber. Kaugjuhtimissüsteemi terminalile saadetud käsklused sunnivad küttesüsteemi tegutsema vastavalt kokkulepitud käsklustele. Tegutsemiseks võib olla kas lülitusautomaatide sisse-välja lülitumine või termostaadi seadearvu muutus. Soojuspumpasid on võimalik juhtida tegutsema nagu kaugjuhtimispuldi abil. Tavaliselt edastab kaugjuhtimise terminal ka infot sisetemperatuuri kohta, kui on toimunud voolukatkestus, vool on taastunud, lülitusautomaatide oleku kohta (sees/väljas) vms. Joonis 9.18-l on näha ühes uuritud elamus paiknenud kütte kaugjuhtimiskilp elamu elektrikilbi kõrval: seadmed ei ole suured.

Kaugjuhtimissüsteem eeldab üldjuhul elekterkütet, mis on suure primaarenergiasisaldusega energiaallikas. Kuna kasutusvälisel perioodil jääks küdev keskküttekatel järelevalveta, ei saa seda sellel perioodil kasutada. Elekter on ohutum energiaallikas. Lisaks on elekterküte hästi reguleeritav igale vajalikule režiimile. Kuna elekterküte on kallid, kuid kvaliteetne energiaallikas, tuleb seda kasutada nii vähe kui võimalik (elamu kasutusajal), kuid alati kui vajalik (kasutusvälisel ajal).



Elamu elektrikilp

Kütteseadmete lülituskilp

Kaugjuhtimise terminal

Joonis 9.18 Kütte kaugjuhtimiskilp (paremal) elamu elektrikilbi kõrval (vasakul).

Talvel kasutuseta või perioodilise kasutusega elamu kütmine kasutusvälisel perioodil võib olla vajalik ka hoidmaks soovivat suhtelise niiskuse taset (näiteks, et vältida hallituse kasvuks soodsate tingimuste teket). Sellisel puhul juhitakse küttesüsteemi termostaadi asemel hügrostaadiga või nende kahe kombinatsioonil.

10 Järeldused

Uuritud elamute piirdetarindite ja kandekonstruksioonide tehniline seisund ja defektid

Vundamentide peamised kahjustused ja puudused olid vundamendi ebaühtlane vajumine, tühjaks pudenenud kivide vahed, liiga madalad vundamendid (või ümbritseva maapinna tõus) ja vundamendi serva sademete eest kaitsmata jätmine või selle kaitsmiseks mõeldud mördiga tehtud kalde lagunemine.

Esimese korruse põrandate peamised kahjustused ja puudused olid põrandatalade mädanikkahjustused, liigniiskus ja mikrobioloogiline kasv põrandaaluses ruumis, külmad põrandad ja põrandaaluste puudulik tuulutus.

Peamised kriitilised kohad välisseinte juures ja välisseinte kahjustuste peamised põhjused olid välisseina liitumine vundamendiga (liiga madal vundament, vajunud vundament, vundamendil hüdroisolatsiooni puudumine), sademevee sattumine fassaadipinnale (liiga lühike räästas ja puuduvad vihmaveesüsteemid), puudulik sademevee juhtimine fassaadilt, eelkõige akende ja välisseina liitekohtadest (aknalt seinale valguv vesi, liiglühikesed ääreplekid).

Katuste ja katuslagede peamised kahjustused olid lekkiv katusekate, katuse puudulik hooldus (sammal, puulehed katusel), katusekatte puudulik kinnitus, katusekatte aluse läbivajumised, puudulikud ääre-, serva- ja katteplekid, ebatihedused katusekattest läbiviikude juures (korsten, antennid, ventilatsioonilõõr vms.) ja puudulik soojustus. Tähelepanu tuleb pöörata alati ka katusekonstruktsioonide kandevõime tagamisele.

Tuleohutuse osas esinesid peamised puudused nii kütetoollete kui ka korstnate juures: palju süttivaid materjale: hein, makulatuur, vana mööbel jne. olid korstnale liiga lähedal, korsten ise polnud suitsutihe ja korstna ümbrus polnud tulekindlate materjalidega isoleeritud, tulekollete ees ei ole mittepõlevast materjalist põrandakatet.

Sisetemperatuur ja suhteline niiskus elamutes

Keskmine sisetemperatuur talvel püsivalt kasutatavates elamutes oli +17,8 °C, talvel perioodiliselt kasutatavates elamutes +7,0 °C ja talvel kütmata ja kasutuseta elamutes -1,5 °C. Keskmine siseõhu suhteline niiskus talvel püsivalt kasutatavates elamutes oli 37%, talvel perioodiliselt kasutatavates elamutes 46 % ja talvel kütmata ja kasutuseta elamutes 73%.

Aastaringsest kasutatavates elamutes oli suvel keskmine sisetemperatuur +22,0 °C ja suhteline niiskus 62%.

Kui aktsepteerida sisekliima nõuete ületamist kuni 5%, siis sisetemperatuur ei vasta sisekliima standardi madalama klassi piirsuurustele 92% uuritud elamutes. Domineerivaks on piirtemperatuuridest madalamale jäävad temperatuurid ehk elamutes on liiga jahe. Madalate temperatuuride põhjused võivad olla: elamute soojuskadod on suured, ahjude võimsus ei taga vajalikku küttevõimsust, ahjude olukord ei võimalda rohkem kütta, elanikud aktsepteerivad/kannatavad madalamat temperatuuri.

Elanike arvates on maaelamutes peamisteks probleemideks ruumide madal ja kõikuv temperatuur ning erinevate ruumide erinev temperatuur. Probleeme tekitab ka suvine kõrge temperatuur ning umbne ja ebameeldiv siseõhk.

Mikrobioloogilise kasvu risk

Hallituse tekke riski hinnati eluruumides siseõhu ja välispiirde pinna temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiste alusel. Siseõhu ja sisepinna mõõtetulemusest oli näha, et hallituse kasvu seisukohalt on tarindi või külmasilla sisepind palju kriitilisem. 70%...80% elamutes, kus mõõtmised läbi viidi, esineb hallitus tekke risk välispiirde pinnal või külmasillal. Põrandaalustes ruumides on temperatuuri ja suhtelise niiskuse tingimused hallituse kasvuks veelgi soodsamad.

Selle riski realiseerumiseks on vaja ka teisi tingimusi ja aega. Pigem tuleb aga üldse vältida selle riski tekkimist.

Puidu proove laboriuuringuteks võeti hoone osadest, kus kahjustus oli väliselt tuvastatav või oli tõenäosus kahjustuse olemasoluks palgi sees. 2/3 proovidest oli puit mädanikseene poolt kahjustatud.

Niiskuskooormus elamutes

Uuritud elamute niiskuskooormuse hindamiseks arvutati sise- ja välistemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtetulemustest niiskuskulise nädala keskmine suurus. Talvel on maksimaalsed niiskuskulised püsivalt kasutatavates elamutes kütmisperioodil vahemikus $2,5 \dots 5,7 \text{ g/m}^3$, perioodiliselt köetavates majades $0,5 \dots 2,5 \text{ g/m}^3$ ja talvise kasutuseta elamutes $0,5 \dots 2,0 \text{ g/m}^3$. Suvel on maksimaalsed niiskuskulised kõigis elamutes vahemikus $1,5 \dots 3 \text{ g/m}^3$.

Kuigi kasutusaja välisel perioodil võib olla niiskuskooormus väiksem, ei võimalda see kasutada projekteerimisel seda väiksemat niiskuskooormust, kuna kasutusaegne niiskuskooormus on võrdne tavapärase elamuga, kus arvutuslik siseõhu niiskuskooormus on $\Delta v = 4 \dots 6 \text{ g/m}^3$.

Külmasillad

Palksein on soojuslikult homogeenne tarind, kus probleemseid konstruktiivseid külmasildu esines üldiselt vähe. Konstruktiivsed külmasillad paiknesid eelkõige palkseina ja kivitarindite liitekohas: sokli sõlm, korstna läbiviik, liitumised kiviseintega, akna sõlm jne. Külmasillana toimib ka betoonpõrand, kui on valatud vastu vundamenti. Geomeetrilised külmasillad paiknesid välisseina välisnurgas ning akna/ukse ja välisseina liitumiskohas.

Hoonepiirete õhupidavus

Kõigi mõõdetud elamiseks kasutatud elamute keskmine õhulekkearv $q_{50} = 15 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja õhuvahetuvus 50 Pa juures $n_{50} = 22 \text{ h}^{-1}$. Energiaarvutustes kasutatav õhulekkearvu baasväärtus (põhineb normaaljaotuse järgse valiku 50% fraktili 95% tõenäosusele) vanemate maaelamute jaoks on $q_{50} = 18 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja õhuvahetuvus 50 Pa juures $n_{50} = 26 \text{ h}^{-1}$.

Peamised palkhoonete õhulekkekohad olid laetalade läbiviigud välisseinast, akna- ja ukseleengide ümbert ja nurgatappidest. Keskmiselt ligi kaks korda väiksema õhulekkega olid elamud, mis olid seestpoolt krohvitud või küllaltki õhutihedalt vineeriga kaetud.

Energiatõhusus

Renoveerimata maaelamu energiamärgise klass on üldjuhul „G“ (palju energiat kulutav). Üksikute komponentide võrdluses annavad kõige suuremat energiasäästu välisseinte lisasoojustamine, hoonepiirete õhulekete vähendamine koos soojustagastiga ventilatsiooni kasutamise, soojusallika efektiivsuse parandamine.

Vanemate maaelamute energiatõhusust parandada nii hoone soojuskadude vähendamisega (lisasoojustamine, õhulekete vähendamine) kui ka tehnosüsteemide efektiivsuse tõstmisega. Lõpliku valiku juures tuleb arvestada ka maksumust (algmaksumus ja kasutuskulud) ja miljööväärtuse säilimist.

Vana maamaja miljööd rikkumata on võimalik paranda hoone üldist energiatõhusust kolmandiku võrra ja vähendada soojusenergia kulu ~40%.

Põhimõttelisi renoveerimislahendusi

Renoveerimisel on esmatähtis hoone ohutuse (kandevõime, tule-, kasutus-, keskkonnaohutus jne.) ja tervisliku sisekliima (piisav õhuvahetus, niiskuskahjustuste vältimine, sobiv temperatuur ja niiskus jne.) tagamine ehk esimesed neli ja osaliselt ka viies oluline nõue. Kultuuri- ja ajalooliselt väärtuslike hoonete ning miljööväärtuslike hoonete juures tuleb erilist tähelepanu pöörata ka nende väärtuse säilimisele. Alles seejärel võib pöörata tähelepanu energiasäästule ja mugavustaseme parandamisele. Loomulikult võib renoveerimistööd teha nii, et tagatakse hoone ohutus, tervislikkus, energiasääst ja parem elukvaliteet. See on parim lahendus. Ei ole

õige teha investeeringuid mugavustaseme või viimistluse parandamiseks (...krohv, värv, lasuur jne.), kui energiatõhususe tööd (näiteks hoonepiirete soojustamine, küttesüsteemi või ventilatsioonisüsteemi renoveerimine jne.) ei ole tehtud või ei ole tagatud ohutus (konstruktsioonide kandevõime) ja tervislik elukeskkond (näiteks ventilatsiooni renoveerimine).

Eri renoveerimismeetmetel on erinev energiakulu vähenemine, mõju hoone kestvusele, erinev maksumus (ehitus-, kasutus-, hooldusmaksumus) jne. Eelistada tuleb hoone tervikrenoveerimist. Ajalooliste väärtuste säilimisele ja miljööväärtuslikkuse tagamisele tuleb tähelepanu pöörata igas etapis.

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.

10.1 Edasiste uuringute vajadus

Käesolev uuring keskendus maapiirkonnas asuvate palkeramute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasäästu uurimisele. Lisaks palkhoonele leiab laialdast kasutust ka puitsõrestik ja kivikonstruktsioon. Ka nende hoonetüüpide ehitustehniline, ehitusfüüsikaline, sisekliima ja energiatõhususe olukord vajab uurimist. Sellised uuringud saavad olla aluseks eluasemefondi renoveerimislahenduste väljatöötamisel.

Põhjalikumalt on vaja uurida erinevate renoveerimislahenduste ehitustehnilist, ehitusfüüsikalist toimivust. See eeldab nii lühi- kui ka pikaajalisi mõõtmisi renoveeritud hoonete juures. Nii on võimalik kinnitada renoveerimislahenduste sobivust, turvalisust ja töökindlust.

Uuringu tulemused osutasid suuri probleeme esimese korruse põrandaaluse ruumi soojus- ja niiskustehniliste tingimuste osas. Kuna põrandaaluses ruumis valitsevad soodsad tingimused materjalide biokahjustuseks (hallitus, mädanik, bakterid jne.) ja eksisteerivad õhulekked põrandaaluse ruumi ja siseruumi vahel, on see nii kandevõime kui ka sisekliima probleem.

Hoonete renoveerimise käigus on otstarbekas parandada ka hoone sisekliimat ja energiatõhusust. Reaalselt saavutatav energiasääst ja sisekliima paranemine võib olla nii suurem kui ka väiksem esialgselt eeldatust. Tuleb läbi viia uuringud, et selgitada, millised on peamised riskid, miks ei ole tegelikkuses alati võimalik eeldatavat sisekliima ja energiatõhususe paranemist või energiakulu vähenemist saavutada. Selline teave võimaldab kokkuvõttes teha renoveerimistöid tulemuslikumalt.

Hoone renoveerimine ja energiatõhususe paranemine eeldab investeeringuid ehk raha kulutamist. Osa või kõik sellest investeeringust saadakse tagasi hiljem väheneva energiakulu arvelt. Tulemuseks võib olla ka sisekliima või muude tingimuste paranemine. Käesolevas uuringus ei analüüsitud renoveerimis- ja energiatõhususe paranemise meetmete ehitusmajanduslikku poolt, kuid sellele tuleb kindlasti pöörata tähelepanu edasiste uuringute käigus.

Viited

- CR 1752. Ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment / European Committee for Standardization. European Committee for Standardization. Brussels, 1998.
- EVS 839:2003. Sisekliima. Eesti Standardikeskus, 2003.
- EVS EN 13829:2001 "Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method"
- EVS-EN ISO 10211-1. 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 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. Sisekeskkonna lähteparameetrid hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast. Eesti Standardikeskus.
- Hens, H. (toim.). Condensation and Energy, Guidelines and Practice. Vol. 2, Annex 14, International Energy Agency, KU Leuven, 1990.
- Hukka, A., Viitanen, H. 1999. A mathematical model of mould growth on wooden material. Wood Science and Technology, 33: 475-485
- Indermitte, E. Eluruum ja inimese tervis. Tartu Ülikooli tervishoiu instituut.
- Nofal, M., Kumaran, M.K. 1999. Durability assessments of wood-frame construction using the concept of damage-functions. In: Michael A. Lacasse, Dana J. Vanier. 1999. Durability of Building Materials and Components 8: Service life and Assets Management. 769-770.
- Päästeamet. Tuleohutusjärelvalve aastaraamat 2008.
- Saarman, E. 2006. Puiduteadus. Tartu: Eesti Metsaselts.
- Sedlbauer, K. 2001. Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. PhD dissertation, Department of Building Physics, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.
- Uus, A. 2010 I. Vana palkmaja hooldus. MTÜ Vanaajamaja ja MTÜ Seto Käsitöö Kogu trükis (<http://www.vanaajamaja.ee/files/Hooldus.pdf>).
- Uus, A. 2010 II. Palkide vahetus vanades hoonetes. MTÜ Vanaajamaja ja MTÜ Seto Käsitöö Kogu trükis (http://www.vanaajamaja.ee/files/Palgivahetus_infolet.pdf).
- Viitanen, H. 2001. Factors affecting mould growth on kiln dried wood. Helsinki, 11 - 13 June, 2001. 3 rd Workshop on softwood drying to specific end uses. Cost Action E 15, Advances in the drying of wood (VTT, Otawood). 4: 1 - 8 p
- VV määrus nr. 315. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. 27. 10. 2004 (RT I 2004, 75, 525).
- VV määrus nr. 38. Eluruumidele esitatavad nõuded. 26.01.1999 (RT I 1999, 9, 38).
- VVm 258. Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrus nr. 258 (RTI, 28.12.2007, 72, 445).