

Sõpruse pst 244, Tallinn, korterelamu renoveerimisjärgne uuring



Lõpparuanne:
Sisekliima analüüs
Energiatarbe analüüs
Külmasildade analüüs

Targo Kalamees, Teet-Andrus Kõiv, Simo Ilomets, Alo Mikola,
Siim Link

2014

Projekti vastutav täitja: professor Targo Kalamees

Sisukord

Sisukord	3
1 Sissejuhatus	5
1.1 Uuringu eesmärk ja ülesanne	5
1.2 Sisekliima	6
1.3 Energiatõhusus	7
1.4 Külmasillad	7
2 Meetodid	9
2.1 Analüüsitud hoone	9
2.2 Sisekliima mõõtmised	11
2.3 Sisekliima hindamiskriteeriumid	12
2.3.1 Temperatuur	12
2.3.2 Niiskus	13
2.3.3 Õhu süsihappegaasisaldus ja ventilatsiooni õhuvooluhulk	14
2.4 Energiatõhususe analüüsi ja hindamise meetodid	16
2.4.1 Hoone energiatõhususe analüüs	16
2.4.2 Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi energiatõhususe analüüs	16
2.4.3 Värskeõhu radiaatoritega süsteemi toimivuse analüüs	18
2.5 Külmasildade analüüsi ja hindamise meetodid	22
2.5.1 Mõõtmised	22
2.5.2 Arvutused	23
2.5.3 Tulemuste hindamine	23
3 Tulemused	26
3.1 Sisekliima	26
3.1.1 Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist	26
3.1.2 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvekuudel	28
3.1.3 Magamistubade siseõhu CO ₂ sisalduse mõõtetulemused	29
3.1.4 Siseõhu CO ₂ sisalduse vastavus EVS:EN 15251 sihtarvudele	30
3.2 Energiatõhusus	31
3.2.2 Soojuspumpsüsteemi töö ning soojustagastuse analüüs	39
3.2.3 Värskeõhu radiaatorid	43
3.2.4 Piirdetarindid	47
3.2.5 Soojusbilanss	49
3.2.6 Primaarenergia ja CO ₂ -heide	50
3.2.7 Majandusarvutused	51
3.2.8 Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass	53
3.3 Külmasillad	54
3.3.1 Termograafilised mõõtetulemused	54
3.3.2 Temperatuurivälja arvutustulemused	55
3.3.3 Akende välja tõstmise majanduslik tasuvus	59
4 Järeldused ja soovitused	61
4.1 Sisekliima	61
4.1.1 Järeldused	61
4.1.2 Soovitused sisekliima tagamiseks	62
4.2 Energiatõhusus	62
4.2.1 Järeldused	62
4.2.2 Soovitused energiatõhususe tagamiseks	64
4.2.3 Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi toimimine ja süsteemi parandusettepanekud	65
4.2.4 Soovitused väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi projekteerimiseks ja ehitamiseks	66

4.3	Külmasillad	66
4.3.1	Järeldused	66
4.3.2	Soovitused külmasildade likvideerimiseks	67
4.4	Üldised soovitused korterelamu renoveerimisprotsessi läbiviimiseks	67
Lisa 1	Energia tarbimisandmed	70
Lisa 2	Termograafia mõõtetulemused	74

1 Sissejuhatus

1.1 Uuringu eesmärk ja ülesanne

Käesoleva uurimistöö objektiks on Tallinnas Sõpruse pst 244 asuv 5 korrusega, 4 trepikojaga ja 60 korteriga korruselamu (tüüpprojekt nr 1-464A-17). Aastatel 2010...2011 tehti projekteerimis- ja ehitustööd, mille eesmärgiks oli parendada hoone sisekliimat ja vähendada energiatarvet kütteks, ventilatsiooniks ning sooja tarbevee saamiseks.

Uurimistöö aruanne võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas ajavahemikul juuni 2010 kuni juuni 2013 tehtud korterelamu sisekliima ja energiatõhususe uurimistöö tulemused. Uurimistöö on tehtud Sihtasutuse KredEx tellimusel ja finantseerimisel.

Tallinna Tehnikaülikoolist osalesid uurimistöös

- ehitiste projekteerimise instituudist (ehitusfüüsika ja energiatõhususe õppetool) Targo Kalamees, Simo Ilomets, Paul Klõšeiko;
- keskkonnatehnika instituudist (kütte ja ventilatsiooni õppetool) Teet-Andrus Kõiv, Alo Mikola, Tõnis Klaas;
- soojustehnika instituudist (soojusenergeetika õppetool) Siim Link.

Uuringu I etapis tehti järgmised tööd.

- Sisekliima monitooring:
 - temperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja süsihappegaasi (CO₂) sisalduse mõõtmine korterites;
 - sisekliima analüüs ning selle vastavus standardile EVS:EN 15251:2007:
 - sisetemperatuuri ja siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist mõõteperioodil;
 - sisetemperatuur ja siseõhu suhteline niiskus;
 - magamistubade siseõhu CO₂-sisalduse mõõtetulemused;
 - siseõhu CO₂-sisalduse vastavus EVS:EN 15251:2007 sihtarvudele.
- Energiatarbe monitooring:
 - ruumide kütte, tarbevee ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks kuluva soojuse ja elektritarbimise analüüs;
 - energiatarbeanalüüs ning hinnangu andmine selle vastavuse kohta projekti eesmärgiks seatud tulemustele (eelkõige planeeritud ja saavutatud energiasäästu kohta):
 - elektritarbimise analüüs;
 - gaasitarbimise analüüs;
 - vee (sh sooja tarbevee) tarbimise analüüs;
 - tarbevee soojendamise energiakulu analüüs;
 - ruumide kütteks tarbitud soojuse analüüs;
 - ruumide ventileerimiseks tarbitud soojuse analüüs;
 - renoveerimiseelne, projektiga planeeritud ja tegeliku saavutatud energiatarbe võrdlus.
- Külmasildade analüüs:
 - akna sõlme külmasilla suuruse mõõtmine ja temperatuurivälja arvutamine;
 - akende soojustuse tasapinda mittepaigaldamise/paigaldamise mõju külmasillale ja kogu hoone energiatarbimisele;
 - parapeti sõlme külmasilla suuruse mõõtmine ja temperatuurivälja arvutamine;
 - sokli sõlme külmasilla suuruse mõõtmine ja temperatuurivälja arvutamine. Sokli ja keldri lae soojustamise mõju nn külma põranda probleemile;
 - rõdu kinnituste sõlme külmasilla suuruse mõõtmine ja temperatuurivälja arvutamine.

Uuringu II etapis tehti järgmised tööd.

- Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi monitooring:
 - väljatõmbeõhu soojuspumpadel baseeruva ventilatsioonisüsteemi töö monitooring pikajalise perioodi vältel;
 - ventilatsioonilahenduse toimivuse analüüs;
 - süsteemi koguefektiivsuse analüüs;
 - soojuspumpade toimivuse analüüs;
 - ventilatsiooniagregaatide toimivuse analüüs;
 - automaatikasüsteemi tööd toimivuse analüüs;
 - süsteemi sooja tarbevee toodangu analüüs;
 - elanike käitumise mõju süsteemi toimimisele.
- Värskeõhu radiaatoritega süsteemi monitooring:
 - süsteemi kasutamisega seonduvad sisekliima probleeme;
 - süsteemi sobivus kortermajade renoveerimisel.

1.2 Sisekliima

Temperatuur on peamine soojusliku mugavuse indikaator. Kerge kehalise aktiivsuse korral (>1,2 met) on neutraalne (PMV (*predicted mean vote*) = 0) temperatuur talvel (riietus ~1,0 clo) +22,0 °C ja suvel (riietus ~0,5 clo) +25,5 °C (ISO EN 7730). Minimaalne operatiivne temperatuur kütteperioodil on +20 °C ja maksimaalne temperatuur jahutusperioodil on +26 °C (EVS-EN 15251:2007). Sisetemperatuuri üle +22 °C on seostatud haige hoone sündroomiga. Õhu temperatuuril ja -niiskusel on oluline mõju ka tajutavale õhu kvaliteedile.

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

Eluruumidele esitatavate nõuete kohaselt peab õhuniiskus eluruumis olema piires, mis ei kahjusta inimeste tervist, väldib veeauru kondenseerumist ja ei tekita niiskuskahjustusi. Tolmulestad võivad põhjustada allergiasoodumusega isikul tundlikkuse suurenemist ja allergiahaiguse, eelkõige allergilise riniidi ning astma kujunemist. Allergeeniks on tolmukestade seedeensüümid, mida nad eritavad väljaheite ja eralduvate nahaosakestega (Annus 2008). Tolmukestadele sobiv suhteline niiskus toatemperatuuril on RH > 45%. Paljunemiseks on lestadele vajalik õhu suhteline niiskus suurem. Suhtelise niiskuse alumine piir on erinevate uuringute kohaselt RH 20...25%. Eesti sisekliima standard EVS-EN 15251:2007 annab madalaimas sisekliimaklassis suhtelise niiskuse juhtarvuks niisutusele 20% ja kuivatusele 70%.

Siseõhu suhteline niiskus sõltub niiskustootlusest ruumides (inimese elutegevus, toiduvalmistamine, pesemine, taimede kastmine jne), ventilatsiooni toimimisest ja õhuvahetusest ning välisõhust. Kuigi talvel on välisõhu suhteline niiskus suur, on õhu veeaurusisaldus ehk absoluutne niiskus väike. Peamiselt seetõttu on siseruumide suhteline niiskus talvel väiksem kui suvel. Suhteline niiskus sõltub temperatuurist: sama veeaurusisaldusega õhu suhteline niiskus on soojemas keskkonnas väiksem ja jahedamas keskkonnas suurem. Kuna suhteline niiskus sõltub temperatuurist, ei saa selle alusel veel öelda, kas ruumides on suur või väike niiskuskoormus. Siseruumide

niiskuskooormust näitab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste või veeauru osarõhkude erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks Δv , g/m³ (EVS-EN 13788:2001). Kui elamus on suur niiskustootlus (kasutatakse palju vett, õhuniisutus, tihe asustus jne) ja väike õhuvahetus (halb ventilatsioon), on niiskuskooormus e niiskuslisa suur. Niiskuslisa mõjutab läbi välispiirde toimuvat veeauru difusiooni. Niiskuskooormust ei saa hinnata suhtelise niiskuse järgi, sest see sõltub sisetemperatuurist ja välisõhu veeaurusisaldusest.

Siseõhu kvaliteeti mõjutavad oluliselt ka õhus olevad gaasid ja tahked osakesed: süsihappegaas (CO₂), formaldehüüd, tolm, tubakasuits ja gaasi põlemisproduktid. Lisaks võib siseõhus olla ka muid gaasilises või hõljuvas olekus lisandeid ja mikroorganisme. Samuti tuleb hoolikalt jälgida radoonisaldust ja gammakiirgust. Ruumides, kus saasteallikaks on inimesed, iseloomustab õhu kvaliteeti CO₂sisaldus, kuna teiste inimtegevusega seotud kahjulike ainete toodang on süsihappegaasiga proportsionaalne.

1.3 Energiatõhusus

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

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

Arvestamiseks tarnitud energia tootmiseks vajalikku primaarenergia kasutust ja selle keskkonnamõju, kasutatakse energiakandjate kaalumistegureid:

- | | |
|--|-------|
| • taastuvtoormel põhinevad kütused (puit ja puidupõhised kütused ning muud biokütused, v.a turvas ja turbabrikett) | 0,75; |
| • kaugküte | 0,9; |
| • vedelkütused (kütteõlid ja vedelgaas) | 1,0; |
| • maagaas | 1,0; |
| • tahked fossiilkütused (kivisüsi jms) | 1,0; |
| • turvas ja turbabrikett | 1,0; |
| • elekter | 2,0. |

1.4 Külmasillad

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusläbivus on lokaalselt suurem. Külmasillad võivad olla geomeetrilised (välisseinte nurk, katuse ja välisseina liitumine jne) või ehitustehnilised (välisvoodri sidemed, läbiviigud tarinditest jne). Sisepinna temperatuuri lokaalset alanemist võivad põhjustada ka vead soojustuse paigalduses, soojustuse puudumine, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhulekked ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus. Külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis.

- Külmasilla suuremast soojusläbivusest põhjustatud madalam sisepinna temperatuur ja sellest tulenev suurem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal mikroorganismide kasvu, seina määrdumist või veeauru kondenseerumist. Veeaur kondenseerub, kui temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri ning suhteline niiskus on 100%. Hallituse kasvuks juba sobiv suhteline niiskus toatemperatuuril on 75%.
- Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite üldise soojusläbivuse vähenemise juures on külmasildade suhteline osakaal soojuskadudes suurenenud.
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust tulenevalt eelkõige suuremast õhu liikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest.

Kuna välispiirete (välisseinad, katus, põrand) soojuskaod arvutatakse välispiirdeosa soojuslähivuse ja sisemõõtudega arvatud pindala järgi, tuleb külmasildade lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse nurkade (välissein/välissein, põrand/välissein ja katuslagi/välissein) külmasildade soojuslähivustega:

- joonsoojuslähivus Ψ , $W/(m \cdot K)$,
- punktsoojuslähivus χ , $W/(n \cdot K)$.

Külmasilla soojuslähivus on soojusvool vattides (W) läbi külmasilla, kui temperatuuride erinevus on üks kraad (K). Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne soojuslähivus keskmiseks välispiirde soojuslähivuseks, jagades välispiirde summaarse soojuslähivuse välispiirde pindalaga.

2 Meetodid

2.1 Analüüsitud hoone

Hoone asub Tallinnas Mustamäe linnaosas tiheasustusega alal Sõpruse pst ääres krundil katastritunnusega 78405:501:3830. Hoone on nelja trepikojaga, viie korrusega, liftideta, 5^o kaldega katusega, madalvundamendiga, rõdudega suurpaneel elamu (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Hoone üldandmed

Hoone aadress	Sõpruse pst 244, Tallinn 13412
Ehitisregistri (EHR) kood	101010963
Ehitusaasta	1966
Hoone kasutamise otstarve	Muu kolme või enama korteriga elamu
Minimaalne korruste arv	5
Maksimaalne korruste arv	5
Suletud netopind	3519,4 m ² (EHR)
Kõetav pind	2967,6 m ² (arvutuslik)
Eluruumide pind	2687,6 m ² (EHR)
Hoone maht	10 698 m ³ (EHR)
Kõetavate ruumide sisekubatuur	6719 m ³
Korterite arv	60 (EHR)
Keldri olemasolu	Jah

Renoveerimistöödest ja nende maksumusest annab koondülevaate Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Renoveerimistööd ja maksumused

Töö nimetus	Töö maksumus (koos km-ga), €
Katuse soojustamine	40 700
Seinte soojustamine	132 500
Vanade akende vahetus	16 500
Rõdude renoveerimine	48 300
Küttesüsteemi renoveerimine	100 000
Soojustagastusega ventilatsioon	100 000
Individuaalne küttekulude arvestuse süsteem	12 000
Kokku	450 000

Katusele lisati täiendav soojusisolatsioonimaterjali kiht paksusega 300 mm. Välisseinad soojustati täiendavalt 150 mm ja sokkel 100 mm paksuse soojusisolatsioonimaterjali kihiga. Renoveerimise ajaks veel asendamata algsed puitaknad vahetati välja uute kolmekordse klaasiga plastraamidega akende vastu. Keldriaknad, välisüksed ja renoveerimise ajaks juba vahetatud aknad jäid alles. Rõdudel renoveeriti rõdupiirdeid ning uuendati viimistlust. Keldriseinte maa-alust osa täiendavalt ei soojustatud.

Ühetoruküttesüsteem asendati uue, kahetorusüsteemiga. Paigaldati uued radiaatorid koos termostaatventiilidega. Loomulik ventilatsioon asendati sundväljatõmbe-ventilatsiooniga, kusjuures väljatõmmatavas õhus sisalduv soojus tagastatakse osaliselt hoone keldris asuvate soojuspumpadega hoone soojaveearustuse ja küttesüsteemi. Värske õhu sissevool eluruumidesse on ette nähtud läbi avade selliselt, et sisenev värske õhk liigub läbi vastava konstruktsiooniga terasplekkradiaatorite.



Joonis 2.1. Põhja- ja läänepoolne sein enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal)




Joonis 2.2. Lõuna- ja idapoolne sein enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal)

2.2 Sisekliima mõõtmised

Siseruumide õhutemperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõtmiseks kasutati Hobo U-12 011 andureid-andmesalvesteid (Tabel 2.3 seadmete mõõteala ja mõõtetäpsus).

Tabel 2.3. Temperatuuri ja suhtelise niiskuse mõõteseadmete andmed.

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




Temperatuuri ja suhtelist niiskust mõõdeti peamiselt magamistoas (peamiselt kahe inimese magamistoas) 0,6...1,5 m kõrgusel. Andurid paigaldati vaheseinale või mööbliesemele, eemale välisseinast ja otsesest soojuse allikast (radiaator, televiisor, valgustus jne). Sisekliima mõõtetulemused salvestati perioodiliselt ühetunnise intervalliga ajavahemikul mai 2010...mai 2013.

Õhu süsihappegaasi(CO₂)sisalduse mõõtmiseks kasutati HOBO andmeid salvestavaid logereid ja TelAire 7001 CO₂-andureid. Süsihappegaasisaldus ruumiõhus salvestati iga 10 minuti järel magamistubades 1...1,5 m kõrgusel põranda pinnast. Magamistubades magas öösel enamasti 1...2 inimest. Kümneminutine salvestusintervall määrab CO₂ kontsentratsioonid piisava täpsusega ning seda vahemikku on kasutatud ka varasemates uuringutes. Samuti sobib kasutatud intervall, et määrata tuulutusperioodide toimumist spetsiaalseid aknaandureid kasutamata. Ühe korteri mõõteperioodi aeg oli 2...4 nädalat.

Ventilatsiooni väljatõmbe õhuvooluhulga ja sanitaarruumide ning köögi õhuvooluhulkade hindamiseks kasutati õhuvooluhulga mõõturit SwemaFlow 230. Mõõteseadmete täpsus ja mõõtepiirkonnad on toodud Tabel 2.4.

Väliskliima andmetena on kasutatud nii EMHI kui ka hoone juures mõõdetud andmeid.

Tabel 2.4. CO₂ taseme ja väljatõmbe õhuvooluhulga mõõtmisel kasutatud seadmed.

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

2.3 Sisekliima hindamiskriteeriumid

2.3.1 Temperatuur

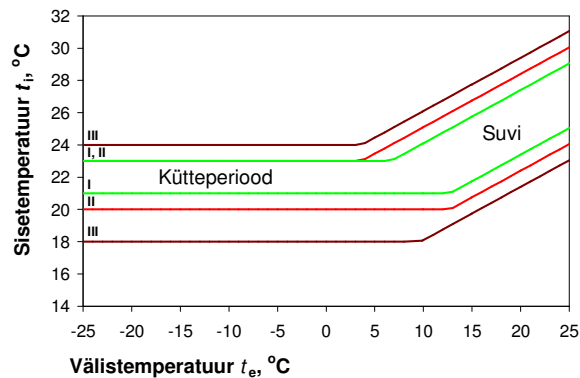
Soovitusi ja nõudeid eluruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kohta võib leida nii erinevatest teaduslikest uuringutest kui ka määrustest ja standarditest. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr 38) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde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

Olenevalt ruumi füsioloogiliselt optimaalse soojusliku keskkonna tagamise tingimustest ja oodatavast soojusliku mugavuse kvaliteedist võib, lähtudes soojuslikust mugavusest, jagada sisekliima nelja klassi (Tabel 2.5). Madalamate sisekliimaklasside korral on sisekliimaga rahulolematute elanike hulk (PPD, %) suurem, kuna elanikud hindavad (PMV) ruume liiga jahedaks või liiga soojaks. PMV-PPD indeks võtab arvesse kõigi kuue soojusliku parameetri (õhutemperatuur, keskmine kiirguslik temperatuur, õhu liikumise kiirus, õhuniiskus, riietuse soojustakistus ja kehaline aktiivsus) mõju ning seda võib otseselt kasutada soojusliku mugavuse kriteeriumina.

Tabel 2.5. Sisekliimaklasside kirjeldus (EVS-916; EVS-EN-15251).

Sisekliima-klass	Selgitus	Prognoositud sisekliimaga rahulolematute protsent PPD, %	Soojusliku mugavustunde indeks PMV, -	Temperatuuri-vahemik kütteks, °C Riietus ~1,0 clo	Temperatuuri-vahemik jahutuseks, °C Riietus ~0,5 clo
I	Sisekliima kvaliteedi ranged nõudmised. Soovitatav 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 < PMV < +0,2	21...23	23,5...25,5
II	Sisekliima kvaliteedi tavapärased nõudmised. Normaalse sisekliima kvaliteedi ootus. Tuleks rakendada uutes ja renoveeritud hoonetes .	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	20...23	23,0...26,0
III	Sisekliima kvaliteedi mõõdukad nõudmised. Mõõduka sisekliima kvaliteedi ootus. Võib rakendada olemasolevates hoonetes .	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	18...24	22,0...27,0
IV	Sisekliima kvaliteedi väärtused, mis jäävad väljapoole eelmainitud klasse. IV klass võib olla vastuvõetav ainult piiratud ajal aastast.	> 15	-0,7 > PMV > +0,7		

Kombineerides sisekliima projekteerimiskriteeriumi ja standardite (EVS-916, CR 1752, EVS-EN 15251) piirsuursi, võib elamute sisekliimaklasside temperatuuride piirsuurused esitada graafiliselt (Joonis 2.3).



Joonis 2.3. Mehaanilise jahutuseta ruumides sisetemperatuuri kriteeriumid kolmes sisekliimaklassis.

2.3.2 Niiskus

Hoonepiirete pika kasutusea üheks eeltingimuseks on nende probleemideta niiskustehniline toimimine. Sise- ja väliskliima tingimused on ühed olulisemad tegurid, mis mõjutavad hoonepiirete ja tarindite niiskustehnilist käitumist. Sisekliima ja niiskuskoormuse hindamise erinevuseks on, et kui sisekliima hindamisel kasutatakse peamiselt keskmisi suursi, siis niiskuskoormusi hinnatakse teatud tõenäosusega esinevatena. Ehitusfüüsikaliste arvutuste tegemiseks on rahvusvaheliselt kokku lepitud 90% tõenäosus. See tähendab, et valitud koormuse normatiivsest suurusest on 90% väiksema koormusega ja 10% suurema koormusega.

Niiskuskoormusi on hinnatud niiskuslisa (sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevus) alusel:

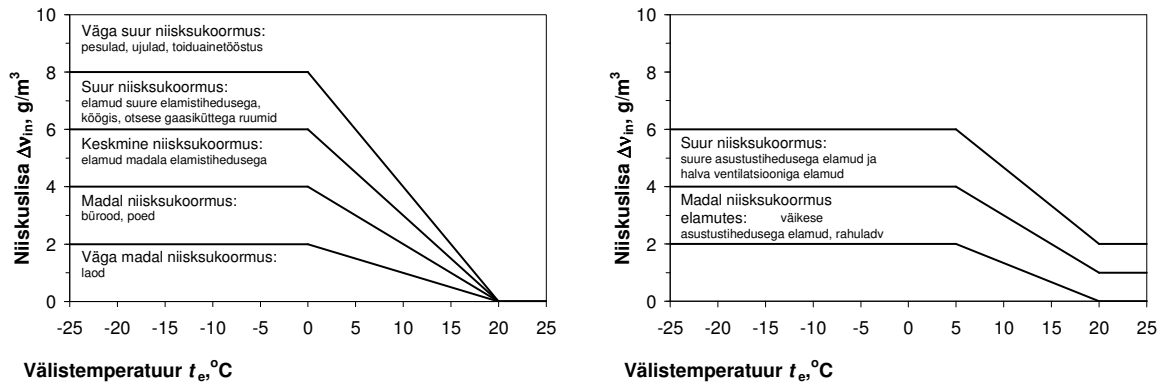
$$\Delta v = v_i - v_e, \text{ g/m}^3 \quad 2.1$$

kus:

v_i siseõhu veeaurisisaldus, g/m^3 ;
 v_e välisõhu veeaurisisaldus, g/m^3 .

Niiskuskoormuse analüüsis on igast korterist arvatud igale välisõhu temperatuurile vastav nädala keskmine niiskuslisa, millest on arvatud keskmine ja maksimumsuurus. Maksimumsuurusel arvatud 90% fraktil.

Niiskuskoormus elamutes ei ole aasta jooksul ühtlane (Joonis 2.4). Tõhusam ventilatsioon (aknatuulutus, ventilatsiooni suurem töökiirus) ja väiksem niiskustoodang (rohkem väliseid toiminguid, pesukuivatus õues jne) vähendavad niiskuslisa suvel. Varasemate uuringute alusel võib niiskuskoormuste hindamiseks kasutada Tabel 2.6 esitatud näitajaid.



Joonis 2.4. Niiskusliisa tasemed EVS-EN ISO 13788 (vasakul) järgi ja varem Eestis tehtud uuringute kohaselt (paremal).

Tabel 2.6. Niiskuskoormused.

	Suur niiskuskoormus (suure asustustihedusega elamud ja halva ventilatsiooniga elamud)		Keskmine niiskuskoormus (suure asustustihedusega elamud, väikese asustustihedusega ja halva ventilatsiooniga elamud)		Väike niiskuskoormus (väikese asustustihedusega elamud, hea ventilatsioon)	
	Talv $t_e < +5\text{ °C}$	Suvi $t_e > +15..20\text{ °C}$	Talv $t_e < +5\text{ °C}$	Suvi $t_e > +15..20\text{ °C}$	Talv $t_e < +5\text{ °C}$	Suvi $t_e > +15..20\text{ °C}$
Keskmine suurus, niiskuskoormuse hindamisel sisekliima mõõtmiste alusel	3 g/m ³	1,0 g/m ³	2,5 g/m ³	0,7 g/m ³	2 g/m ³	0,5 g/m ³
Projektsuurus niiskus tehniliste arvutuste järgi	6 g/m ³	2,5...2,0 g/m ³	5 g/m ³	2,0...1,5 g/m ³	4 g/m ³	1,5...1,0 g/m ³

Sellised niiskusliisa näitajad on elamutes, kus siseõhku ei niisutata, ja nende niiskuskoormuse alusel saab teha eramu ja korterelamu välispiirete ehitusfüüsikalisi kontrollarvutusi. Uuring võimaldab täpsemalt analüüsida elamute niiskuskoormust suure asustustiheduse ja halva ventilatsiooni tingimustes.

2.3.3 Õhu süsihappegaasisaldus ja ventilatsiooni õhuvooluhulk

Vastavalt Eestis eluruumidele kehtestatud nõuetele (VV määrus nr 38) peab eluruumides olema ventilatsioon, mis tagab inimeste elutegevuseks vajaliku õhuvooluhulga ja õhuvahetuse (Tabel 2.7).

Tabel 2.7. Näiteid magamistubade ventilatsiooni õhuvooluhulgast ventilatsioonisüsteemide püsiva töö juures kasutusaegadel (EVS 916, EVS-EN 15251).

Sisekliimaklass	Õhuvahetus elu- ja magamistoas		
	Inimese kohta, l/s	Põranda pindala kohta, l/(s·m ²)	Õhuvahetuse kordsus, h ⁻¹ (ruumi kõrgus 2,5 m)
I	10	1,4	2,0
II	7	1,0	1,4
III	4	0,6	0,9

Sama määruse kohaselt peab õhu liikumiskiirus eluruumis, eluruumi maht ühe inimese kohta, keemiliste ja bioloogiliste ühendite sisalduse piirkontsentratsioon siseõhus olema tagatud vastavalt Eestis kasutatavatele normidele. Eestis kehtivatest riiklikest ja rahvusvahelistest standarditest ning tehnilistest aruannetest käsitlevad siseõhu CO₂ sisaldust eluhoonetes hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard

(EVS-EN 15251) ja sisekliima projekteerimiskriteerium (CR 1752). EVS-EN 15251 määratud CO₂ piirkontsentratsioonid vastavalt sisekliimaklassidele (Tabel 2.8) on olulised energiaarvutusteks ning nõudluspõhiselt reguleeritavale ventilatsioonile.

Tabel 2.8. Üle välisõhu kontsentratsiooni ja kontsentratsioonil 350 ppm (EVS EN 15251) esitatud soovituslikud CO₂ sisalduse näited.

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

EVS-EN 15251 toodud kontsentratsioonide puhul tekib vastuolu samas standardis määratud elu- ja magamistoa õhuvooluhulkade piirnormidega inimese kohta. Taani tehnikaülikoolis on uuritud selle standardi tagamaid ja toodud vastavate sisekliimaklasside õhuvooluhulga ning siseõhu CO₂ sisalduse piirnormid. Need normid vastavad ühtlasi ka sisekliima projekteerimiskriteeriumis toodud väärtustele (Tabel 2.9). Sellest lähtuvalt kasutatakse käesolevas uuringus siseõhu CO₂ sisalduse hindamiseks projekteerimiskriteeriumis CR 1752 toodud piirnorme, sealjuures on välisõhu CO₂ sisalduseks võetud 350 ppm. Uutes/oluliselt renoveeritud ja olemasolevates eluhoonetes on oluline sisekliimaklassi (vastavalt klassi B (II) ja C (III)) jälgimine, A-(I) klassi piirnormid on mõeldud eelkõige kõrge sisekliima kvaliteedi tagamiseks. Rahulolematute määrale vastavaid CO₂ kontsentratsioone on võimalik kasutada ka sisekliimaklasside piirnormide määramisel (Tabel 2.9). Sisekliima mittevastavus soovituslikule tasemele võib lisaks inimeste tervisele mõjutada ka ehituse konstruktsiooni- ja viimistlusmaterjale.

Tabel 2.9. Sisekliimaklassid ruumidele, kus peamiseks CO₂ tekitajaks on inimene (CR 1752).

Sisekliimaklass	Rahulolematuid elanikest, %	Siseõhu CO ₂ kontsentratsioon välisõhu tasemel 350 ppm,	Siseõhu CO ₂ kontsentratsioon, ppm
A	15	460	810
B	20	660	1010
C	30	1190	1540

Energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) lubab lühiajalisi kõrvalekaldeid ettenähtud sisekliima näitajatest. Sisekliimaklassidega määratud piirsuurusi on lubatud ületada 3% või 5% hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas. Sealjuures tuleb tähele panna, et isegi kui pikemaajalise perioodi jooksul ei ületata parameetreid üle lubatud kõrvalekalde, tuleb neid täita ka päeva ning nädala jooksul.

Ruumide projekteerimisel määratakse õhuvahetus kas vastavate normarvude või ohtlike ainete eraldumise järgi. Elu- ja üldkasutatavates hoonetes võib õhuvahetuse määramisel lähtuda ruumide ventilatsiooni normatiivarvudest (inimese kohta, põrandapinna kohta, õhuvahetuse kordsuse järgi). Hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard (EVS-EN 15251) annab eluhoonete ventilatsiooni õhuvooluhulga sisekliimaklassi järgi (ventilatsiooni projekteerimismäär EVS 845-1 soovitab magamistoa õhuvooluhulgaks võtta 0,7 l/(s·m²) või 6 l/s inimese kohta).

Sel perioodil, kui ruume ei kasutata, võib neis ventilatsiooni õhuvooluhulka vähendada. Minimaalseks õhuvooluhulgaks nähakse ette standardis EVS-EN 15251 loomuliku ventilatsiooniga eluruumides 0,05...0,1 l/(s·m²), mis 2,5 m kõrguse ruumi korral tähendab õhuvahetuse kordsust 0,07...0,15 h⁻¹.

2.4 Energiatõhususe analüüsi ja hindamise meetodid

2.4.1 Hoone energiatõhususe analüüs

Vahetult renoveerimiseelseks perioodiks arvestatakse aastaid 2007...2009. Renoveerimisjärgseks perioodiks loetakse aastat 2012, sest see on esimene täisaasta, mida sai tarbimisandmetest lähtudes võtta aluseks hinnangu koostamisel.

Energiatõhusust analüüsiti ja hinnati, tuginedes mõõdetud tarbimisandmetele ning hinnatud ja arvutatud suurustele. Hinnangute andmisel tugineti ka teiste korterelamute vastavatele tarbimisandmetele.

Enne renoveerimist on kütte, ventilatsiooni ja sooja tarbevee tootmise energiabilanss koostatud matemaatilise lähendamise meetodiga, mis annab tulemuseks sellise tasakaalutemperatuuri, mille korral on energiavajadus ja tarnitud energia tasakaalus. Eelnevalt hinnatakse ära välispiiretega ja sooja tarbevee saamisega seonduvad suurused ning ventilatsiooniõhu vooluhulk leitakse bilansist selle soojuse koguse alusel, mis jääb järele, kui tarbitud kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojusest lahutatakse maha välispiirete kaudu lahkuv soojus.

Pärast renoveerimist on energiavoogude määramisel kasutatud mõõtetulemuste andmeid.

Energiatõhususe ja sisekliima hindamisel on arvestatud projekti „Tervislik ja säästlik kodu“ eesmärkidega:

- maksimaalse võimaliku energiasäästu saavutamine nii, et renoveerimise tulemusena jääks keskmine tarnitud energiakulu kütteks, ventilatsiooniks ja sooja tarbevee valmistamiseks väiksemaks kui 100 kWh/(m² a) (tüüpiline aasta);
- saavutada eesmärkide seadmise ajal kehtinud seaduste alusel renoveerimisega energiatõhususe klass C ehk energiatõhususarv vahemikus 121...150 kWh/(m²·a) (energiatõhususe miinimumnõuete määrase eelmise versiooni ääritingimuste kohaselt);
- sisekliima taseme (sh õhuvooluhulgad ja soojuslik mugavus) vastavus II klassi (EVS-EN 15251) piirsuurustele.






2.4.2 Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi energiatõhususe analüüs

2.4.2.1 Uurimismeetodid

Soojuspumpade töö uurimiseks võeti vaatluse alla sooja tarbevett tootev soojuspump. Täpsema analüüsi koostamiseks mõõdeti soojuspumba elektritarbimine, soojuspumba primaarpoole temperatuuriparameetrid, ventilatsiooniõhult saadav soojusvõimsus, primaarpoole külmakandja vooluhulk, sekundaarpoole temperatuuriparameetrid, soojuspumba küttevõimsus, sekundaarpoole soojuskandja vooluhulk, kaugkütte küttevõimsus ning sooja tarbevee temperatuuriparameetrid hoone soojussõlmes. Eraldi teostati mõõtmised soojuspumpade poolt toodetava sooja tarbevee ja küttevõe kontuurides. Mõõtmised teostati 1 min intervalliga. Mõõtmiste põhimõtteline skeem on toodud Joonis 2.5.

Hoone katusel mõõdeti väljatõmbeagregaatide õhuvooluhulk. Selleks kasutati andmeid salvestavat õhurõhu/vooluhulga mõõturit (Testo 435) ja vastavat õhu kiiruse otsikut. Mõõtetulemused on toodud Tabel 3.7. Lisaks paigutati ventilatsiooniagregaadi väljatõmbe ja väljaviske poolele ka temperatuurilogerid, mis salvestasid õhutemperatuure enne ja pärast jahutuspatarei läbimist. Temperatuurilogerid kinnitati ventilatsiooniagregaadi siseseinale seadme väljatõmbepoolele. Kasutatud mõõteseadmete tehnilisi näitajaid iseloomustab Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Kasutatud mõõteseadmed

	IskaraEmeco MT/MD 851 	Kamstrup Ultraflow54 +Multikal 601 	HOBO U12-014 TC6-K 
Mõõtepiirkond	-	temperatuur 15-130 °C	temperatuur 0...1250 °C
Mõõtetäpsus	klass 1 (IEC 61036) või klass 0.5S (IEC 60687)	klass 2,0 EN 1434	±0,5% lugemist
	Testo 816 	Sensus PolluStat E 	Sensus XN-RK 
Mõõtepiirkond	temp. -20 kuni +70 °C RH 0 kuni 100% õhu kiirus 0 kuni 20 m/s	5-130 °C; 0,05-5m ³ /h	Veevooluhulk 20-5000 l/h
Mõõtetäpsus	±0,01 m/s	klass 2,0 EN 1434	±2...3 % lugemist

Valem 2.2 abil on leitud keskmine soojuspumpsüsteemi soojustegur (COP). COP näitab, mitu ühikut soojusenergiat saadakse ühe ühiku elektrienergia kasutamiseks. Süsteemi COP võtab arvesse kogu toodetud soojuse ning kogu süsteemile kuluva elektrienergia, sealhulgas soojuspumba kompressori ja ringluspumpade energiatarbe. COP arvutati kahel viisil: kogu mõõteperioodi jooksul ja soojuspumba töötamise ajal hetkelise COP-na.

$$COP_{süst} = \frac{Q}{W}$$

2.2

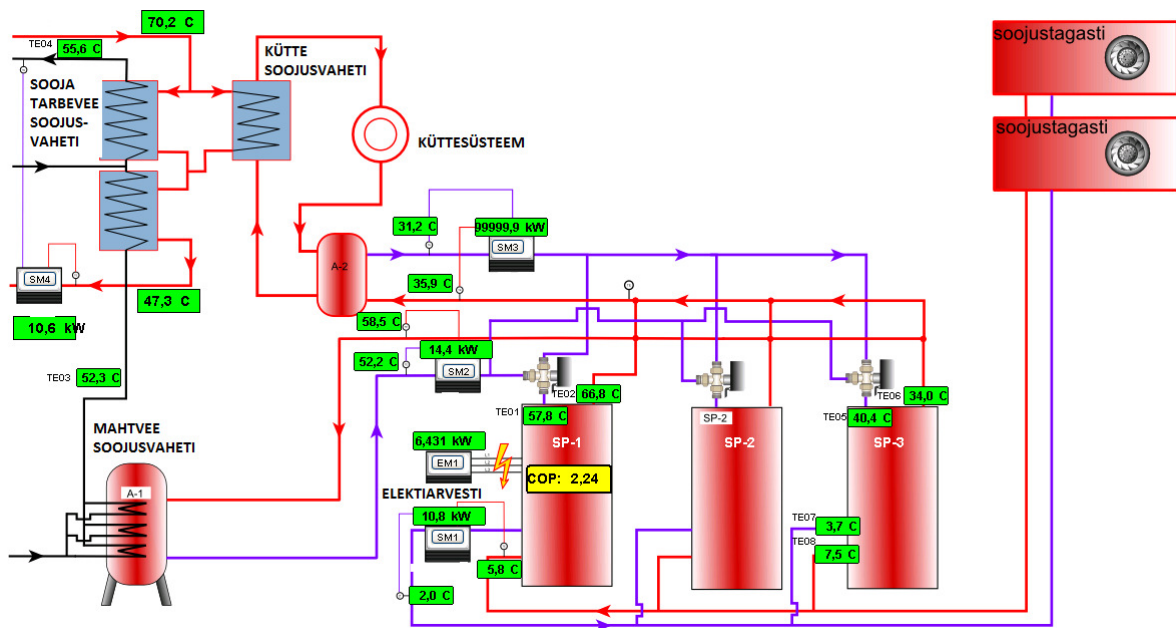
kus:

COP_{süst}

Q

W

soojuspumpsüsteemi soojustegur,-;
soojuspumpsüsteemi soojustoodang, MWh;
soojuspumpsüsteemi elektritarve, MWh.



Joonis 2.5. Mõõtmiste põhimõtteline skeem

2.4.3 Värskeõhu radiaatoritega süsteemi toimivuse analüüs

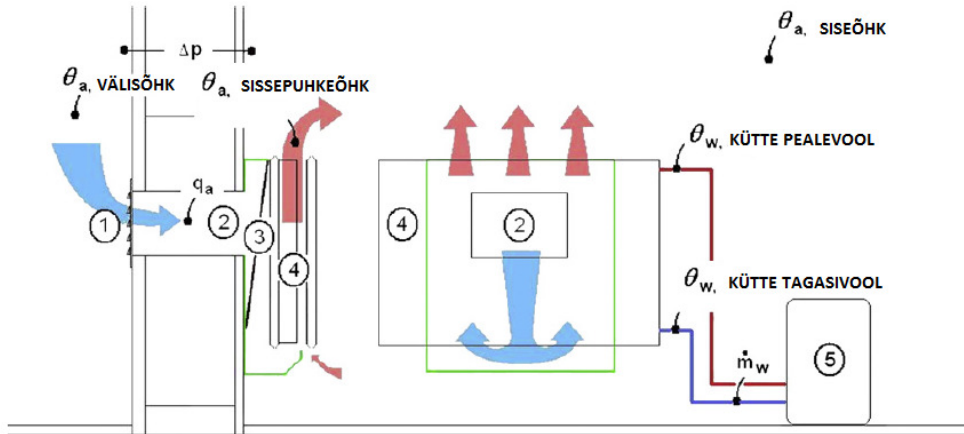
2.4.3.1 Süsteemi kirjeldus

Sõpruse pst 244 värskeõhu radiaatorsüsteem koosneb välisseina rajatud õhuvõtukanalist, mis on varustatud välisrestiga, filtriga komplekteeritud seinakanalist ja paneelradiaatorist (vt. Joonis 2.6). Õhuvõturi ülesanne on takistada võrojektide sattumist seinakanalisse ning vältida sademete sisenemist süsteemi. Värske õhk juhitakse läbi õhuvõturi ja seinakanali radiaatorisse. Seinasse asuva kanali läbimõõt on 100 mm, mis võimaldab ventileerida 1 elanikuga ruumi. Õhuvoolu vähendamiseks ning sulgemiseks on võimalik kasutada komplekti kuuluvat reguleeriv elementi. Niiskuskahjustuste ning seadet mitteläbiva külma õhuvoolu vältimiseks on oluline kanal tihedalt isoleerida. Õhuvooluhulga sulgemiseks on võimalik ka filtrikasti kest eemaldada ja pöörata filtrit 90 kraadi võrra.

Süsteemi liikumapanevaks jõuks on väljatõmbeventilaatorite poolt tekitatud alarõhk. Sellest tulenevalt ei tarbi sissepuhkesüsteem iseseisvalt elektrit ja liikuvate osade puudumise tõttu ei tekita häirivat müra. Kuivõrd tegu on kanaliga väliskeskkonda, võib müraprobleeme tekkida suure liiklustihedusega tänavate juures. Sel juhul on võimalik paigaldada ka müraisolatsiooniga seinakanal. Väljatõmbeventilaatorite poolt ruumi loodavaks alarõhuks arvestatakse 10-15 Pa. Suuremate väärtuste puhul tõuseb infiltratsiooniohu vooluhulk, madalamatel väärtustel ei ole õhuvooluhulk läbi süsteemi tagatud.

Värske õhu ruumi juhtimisel läbi radiaatori on mitmeid häid külgi. Radiaatori soojusväljastus suureneb kahel põhjusel – esiteks on soojusülekanne seda intensiivsem, mida suurem on õhu liikumiskiirus. Teiseks on küttekeha soojusväljastus seda suurem, mida suurem on radiaatori pinnatemperatuuri ja õhutemperatuuri vahe. Traditsioonilise radiaatori korral liigub küttekehast läbi toatemperatuuril õhk. Ventilatsiooniradiaatorite korral on õhu algtemperatuur võrdne välisõhu temperatuuriga, mis talveperioodil on kuni 30-35 °C madalam toatemperatuurist. Lisaks suurenenud soojusväljastusele loob kõnealune süsteem mugavama sisekliima, sest ruumi jõudev õhk on eelsoojendatud. Esineb ka ventilatsiooniradiaatoreid, kus radiaatoris segunevad välisõhk ja ruumiõhk. See aga vähendab küttekeha soojusväljastust.

Uuringud CFD (Computational Fluid Dynamics) simulatsioonidega on näidanud, et võrreldes traditsiooniliste radiaatorite ja põrandküttega loob värskeõhu radiaator ühtlasema sisekliima, seda ka madalamatel soojuskandja temperatuuridel. CFD simulatsioonide tulemusi on kinnitanud ka erinevates kliimakambrites korraldatud katsed.



Joonis 2.6. Värskeõhu radiaatori osad: (1) Välisrest, (2) seinakanal, (3) filter, (4) radiaator ja (5) soojuskandja pump.

2.4.3.2 Värskeõhu radiaatorite toimivuse uurimismeetodid


Selleks, et värskeõhu radiaatoritega süsteemi toimivust adekvaatselt uurida oli vajalik projektijärgsest lahendusest kõrvalekalduvate ning süsteemi tööd oluliselt mõjutavate parameetrite vähendamine. Kuna Sõpruse pst 244 hoone puhul oleks see eelkõige õhuvooluhulkade suure varjeerumise tõttu osutunud keeruliseks ning ühtlasi ka väheinformatiivseks, siis viidi värskeõhu radiaatorite juhtumianalüüs läbi Sõpruse pst 202 kortermajas. Antud hoone puhul olid nii paigaldustehnilised kui ka madalast küttegaafikust tingitud probleemid lahendatud. Samuti tuleb tähele panna, et uuringus osalenud korteris oli võimalik termostaatventiili asendit vastavalt tegelikule vajadusele muuta.

Uuringu käigus teostati mõõtmiseid kolmanda korruse korteris, toas, mille aknad on suunaga kagusse. Ruumi küttekehaks on värskeõhu seinakanaliga varustatud Purmo radiaator mõõtmetega 2 m x 0,5 m. Ruumis valiti 6 mõõtepunkti, kus mõõdeti siseõhu temperatuuri ja suhtelist niiskust. Mõõtepunktide valikul lähtuti sellest, et saadavad andmed väljendaksid võimalikult täpselt ruumiõhu olukorda. Logeritest neli paigaldati välisseinast 1-1,5 m kaugusele ja vertikaalplaanis põrandapinnast kuni 1,4 m kõrgusele, eesmärgiga kajastada viibimistsooni jõudva õhu parameetreid (vt. Joonis 2.7 ja Tabel 2.12). Kuigi põrandapind ei ole definitsiooni kohaselt osa viibimistsoonist, on selle olukorra kajastamine oluline, sest külm põrand on sisekliima taju osas üks enam ebamugavustunnet põhjustav element. Ülejäänud kahest logerist üks paigaldati radiaatori kohal oleva aknalaua alumisele poolele, et saada andmeid radiaatorist väljuva sissepuhkeõhu kohta. Viimane loger paigaldati radiaatori küljes oleva seinakanali alumisele küljele. See võimaldas saada täpsemaid andmeid süsteemi osa kohta, mille suunas on kasutajatelt kriitikat kostunud. Logerid olid pindadele kinnitatud, mõõteperioodi käigus neid ei liigutatud.

Mõõtmine toimus ajavahemikus 14.02.2014 – 24.03.2014. Mõõteperioodi vältel jäi välistemperatuur vahemikku -8 °C kuni +10 °C. Uuringu käigus kasutati salvestusintervalli 15 min. Mõõtmiseks kasutati HOBO U12-013 temperatuuri ja suhtelist niiskust salvestavaid logereid (vt

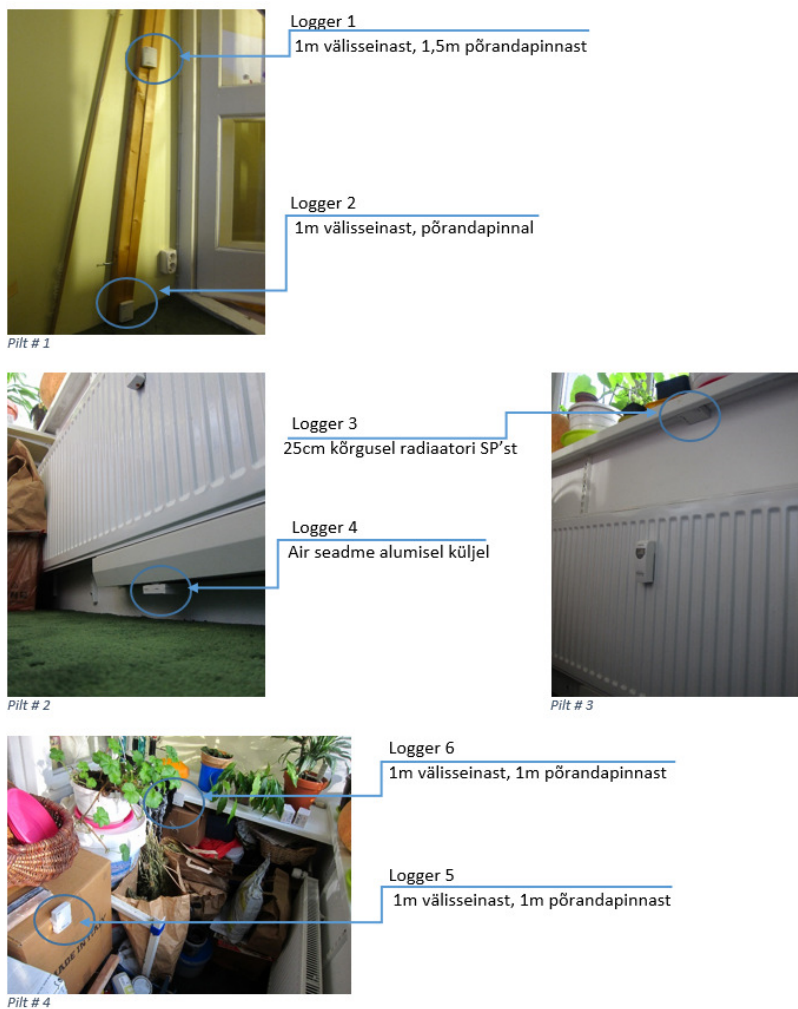
Tabel 2.11).

Tabel 2.11. Uuringus kasutatud mõõteseadmed

Seade	HOBO U12-013 Temp/RH/Ext/Ext
	
Mõõtepiirkond	Temperatuur: -20 – 70 °C Suhteline niiskus: 5 – 95 %
Mõõtetäpsus	Temperatuur: ±0,35 °C Suhteline niiskus: ±2,5 %

Tabel 2.12 Mõõtepunktide kirjeldus

Logeri number	Punkti kirjeldus ruumis
Loger 1	Loger asub radiaatorist paremal, 1,5m välisseinast ja 1,4m põrandapinnast.
Loger 2	Loger asub logger 1'ga kohakuti, põrandapinnal
Loger 3	Loger kinnitatud radiaatori kohale, aknalaua alumisele küljele – 25cm radiaatorist
Loger 4	Logeri asukoht radiaatori all, seinakanali alumisel küljel, 5cm põrandapinnast
Loger 5	Loger 1m radiaatorist ruumi sisemusse, põrandast 1m kõrgusel
Loger 6	Loger radiaatorist vahetult vasakul, 1m välisseinast, 1m põrandapinnast



Joonis 2.7. Mõõteandurite ruumis paiknemise skeem

2.5 Külmasildade analüüsi ja hindamise meetodid

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

Termograafia abil on võimalik ehitustehnikas teha mitmeid uuringuid tarindeid avamata:

- määrata hoonepiirete pinnatemperatuuride ebaühtlust, mis viitab soojuslähivuse ja niiskusesisalduse ebaühtlusele;
- hinnata erinevate pinnatemperatuuride alusel, kui palju erineb hoonepiirete soojuslähivus;
- leida õhulekkekohti ja hinnata nende suurst, tehes termograafilised mõõtmised normaaltingimustes ja ala- või ülerõhu tingimustes;
- hinnata ehituskvaliteeti – külmasillad, õhulekkekohad ja puudulik soojustus on tingitud eelkõige halvast ehituskvaliteedist;
- leida sein- ja põrandasiseseid veetorusid ning ülekuumenenud elektrijuhtmeid.

Termograafia abil ei saa aga määrata piirdetarindite soojuslähivust, sest keskkonnatingimuste mõju mõõtetulemustele ning sisepinna soojustakistuse varieeruvus on liiga suur. Termokaamera abil mõõdetakse vaid hetkelist pinnatemperatuuri. Termograafilise mõõtmise õnnestumise kolm eeldust on kvaliteetsed mõõteriistad, kogunud mõõtja, termopiltide korrektne tõlgendus.

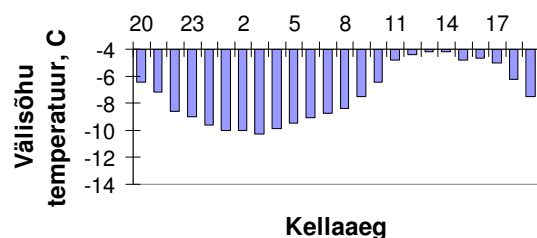
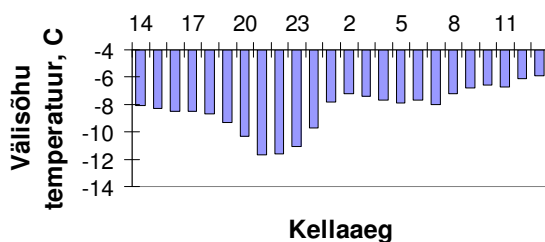
Uurimistöös keskenduti järgmiste liitekohtade külmasildade analüüsile:

- välisseinte välisnurk,
- välissein/sisesein,
- välissein/vahelagi,
- välissein/keldri lagi,
- välissein/aken,
- välissein/rõdu,
- välissein/katus parapetiga,
- välissein/katus räästapaneeliga.

2.5.1 Mõõtmised

Uurimistöös kasutati FLIR Systems E320 termokaamerat (mõõtevahemik $-20\text{ }^{\circ}\text{C}...+500\text{ }^{\circ}\text{C}$, tundlikkus $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$, mõõtmistäpsus $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+2\%$ (kordusmõõtmisel $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+1\%$), sensor 320×240 pikslit). Termograafilised mõõtmised tehti peamiselt korteri tavatingimustes.

Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri taotluslik erinevus $> 20\text{ K}$. Lisaks mõõtmisaegsele sise- ja välisõhu temperatuurile on ka äärmiselt oluline, et mõõtmisele eelnevalt oleks selline temperatuuride vahe ühtlaselt püsinud. Mõõdeti enne ja pärast renoveerimist, vastavalt 30.11.2010 ning 13.03.2013. Mõõtmistele eelnenud 24 tunni temperatuurid on esitatud Joonis 2.8. Mõõtmiste ajal puhus hoone ümbruses nõrk tuul.



Joonis 2.8. Termograafilistele mõõtmistele eelnenud 24 tunni välisõhu temperatuurid enne renoveerimist (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

Termopiltidel on temperatuuriskaala muudetud samaks ja temperatuuri mõõtepunktide emissioonitegurid on korrigeeritud vastavalt mõõdetava pinna materjalile. Hoone välispidisel termograafilisel mõõtmisel on termopiltidel suurema soojuslähivusega alad (külmasillad) eristatavad heledamate/kollaste toonide järgi ning seespidisel mõõtmisel tumedamate/sinakasmustade kohtade järgi.

2.5.2 Arvutused

Välispiirete erinevate liitekohtade külmasilla joonsoojuslähivused Ψ arvutati kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutustarkvaraga Therm 6.2 vastavalt valemile

$$\Psi = L_{2D} \cdot \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j, \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

kus:

L_{2D} analüüsitava kahemõõtmelise liitekohta joonsoojuslähivus koos külmasillaga, W/(m·K);

U_j ühemõõtmelise tarindi j soojuslähivus, mis eraldab sise- ja väliskeskkonda, W/(m²·K);

l_j vaadeldava ühemõõtmelise tarindi pikkus, m.

Joonsoojuslähivuste arvutustes kasutati sise- ja välispinna keskmisi soojustakistusi ehk sisepinna soojustakistusi R_{si} : sein 0,13 m²·K/W; põrand 0,17 m²·K/W; lagi 0,10 m²·K/W. Temperatuurindeksi arvutustes kasutati suuremat sisepinna soojustakistust 0,25 m²·K/W. Välispinna soojustakistus on kõikidel juhtudel 0,04 m²·K/W. Kasutatud materjalide soojuserijuhtivused on esitatud Tabel 2.13.

Tabel 2.13. Temperatuurivälja arvutustes kasutatud materjalide soojuserijuhtivused.

Materjal	Soojuserijuhtivus λ , W/(mK)	Materjal	Soojuserijuhtivus λ , W/(mK)
Betoon	2,0	Vana mineraalvatt	0,07
Monol.betoon/mört	1,8	Vahtpolüstüreen	0,04
TEP-plaat	0,16	Mineraalvill	0,04
Puit	0,14	Vuugimastiks	0,25
Keramsiitbetoon	0,30	Bituumen/kumm	0,24

Välispiirde korrigeeritud soojuslähivus U_c koosneb välisseina soojuslähivusest U ning sellele lisatud välisseina pindalale jagatud külmasildadest vastavalt valemile:

$$U_c = U + \frac{\sum \Psi \cdot l}{A}, \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

kus:

Ψ külmasilla joonsoojuslähivus, W/(m·K);

l_j külmasilla pikkus, m;

A välispiirde pindala, m².

Akende paigaldusvariantide lihttasuvusaja arvutamisel kasutati 2012.-nda aasta kaugkütte soojuse hinda 76 €/MW·h.

2.5.3 Tulemuste hindamine

Külmasillast põhjustatud madalama sisepinna temperatuuri kriitilisuse määrab sisepinna temperatuuri, välisõhu temperatuuri ja siseõhu temperatuuride omavaheline suhe ehk temperatuurindeks f_{RSi} : (Hens 1990, EVS-EN ISO 13788):

$$f_{R_{Si}} = \frac{t_{Si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{Si}}{R_T} \quad 2.3$$

kus:

- $f_{R_{Si}}$ temperatuuriindeks, -;
 t_{Si} sisepinna temperatuur, °C;
 t_i siseõhu temperatuur, °C;
 t_e välisõhu temperatuur, °C;
 R_T piirdetarindi kogusoojustakistus, m²·K/W;
 R_{Si} piirdetarindi sisepinna soojatakistus, m²·K/W.

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

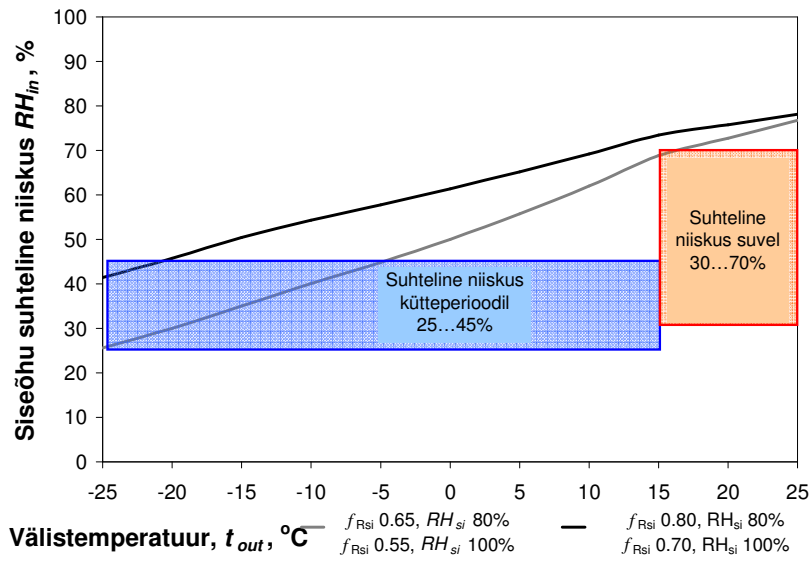
Temperatuuriindeksi piirarvu kriitilisuse määravad eelkõige:

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

Eestis on temperatuuriindeksi piirsuurused arvutatud välja lähtuvalt niiskuskooormusest ning hallituse kasvu ja veeauru kondenseerumise vältimise kriteeriumidest (Tabel 2.14 ja Joonis 2.9). Valdavalt tuleb kasutada hallituse tekke vältimise kriteeriumit. Kui ruumides on niiskuskooormus suurem (puudulik ventilatsioon, suur niiskustootlus), peavad hoonepiirded ja nende liitekohad olema paremini soojustatud.

Tabel 2.14. Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused Eestis.

Niiskuskooormus	Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{R_{Si}}$ - (mõõdetud või arvutatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuskulisa talvel $\Delta v = 4 \text{ g/m}^3$ ja suvel $\Delta v = 1 \text{ g/m}^3$, need on väikese/keskmise asustusega ja hea ventilatsiooniga elamud.	0,65	0,55
Niiskuskulisa talvel $\Delta v = 6 \text{ g/m}^3$ ja suvel $\Delta v = 2 \text{ g/m}^3$, need on suure asustusega ja halva/teadmata ventilatsiooniga elamud.	0,8	0,7



Joonis 2.9. Siseõhu suhtelise niiskuse ja temperatuuriindeksi vaheline sõltuvus erinevatel välisõhu temperatuuridel.

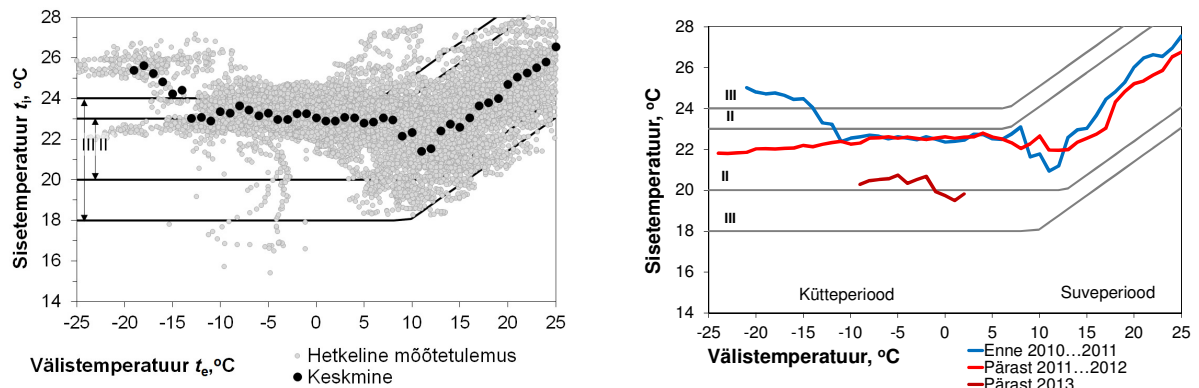
Temperatuuriindeksi piirsuuruseks on 0,8.

3 Tulemused

3.1 Sisekliima

3.1.1 Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist

Sisekliima mõõdeti samades korterites enne (2010...2011) ja pärast (2011...2012, 2013 talve lõpp) hoone renoveerimist. Iga korteri sisetemperatuuri mõõtetulemused jaotati vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati keskmine sisetemperatuur, mis loeti selle korteri sisetemperatuuriks (Joonis 3.1, vasakul). Korteries mõõdetud ööpäeva keskmised sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused enne ja pärast hoone renoveerimist on toodud Joonis 3.1 paremal.

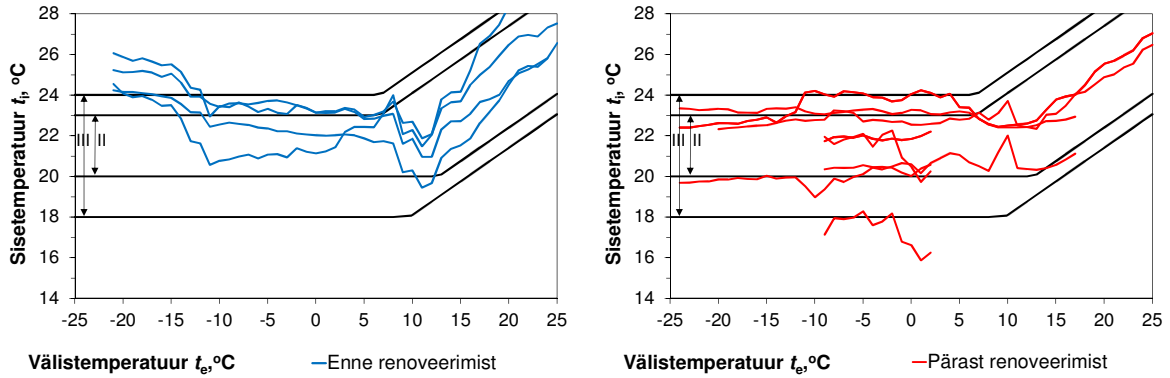


Joonis 3.1. Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris kogu mõõteperioodi jooksul (vasakul) ja keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist korterites enne ja pärast renoveerimist (paremal).

Võrreldes olukorda enne ja pärast hoone renoveerimist on näha sarnane temperatuuri käitumine kevadel, suvel, sügisel ja talve soojemal perioodil. Enne renoveerimist on näha korterite keskmine ülekütmine külmadel talvapäevadel. Selle põhjuseks saab olla

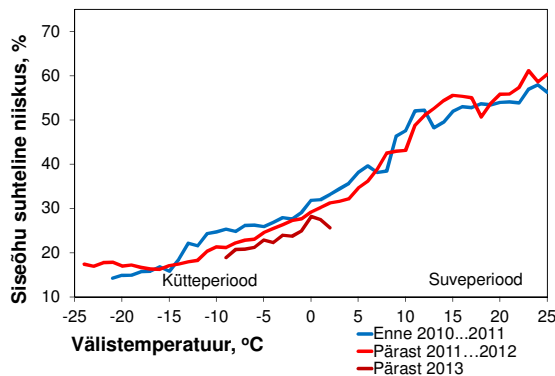
- asjaolu, et soojusregulaatori graafik ei ole korras. Kui korterites puuduvad radiaatoritel termostaadid, sõltub sisetemperatuur erinevatel välistemperatuuridel otseselt soojussõlme reguleerimisgraafikust (välistemperatuurist sõltuva küttevee temperatuuri sõltuvuse tõusunurk ja graafiku tase). Kui soojusregulaatori graafiku kaldenurk ja tase on õiged, siis keskmine ruumitemperatuur kütteperioodil sõltub vähe või ei sõltu üldse välistemperatuurist;
- asjaolu, et soojustamata välispiirete korral tuleb sama soojusliku mugavuse saavutamiseks tõsta sisetemperatuuri kõrgemaks. See suurendab aga hoone energiakulu veelgi.

Võrreldes renoveerimiseelse olukorraga (Joonis 3.2, vasakul) on renoveerimisjärgselt (Joonis 3.2, paremal) korterite keskmine sisetemperatuur oluliselt stabiilsem, soojusregulaatori graafik on korras ja ülekütmist on vähem. Enamik kortereid jääb keskmise temperatuuri järgi sisekliima II klassi. Siiski tuleb täheldada suurt erinevust üksikute korterite vahel, mis võib viidata ka elanike soojusliku mugavuse ootusele.

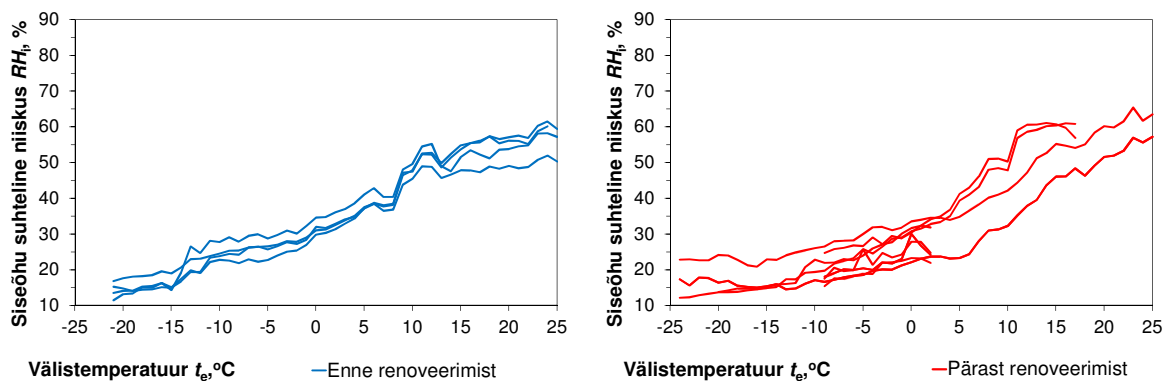


Joonis 3.2. Sisetemperatuuri sõltuvus välitemperatuurist korterites enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

Analoogselt temperatuuridega jaotati ka suhteline niiskus igas korteris vastavalt välitemperatuuri ühe kraadi vahemikule. Iga välitemperatuuri ühe kraadi kohta arvatati keskmine siseõhu suhteline niiskus, mis loeti selle korteri suhteliseks niiskuseks (Joonis 3.3, vasakul). Korterites mõõdetud ööpäeva keskmise siseõhu suhtelise niiskuse ja välitemperatuuri vahelised sõltuvused enne ja pärast renoveerimist on esitatud Joonis 3.4. Suhteline niiskus korterites on pärast hoone renoveerimist samas suurusjärgus kui enne renoveerimist.



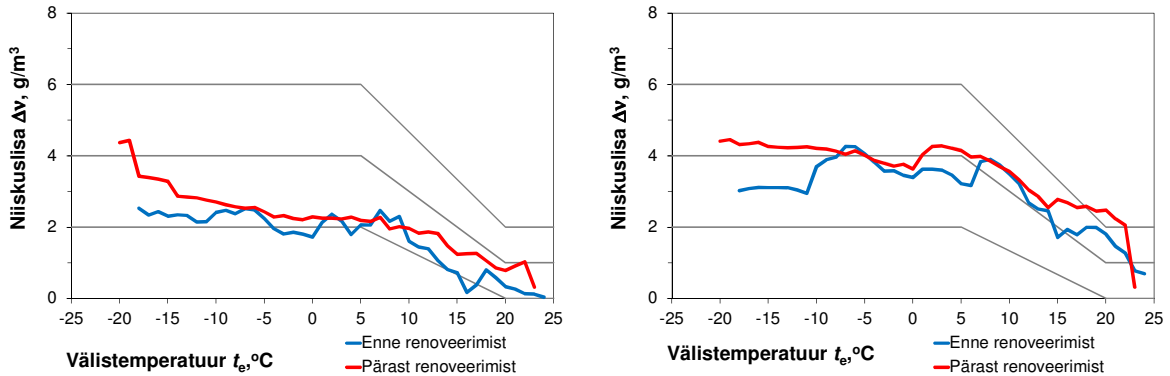
Joonis 3.3. Keskmise siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välitemperatuurist enne ja pärast renoveerimist.



Joonis 3.4. Korterites siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välitemperatuurist enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

Niiskuskoormusi korterites on analüüsitud niiskuslisa abil. Niiskuslisa suurus näitab sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevust ning sõltub ruumide ventileeritavusest ning niiskustootlusest ruumides. Analoogselt sisetemperatuuriga ja suhtelise niiskusega on

analüüsitud ka niiskulisla välistemperatuuri enne ja pärast renoveerimist. Selleks jaotati iga korteri niiskulisla mõõtetulemused vastavalt välistemperatuurile. Iga välistemperatuuri ühe kraadi kohta arvutati niiskulisla nädala keskmine keskvärtus (Joonis 3.5, vasakul) ja arvutussuurus 90% tasemel (Joonis 3.5, paremal), mis loeti selle korteri niiskuskooormuseks.

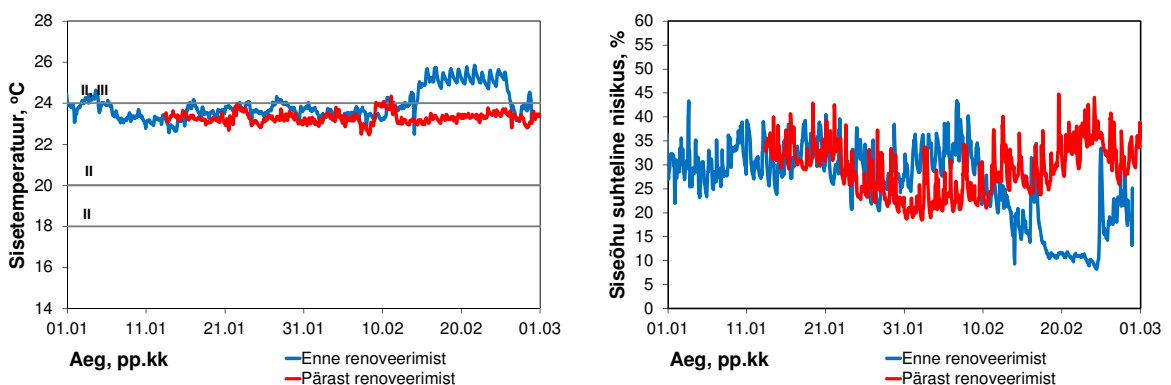


Joonis 3.5. Niiskulisla sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja kõikides korterites (paremal).

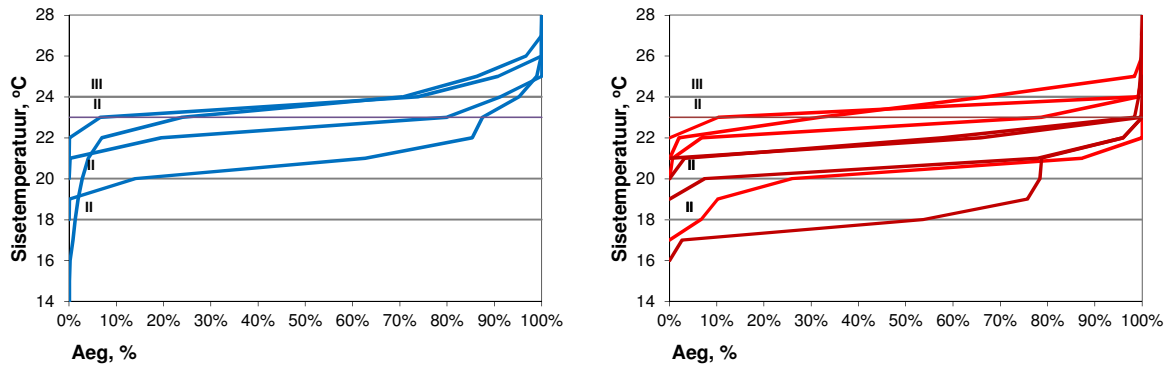
Võrreldes renoveerimiseelset ja renoveerimisjärgset niiskuskooormust korterites tuleb tõdeda, et see ei ole vähenenud. Seega tuleb põhjust otsida ventilatsiooni toimimisest, mis soojuslikku mugavust mitte tagades võib kaasa tuua selle, et elanikud vähendavad ventilatsiooniõhuhulka.

3.1.2 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvekuudel

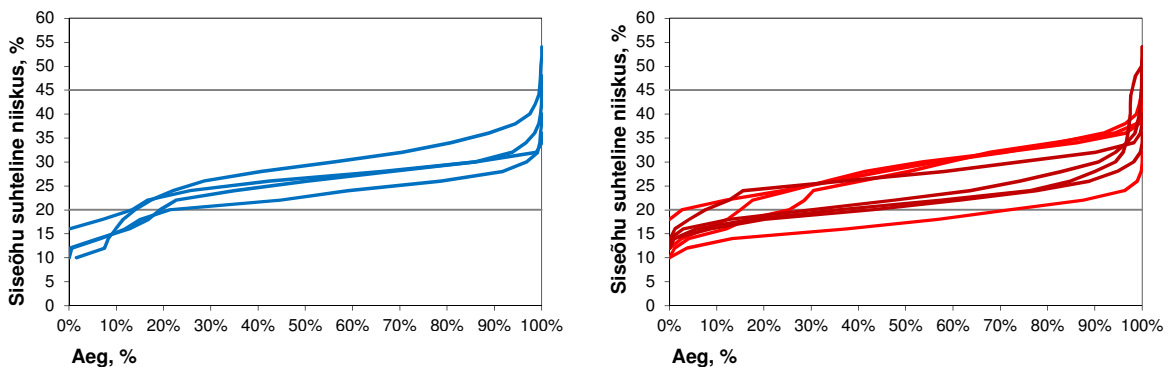
Hindamaks sisetemperatuuri ja suhtelist niiskust EVS-EN 15251 standardi piirväärtustele on mõõtetulemusi analüüsitud talvekuudel (detsember, jaanuar, veebruar). Ühe korteri sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel enne ja pärast renoveerimist on toodud Joonis 3.6. Mõõtmistulemustest on näha, kuidas külmal perioodil (veebruari lõpp, keskmine temp -17°C) soojusliku mugavuse suurendamiseks tehtud sisetemperatuuri tõus on langetanud õhu suhtelise niiskuse väga madalale ($\sim 10\% \text{RH}$). Soojematel perioodidel ($> -10^{\circ}\text{C}$) on ruumitemperatuur püsinud enamasti pidevalt sisekliima III ja ka II klassi piirides (Joonis 3.7). Kõikide korterite siseõhu suhteliste niiskuste jaotus talvekuudel enne ja pärast hoone renoveerimist on esitatud Joonis 3.8.



Joonis 3.6. Korteris sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) talvel enne ja pärast hoone renoveerimist.



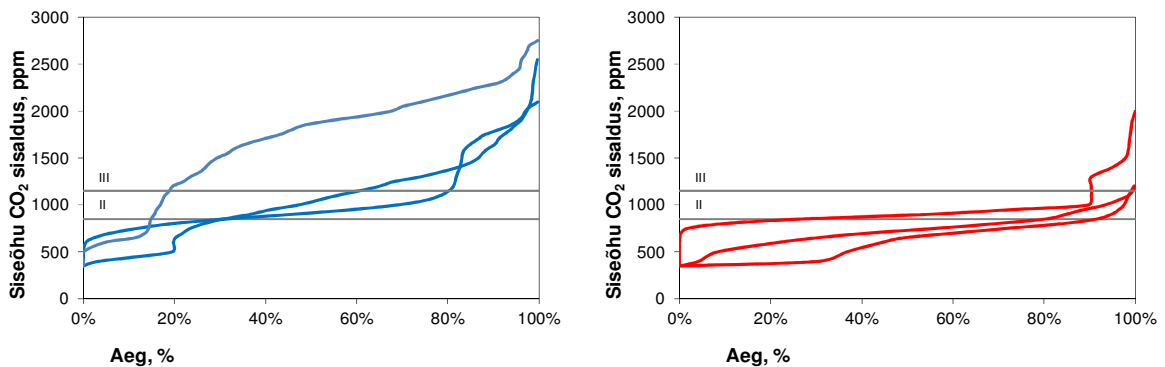
Joonis 3.7. Kõikide korterite sisetemperatuuride jaotus talvekuudel enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Joonis 3.8. Kõikide korterite siseõhu suhteliste niiskuste jaotus talvekuudel enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

3.1.3 Magamistubade siseõhu CO₂ sisalduse mõõtetulemused

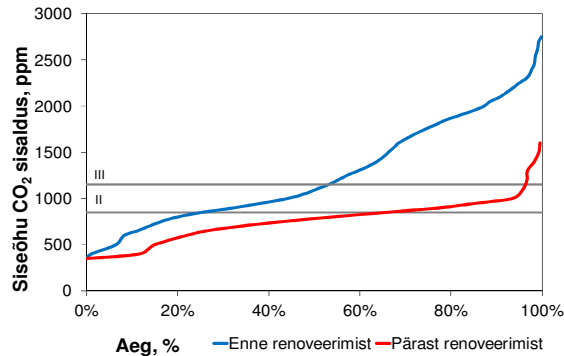
Siseõhu kvaliteeti hinnati õhu süsihappegaasisalduse alusel. Hindamise aluseks on võetud mõõteperioodi öine aeg (23:00-07:00), sest sel ajavahemikul on elanike kohal viibimise tõenäosus kõige suurem. Joonis 3.8 on toodud erinevate korterite magamistubade siseõhu CO₂ sisalduse kumulatiivsed jaotused enne ja pärast hoone renoveerimist. Enne hoone renoveerimist mõõdetud siseõhu minimaalne CO₂ sisaldus oli 371 ppm, maksimaalne 2751 ppm ning keskmine 1264 ppm. Pärast renoveerimist oli minimaalne CO₂ sisaldus õhus 352 ppm, maksimaalne 2071 ppm ja mõõtmistulemuste keskmine oli 762 ppm.



Joonis 3.9. Magamistubade CO₂ sisaldus enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

3.1.4 Siseõhu CO₂ sisalduse vastavus EVS:EN 15251 sihtarvudele

Hindamaks siseõhu CO₂ sisaldust standardi EVS-EN 15251 lähteparameetritele on analüüsitud hoone renoveerimise eelset ja renoveerimise järgset siseõhu kvaliteeti. Enne renoveerimist vastas magamistubade siseõhu CO₂ sisaldus sisekliima II klassi väärtusele 20% mõõteperioodi ajast ja III klassi väärtusele 53% ajast. Pärast renoveerimist vastas siseõhu CO₂ sisaldus sisekliima II klassi väärtusele 66% mõõteperioodi ajast ja III klassi väärtusele 97% ajast.



Joonis 3.10. Siseõhu CO₂ sisalduse kumulatiivne jaotus enne ja pärast renoveerimist.

Võrreldes renoveerimiseelset ja renoveerimisjärgset CO₂ sisaldust siseõhus saab järeldada, et ainevahetusliku CO₂ keskmine tase hoone magamistubades on märgatavalt langenud. Pärast renoveerimist teostatud CO₂ mõõtmistulemuste üldist positiivset fooni mõjub negatiivselt üks teistest kõrgema siseõhu CO₂ tasemega korter. Kuna mõõtmiste ajal oli hoonete väljatõmbesüsteemide V-1 ja V-2 õhuvooluhulka vähendatud ja mõningate korterite väljatõmbe lõppelementide seisukord ei vastanud projekteeritule, siis saab järeldada, et korterite õhuvahetuse erinevus peitub paljuski selles, et ventilatsioonisüsteem ei ole tasakaalus. Positiivse poole pealt võib välja tuua ka asjaolu, et loomuliku ventilatsiooni asendamine tsentraalse mehaanilise väljatõmbeventilatsiooniga on muutnud õhuvahetuse aasta vältel stabiilsemaks.

Peamised põhjused, miks mõõdetud saasteainete kontsentratsioon ei vasta pärast renoveerimist kogu mõõteperioodil soovitud sisekliima II klassi nõuetele, on järgmised:

- hoone kasutajapoolne õhuvooluhulga vähendamine ventilatsioonisüsteemides V-1 ja V-2;
- ventilatsioonisüsteemide V-1 ja V-2 rõhu järgi juhtimine, kasutamata filtrite mustumise kompensatsiooni funktsiooni;
- mõnede korterite väljatõmbe lõppelementide mitteasendamine tänapäevaste õhujaotajatega;
- väljatõmbe lõppelementide mitteühendamine paigaldatud plekist väljatõmbekanalitega või mõningatel juhtudel ka olemasolevate lõõridega;
- väljatõmbe lõppelementidega ruumide (köögid ja sanitaarruumid) uste alla siirdeõhu liikumiseks pilude mittetegemine või siirdeõhurestide mittepaigaldamine;
- värskeõhu radiaatorite filtrite mustumine;
- süsteemide puudulik eksploatatsiooniaegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine);
- ventilatsioonisüsteem ei ole tasakaalus;
- väljatõmbešahtid ei ole õhutihedad.

3.2 Energiatõhusus

Enne renoveerimist baseerus hoone soojusvarustus täielikult kaugküttel. Pärast renoveerimist tagastatakse väljatõmmatavast õhust osa soojust tarbevee- ja küttesüsteemi, mis vähendab kaugkütte tarbimist, kuid samal ajal suurendab elektri-
tarbimist.

Kaugkütte ja elektritarbimisest enne (2007...2009) ja pärast hoone renoveerimist (2012) annab ülevaate Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Soojuse tarbimine reaalaastatel.

Teema- plokki	Näitaja	Renoveerimiseelne periood			2012	Ühik	Märkus (2012)
		2007	2008	2009			
Üldine tarve/ toodang	Möödetud kogu KK-soojus	525	455	484	292	MWh/a	OM
	SP soojustoodang	0	0	0	170	MWh/a	OM
	SP poolt tarbitud elekter, sh ventilaatorid	0	0	0	62	MWh/a	OM
Soe tarbevesi	KK-st tarbitud SV-soojus	172	179	186	107	MWh/a	MA
	SP-ga toodetud SV-soojus	0	0	0	66	MWh/a	OM
	SP poolt tarbitud elekter SV-ks, sh ventilaatorid	0	0	0	29	MWh/a	MA
	Kogu SV-soojus	172	179	186	172	MWh/a	A
Küte ja ventilatsioon	KK-st tarbitud soojus KV-ks	353	276	298	185	MWh/a	A
	SP poolt toodetud soojus KV-ks	0	0	0	104	MWh/a	OM
	SP poolt tarbitud elekter KV-ks	0	0	0	33	MWh/a	MA
	Kogu KV-soojus	353	276	298	289	MWh/a	A

Lühendid

- OM – otseselt möödetud
- MA – mitu tarbijat on möödetud koos ning tarbimine on leitud arvutuslikul teel tarbimise jaotumise järgi
- A – arvatud varem möödetud või välja arvatud andmete põhjal
- KV – küte ja ventilatsioon
- SV – soe vesi
- SP – soojuspump
- KK – kaugküte

Soojuspumba poolt kütteks ja ventilatsiooniks kulunud ja ilmastikust sõltuv tarbitud elektri kogus leiti tarbimisandmete alusel arvutuslikul teel. Soojuspumba poolt ja ventilaatorite käitamiseks kulunud ja mitte ilmastikust sõltuva elektri koguse määramiseks võeti aluseks need kuud, millal hoone kütmist ei toimunud. Nende kuude põhjal leiti aritmeetilise keskmisena elektri kogus, mis kulub ühes kuus vee soojendamiseks ja ventilaatorite käitamiseks kütteperioodil. Viimati kirjeldatud suurus lahutati kütteperioodil igakuiselt möödetud kogu soojuspumpsüsteemi poolt tarbitavast elektri kulust, mille tulemusena leiti iga kuu kohta hinnanguline soojuspumba elektri tarbimine kütte ja ventilatsiooni osa jaoks.

Tabel 3.2. Soojuse tarbimine taandatuna normaalaastale.

Teema- plokk	Näitaja	Renoveerimiseelne periood			2012	Ühik	Märkus (2012)
		2007	2008	2009			
Tasakaalu- temperatuur/ kraadpäevad	Tasakaalutemperatuur		15,8		13,6	°C	
	Tegeliku aasta KP	3 386	3 176	3 618	3 248	°C d	A
	Normaalaasta KP		3 829		3 164	°C d	
	NA KK-soojus KV-ks	399	333	315	181	MWh/a	
Normaalaasta energiaandmed	NA SP soojustoodang KV-ks	0	0	0	101	MWh/a	
	NA SP elektritarbimine KV-ks	0	0	0	33	MWh/a	A
	NA kogu soojustarbimine KV-ks	399	333	315	282	MWh/a	
	NA kogu soojustarbimine	571	512	501	454	MWh/a	
	KV soojuse erivajadus	134	112	106	95	kWh/(m ² a)	
	SV soojuse erivajadus	58	60	63	58	kWh/(m ² a)	
	Kogu soojuse erivajadus	192	172	169	153	kWh/(m ² a)	A
	Normaalaasta eritarbimised	KV-ks tarnitud energia eritarbimine	134	112	106	72	kWh/(m ² a)
SV tarnitud energia eritarbimine		58	60	63	46	kWh/(m ² a)	
Kogu tarnitud energia eritarbimine		192	172	169	117	kWh/(m ² a)	

Lühendid

- A – arvatatud varem mõõdetud või välja arvatatud andmete põhjal
- KV – küte ja ventilatsioon
- SV – soe vesi
- SP – soojuspump
- KK – kaugküte
- KP – kraadpäev
- NA – normaalaasta

Tarbimisandmete analüüs ja hinnang on toodud järgmistes peatükkides.

3.2.1.1 Kütte- ja ventilatsioonisüsteem. Soojuse tarbimise analüüs ja hinnang

Renoveerimise käigus asendati ühetoruküttesüsteem uue, kahetorusüsteemiga ning magistraalidele keldris paigaldati uus isolatsioon (Joonis 3.11). Paigaldati uued radiaatorid koos termostaatventiilidega. Soojussõlmes vahetati vana ringluspump (Kolmeks AL-1040/2x) välja uue pumba (Grundfos Magna) vastu (Joonis 3.12). Küttesüsteemile paigaldati individuaalne küttekulude arvestamise süsteem (IKAS).



Joonis 3.11. Küttetorustik keldris enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).



Joonis 3.12. Soojussõlm enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

Loomulik ventilatsioon asendati sundväljatõmbe-ventilatsiooniga, kusjuures väljatõmmatavas õhus sisalduv soojus tagastatakse osaliselt hoone keldris asuvate soojuspumpadega (Joonis 3.13) hoone soojaveearustuse ja küttesüsteemi. Korteritest välja tõmmatav õhk kogutakse katusel oleva torusüsteemiga kokku (Joonis 3.14). Katusel on kaks soojusvahetit, mille abil kantakse väljatõmbeõhult soojust üle glükoolilahusele, mis ringleb keldris asuvate soojuspumpade ja katusel asuvate soojusvahetite vahel. Värske õhu sissevool eluruumidesse on ette nähtud läbi värskeõhuavade selliselt, et sisenev värske õhk liigub läbi vastava konstruktsiooniga terasplekkradiaatorite.



Joonis 3.13. Soojuspumbad.



Joonis 3.14. Ventilatsioonitorustik katusel.

Välisel vaatlusel täheldati ventilatsioonitorustiku kattepleki defekti, mille tulemusena satuvad sademed soojusisolatsioon (Joonis 3.15). Samuti võis täheldada, et linnud on ära lõhkunud soojusvahetite kondensaadi äravoolutoru isolatsiooni ning äravoolutoru on keskelt nõgus, mistõttu sinna jääv kondensaad võib talvel jäätuda (Joonis 3.16).



Joonis 3.15. Defektne katteplekk.



Joonis 3.16. Defektne kondensaadi äravoolutoru isolatsioon (vasakul) ja keskelt nõgus kondensaaditoru (paremal).

Olulisematest süsteemi seadmetest annab ülevaate Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Soojusvarustusseadmete andmed.

Osa nimetus	Kirjeldus
Soojussõlme automaatika	Tour & Andersson
Küttesüsteemi soojusvaheti	Cetetherm, 240 kW
Küttesüsteemi ringluspump	Grundfos Magna
Sooja tarbevee soojusvaheti	Cetetherm, 230 kW
Sooja tarbevee ringluspump	Kolmeks AP-15/2
Soojuspumbad (3 tk)	Gapsal 16
Kütte akumulatsioonipaak	500 L

Enne kütte- ja ventilatsioonisüsteemi renoveerimist oli hinnanguline kütteperioodi keskmine ventilatsiooni õhuvooluhulk $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$, mis teeb õhuvahetuse kordsuseks $0,13 \text{ h}^{-1}$. Pärast renoveerimist mõõdetud õhuvooluhulk on $1,43 \text{ m}^3/\text{s}$, mis teeb õhuvahetuse kordsuseks $0,75 \text{ h}^{-1}$.

Projekti järgi on õhuvahetuse kordsus korteri üldpinnale kahe- ja kolmetoalistes korterites 1 h^{-1} . Õhuvahetuse kordsust on suurendatud ühetoalistes korterites, lähtudes vajadusest tagada kasutuskoozumusest tekkiva niiskuse eemaldamine sanitaarruumidest ja köökidest. Ühetoaliste korterite õhuvahetuse kordsus on seega $1,2 \text{ h}^{-1}$. Sisepuhkeõhu koguste määramise aluseks on EVS-EN15251:2007 lisa B tabelis B.5 II klassile vastav sisepuhkeõhu piirväärtus elu- ja magamistubades $1,0 \text{ l}/(\text{s m}^2)$. Seega on hoone kui terviku projekteeritud õhuvahetuse kordsus $1,0 \text{ h}^{-1}$.

Mõõtmisandmete alusel arvatud tegelik õhuvahetuse kordsus on $0,25 \text{ h}^{-1}$ võrra ehk 25% väiksem projektijärgsest väärtusest.

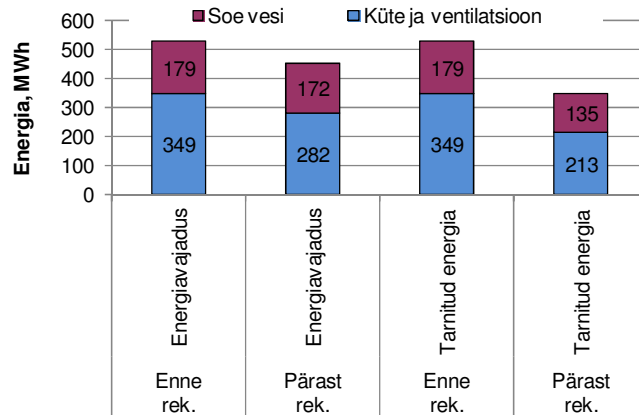
Ruumide kütteks ja ventilatsiooniks kulunud soojust vaadeldakse koos, kuna küttesüsteemiga ruumidesse antava soojuse abil soojendatakse läbi värskeõhuavade ruumi sisenevat õhku.

Võib näha, et pärast renoveerimist (Tabel 3.2) on hoone kütte- ja ventilatsiooni-süsteemi soojuse erivajadus normaalaasta järgi langenud tasemeni $95 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, millest $23 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ tagastatakse hoonesse ventilatsiooniõhust soojuspumpade abil.

Kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojusega varustamiseks tarnitava energia kogus köetava pinna kohta on langenud seega tasemeni $72 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, st varasemate aastate keskmise tasemega ($118 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) võrreldes on hinnanguline vähenemine $46 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ehk 39%. Võrreldes 2007. a on energiakoguse suhteline vähenemine olnud 47%.

Kogu tarnitud energiakogus (küte, ventilatsioon, soe vesi) köetava pinna kohta on pärast renoveerimist 117 kWh/(m²a), mis on 17 kWh/(m²a) võrra ehk 17% suurem projektiga seatud eesmärgist – 100 kWh/(m²a).

Joonis 3.17 illustreerib absoluutväärtuses energiavajadust ja tarnitud energiakoguseid enne (2007...2009 keskmine) ja pärast (2012) hoone renoveerimist.



Joonis 3.17. Energiavajaduse ja tarnitud energiakoguse võrdlus enne ja pärast hoone renoveerimist normaalaasta järgi.

3.2.1.2 Vee tarbimine ja soojendamine – analüüs ja hinnang

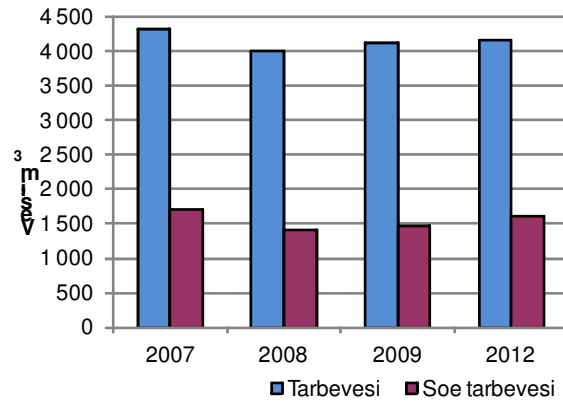
Tarbevee eritarbimine köetava pinna kohta on iseloomulik Tallinna analoogsetele korterelamutele (Tabel 3.4). Varasemate tööde põhjal võib öelda, et viimastel aastatel on Tallinna korterelamute vee eritarbimine köetava pinna kohta keskmiselt vahemikus 1...1,5 m³/(m² a).

Tabel 3.4. Veetarbimine.

Näitaja	2007	2008	2009	2012	Ühik
Tarbevesi	4 322	4 003	4 121	4 166	m ³ /a
Tarbevee eritarbimine*	1,46	1,35	1,39	1,40	m ³ /(m ² a)
Soe tarbevesi	1 707	1 407	1 460	1 610	m ³ /a
Sooja tarbevee eritarbimine	0,58	0,47	0,49	0,54	m ³ /(m ² a)
Kaugküttesoojuse kulu vee soojendamiseks	172	179	186	107	MWh/a
Soojuspumba toodetud soojus vee soojendamiseks	0	0	0	66	MWh/a
Soojuse kulu tarbitud vee soojendamiseks	99	82	85	84	MWh/a
Soojaveetorustiku kaod	73	97	101	88	MWh/a
Kogu soojus vee soojendamiseks	172	179	186	172	MWh/a
Energia erikulu vee soojendamiseks	58	60	63	58	kWh/(m ² a)

*eritarbimine on antud köetava pinna kohta

Veetarbimine on olnud erinevatel aastatel suhteliselt stabiilne (Joonis 3.18).



Joonis 3.18. Veetarbimine erinevatel aastatel.

Sooja vee tarbimise osakaal on olnud aastatel 2007 ja 2012 kogutarbimises 39%, mis on korterelamutele iseloomulik näitaja (40%). Aastatel 2008...2009 oli sooja vee tarbimise osakaal mõnevõrra väiksem – 35%.

Soojaveetorustiku jahtumiskaod on hinnatud suvekuude alusel vastavalt tarbitud sooja vee ja kaugküttesoojuse koguste alusel. 2008. ja 2009. aastal olid need suuremad võrreldes 2007. aastal tarbitud veekogusega ning seetõttu on kadude suurus kogu aasta vältel erinevatel aastatel erinev. Pärast hoone renoveerimist saadakse tarbevee valmistamise soojus osaliselt soojuspumpade abil. Enamik vajaminevast soojusest tarbitakse siiski kaugküttevõrgust.

Soojaveesüsteemile lisati renoveerimise käigus 2000 l akumulatsioonipaak, mille eesmärgiks on paremini ära kasutada soojuspumba toodetavat soojust vee soojendamiseks.

Renoveerimise käigus parendati ka soojaveetorustiku isolatsiooni (Joonis 3.19).



Joonis 3.19. Veetorustik enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

3.2.1.3 Elektritarbimise analüüs ja hinnang

Korterite elektri eritarbimine köetava pinna kohta on väiksem kui korterelamute pikaajaline statistiline keskmine – 35...40 kWh/(m²a). Kuna toiduvalmistamiseks kasutatakse osaliselt ka maagaasi, siis on olmeelektri tarbimine selle võrra väiksem.

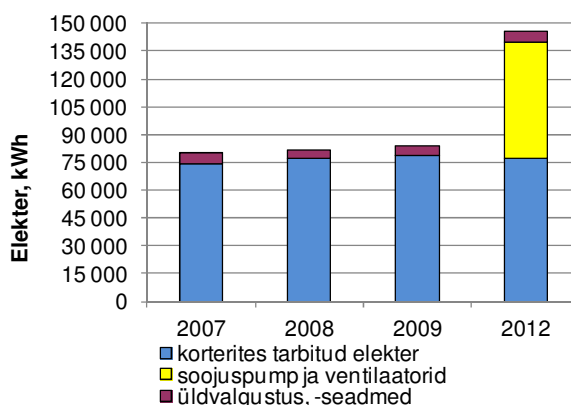
Üldelektri eritarbimine on iseloomulik liftideta korterelamutele (1...2,5 kWh/(m²a)).

Tabel 3.5. Elektritarbimine.

Näitaja	2006	2007	2008	2012	Ühik
Kogu elektritarbimine kokku	80 455	81 542	83 988	146 103	kWh/a
Korterites tarbitud elekter	74 475	76 864	78 474	77 534	kWh/a
Üldelekter	5 980	4 678	5 514	68 569	kWh/a
sh üldvalgustus, -seadmed	5 980	4 678	5 514	6 227	kWh/a
sh soojuspump ja ventilaatorid	0	0	0	62 342	kWh/a
Kogu elektri eritarbimine*	27,1	27,5	28,3	49,2	kWh/(m ² a)
Korterite elektri eritarbimine	25,1	25,9	26,4	26,1	kWh/(m ² a)
Üldelektri eritarbimine kõetava pinna kohta	2,0	1,6	1,9	23,1	kWh/(m ² a)
sh üldvalgustus ja -seadmed	2,0	1,6	1,9	2,1	kWh/(m ² a)
sh soojuspump ja ventilaatorid	0,0	0,0	0,0	21,0	kWh/(m ² a)

*eritarbimine on antud kõetava pinna kohta

Pärast hoone renoveerimist on lisandunud elektri tarbijatena ventilaatorid ning soojuspumbad (Joonis 3.20). Uute tarbijate lisandumisega on elektritarbimine kasvanud 1,8 korda.



Joonis 3.20. Elektritarbimine ja jaotus erinevatel aastatel.

Sõltumata mehaanilise ventilatsiooni lahendusest, on ventilaatorite elektrikulu nõu paratamatus, et tagada soovitud sisekliima.¹ Loomuliku ventilatsiooniga ei ole võimalik üldjuhul mõistlike kulutustega soovitud sisekliimat tagada.

Soojuspumpade käitamiseks kulunud elektri abil tagastatakse osa väljatõmmatavas õhus sisalduvat soojust. Tagastatud soojuse ja elektritarbimise võrra väheneb kaugkütte tarbimine.

¹ EVS-EN 15251:2007. Sisekeskkonna algandmed hoonete energiatõhususe projekteerimiseks ja hindamiseks, lähtudes siseõhu kvaliteedist, soojuslikust mugavusest, valgustusest ja akustikast.

3.2.1.4 Maagaasi tarbimise analüüs ja hinnang

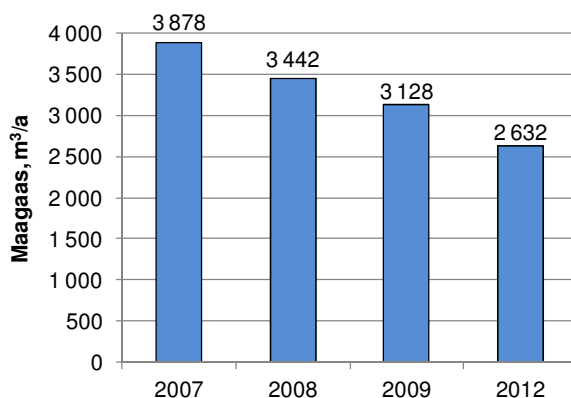
Maagaasi (Tabel 3.6) tarbitakse toiduvalmistamiseks ning gaasikogused sõltuvalt sellest, kas elanikud kasutavad gaasi- või elektripliiti ning tarbimisharjumustest.

Tabel 3.6. Maagaasi tarbimine.

Näitaja	2007	2008	2009	2012	Ühik
Maagaasi tarbimine	3 878	3 442	3 128	2 632	m ³ /a
Maagaasienergia	36	32	29	24	MWh/a
Maagaasi eritarbimine*	1,31	1,16	1,05	0,89	m ³ /(m ² a)
Maagaasi eritarbimine	12,15	10,79	9,80	8,25	kWh/(m ² a)

*eritarbimine on antud kōetava pinna kohta

Maagaasi tarbimine on näidanud viimastel aastatel langustendentsi (Joonis 3.21), mis viitab gaasi vähemale kasutamisele toiduvalmistamisel. Samas ei ole korterite elektri eritarbimine oluliselt kasvanud.



Joonis 3.21. Maagaasi tarbimine erinevatel aastatel.

3.2.2 Soojuspumpsüsteemi töö ning soojustagastuse analüüs

3.2.2.1 Olemasoleva süsteemi probleemistik

Pärast renoveerimist on normaalaasta järgi kogu soojusvajaduse kütteks, ventilatsiooniks ja sooja tarbevee valmistamiseks 454 MWh. Vastav kaugkütte tarbimine on 288 MWh, mis moodustab kogu soojuse vajadusest 63 %. Teise analoogse süsteemi korral on vastavaks näitajaks saavutatud 50 % ehk teisisõnu toodetakse võrdluse aluseks oleva maja korral ventilatsioonõhust soojust tagastava soojuspumpsüsteemi abil hoone vajaduseks rohkem soojust võrreldes Sõpruse pst 244 hoonega.

Sõpruse pst 244 hoone korral toodetakse soojuspumpsüsteemiga ühes kuus keskmiselt 4-5 MWh soojust sooja tarbevee valmistamiseks. Teise analoogse süsteemi korral on vastav näitaja 10-13 MWh/kuus.

Analüüsidest hoone energiabilanssi selgub, et soojuspumba osakaal suvises sooja tarbevee toodangus on ca 30 %. See osakaal jääb alla nii varasemalt uuritud süsteemidele kui ka antud hoone põhiprojektis toodule. Selline olukord mõjutab paljuski ka soojuspumba osakaalu kogu aasta soojustoodangus.

Lisaks soojuspumpsüsteemi madala efektiivsusega tööle on eksploatatsiooni käigus esile kerkinud probleeme ka värskõhu radiaatorite negatiivse mõjuga elanike soojuslikule mugavustundele. Peamiselt mõeldakse selle all värskõhu radiaatoritest tulevat külma

välisõhu juga. Käesoleva uuringu raames on nimetatud probleeme ning nende tekkepõhjuseid analüüsitud ning pakutud välja lahendused nende kitsaskohtade likvideerimiseks.

3.2.2.2 Õhuvooluhulkade kordusmõõtmiste tulemused

Teostatud õhuvooluhulkade kordusmõõtmised kinnitavad hüpoteesi, et eksploatatsiooni käigus on korterite õhuvahetus võrreldes projektijärgsete väärtustega vähenenud. Hoone ventilatsiooniprojekti kohaselt on antud mõõtepunktide summaarne õhuvooluhulk 2052 l/s, ehitusjärgse mõõteprotokolli kohaselt on summaarne õhuvooluhulk 2158 l/s ja kordusmõõtmiste kohaselt on õhuvooluhulk langenud tulemuseni 1431 l/s. Lisaks õhuvooluhulkade mõõtetulemustele (vt. Tabel 3.7) on töös välja toodud ka tegeliku õhuvahetuse ja projekteeritud õhuvahetuse erinevus. Mõõtetulemustest selgub, et õhuvahetuse erinevus projektväärtustest jääb vahemikku -74,7 %...+20,4 %. Täpsuse huvides võib rääkida ka ehitusaegse mõõdistuse käigus teostatud mõõtmistest, sellisel juhul jäävad õhuvahetuse mõõtmistulemuste erinevused antud punktides vahemikku -77,4 %...+14,8 %. Teostatud õhuvooluhulkade kordusmõõtmised kinnitavad, et eksploatatsiooni käigus on süsteemis õhuvooluhulk langenud ja süsteem ei ole enam tasakaalus.

Tabel 3.7. Õhuvooluhulkade mõõdistusprotokoll

Mõõtepunkt	Element	Asend	Rõhkude vahe, (Pa)	Tegelik õhuhulk mõõtepunktis, (l/s)	Tegelik õhuhulk kokku, (l/s)	Proj. õhuhulk, (l/s)	Õhuhulga erinevus nõutust, %	Õhuhulga erinevus ehituse käigus mõõdistust, %
601	IRIS 200	1	10	140	140	125	12,0	
601	IRIS 200	1	4	88,4	88,4	125	-29,3	-36,9
602	IRIS 200	4,5	45	107	107	90	18,9	
602	IRIS 200	5	4	28	28	90	-68,9	-73,8
603	IRIS 200	1	7	117	117	125	-6,4	
603	IRIS 200	1	4	88,4	88,4	125	-29,3	-24,4
604	IRIS 200	8	68	41	41	35	17,1	
604	IRIS 200	8	45	33,5	33,5	35	-4,3	-18,3
605	IRIS 200	8	75	43	43	40	7,5	
605	IRIS 200	8	36	30	30	40	-25,0	-30,2
606	IRIS 200	2,5	25	135	135	125	8,0	
606	IRIS 200	2,5	22	129	129	125	3,2	-4,4
607	IRIS 200	2	13	111	111	125	-11,2	
607	IRIS 200	2	17	127,4	127,4	125	1,9	14,8
608	IRIS 200	7	24	41	41	35	17,1	
608	IRIS 200	7	6	20,6	20,6	35	-41,1	-49,8
609	IRIS 125	4	24	23	23	23	0,0	
609	IRIS 125	4	14	17,6	17,6	23	-23,5	-23,5
610	IRIS 125	2	9	27	27	23	17,4	
610	IRIS 125	1,5	6	27,7	27,7	23	20,4	2,6
611	IRIS 200	6	50	78	78	85	-8,2	
611	IRIS 200	6	38	67,8	67,8	85	-20,2	-13,1
612	IRIS 200	8	68	41	41	40	2,5	

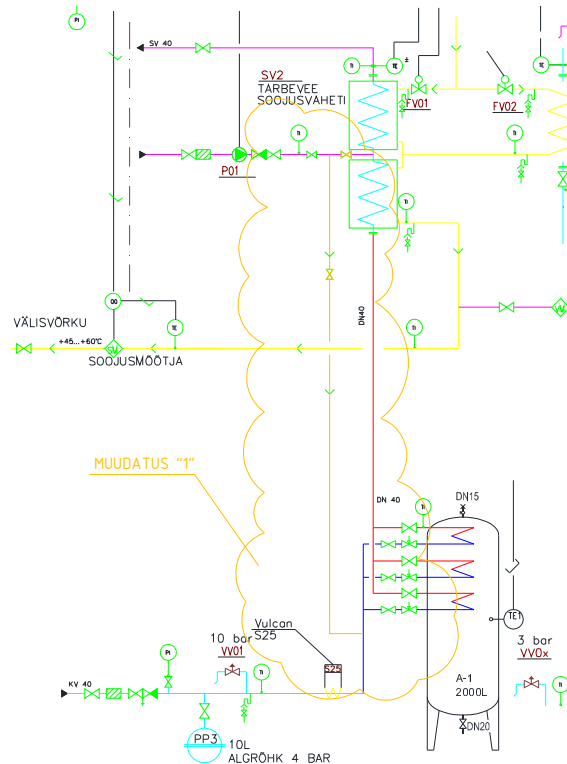
612	IRIS 200	8	49	35	35	40	-12,5	-14,6
613	IRIS 200	5,5	76	107	107	125	-14,4	
613	IRIS 200	6	55	81,6	81,6	125	-34,7	-23,7
614	IRIS 200	8	63	40	40	35	14,3	
614	IRIS 200	8	5	11,2	11,2	35	-68,0	-72,0
615	IRIS 200	1	11	147	147	125	17,6	
615	IRIS 200	1	3	76,6	76,6	125	-38,7	-47,9
616	IRIS 200	7,5	38	40	40	35	14,3	
616	IRIS 200	7,5	15	26	26	35	-25,7	-35,0
617	IRIS 200	2	18	131	131	125	4,8	
617	IRIS 200	2	6	75,7	75,7	125	-39,4	-42,2
618	IRIS 200	8	86	40	40	40	0,0	
618	IRIS 200	8	20	22,4	22,4	40	-44,0	-44,0
619	IRIS 200	8	70	42	42	35	20,0	
619	IRIS 200	8	28	26,5	26,5	35	-24,3	-36,9
620	IRIS 200	1	10	140	140	125	12,0	
620	IRIS 200	5	40	94,1	94,1	125	-24,7	-32,8
621	IRIS 200	4,5	41	101	101	90	12,2	
621	IRIS 200	4,5	2	22,8	22,8	90	-74,7	-77,4
622	IRIS 200	1	11	147	147	125	17,6	
622	IRIS 200	1,5	9	112,7	112,7	125	-9,8	-23,3
623	IRIS 125	2	9	27	27	23	17,4	
623	IRIS 125	2	3	15,2	15,2	23	-33,9	-43,7
624	IRIS 125	2	6	22	22	23	-4,3	
624	IRIS 125	2	1	8,8	8,8	23	-61,7	-60,0
625	IRIS 200	8	60	39	39	35	11,4	
625	IRIS 200	8	26	25,5	25,5	35	-27,1	-34,6
626	IRIS 200	5	69	116	116	125	-7,2	
626	IRIS 200	5	27	72,7	72,7	125	-41,8	-37,3
627	IRIS 200	7,5	38	40	40	40	0,0	
627	IRIS 200	7,5	2	9,5	9,5	40	-76,3	-76,3
628	IRIS 200	6	46	75	75	75	0,0	
628	IRIS 200	6	26	56,1	56,1	75	-25,2	-25,2

3.2.2.3 Uuringu käigus tehtud parandusettepanekud

Seoses soojuspumpsüsteemi ebaefektiivse suvise toimimisega pakkus uuringut teostanud teadusrühm välja idee Sõpruse pst 244 soojussõlme ümberehitamiseks. Soojussõlme ümberehitamiseks tehtud muudatusettepanek on toodud Joonis 3.22. Muudatusettepanek leidis toetust ja teostati 2013. aasta septembi lõpus. Muudatustööde käigus tehti soojussõlmes järgmised tööd:

- teostati toruühendus sooja tarbevee tsirkulatsiooni ja sooja tarbevee mahtveesoojendi vahele;
- muudatustööd viidi ellu vastavalt Joonis 3.22 toodud viisil;
- tööde käigus kontrolliti tarbevee tsirkulatsiooni voluhulkasid ja tsirkulatsioonipumba sobivust korrigeeritud sõlme;
- muudatustööde käigus võeti aluseks, et tööd ei halvendaks olemasoleva soojussõlme toimimist;

- kõik tööd ja kasutatavad materjalid kooskõlastati soojussõlme põhiprojekti teostajaga.



Joonis 3.22. Sõpruse 244 soojussõlme muudatusettepanek nr 1

3.2.2.4 Soojuspumpsüsteemi uuringu tulemused

Soojuspumpade töö detailseks analüüsimiseks vaatleme neid erinevatel tööperioodidel (vt. Tabel 3.8). Seda on tehtud eelkõige seetõttu, et näidata erinevatel perioodidel soojuspumba töös esinenud probleeme. Enne muudatusettepanek nr 1 elluviimist tootis soojuspump 34 % sooja tarbevee ja sooja tarbevee tsirkulatsioonile kulunud energiast. Pärast muudatusettepaneku elluviimist tõusis soojuspumba osakaal sooja tarbevee tootmisel 50 %-ni kogu sooja tarbevee ja sooja tarbevee tsirkulatsioonile kulunud energiast. Tänu muudatusettepanek nr 1 teostamisele saadi soojatarbevee süsteemi anda 38 % enam soojust.

Vaadeldud perioodidel oli süsteemi töös kõige suuremaks probleemiks soojussõlme kütteventiilide seadistus. Mõõtmisperioodi alguses läbi viidud kontrolli käigus seadistati süsteem tootma nii sooja tarbevett kui ka küttevett. Eksploatatsiooni käigus oli aga soojussõlme seadistust muudetud ja küttesüsteemi tootsid soojuspumbad soojust väga minimaalselt. Lisaks olid mõõteperioodi vältel soojussõlmes kellegi poolt teostatud omavolilised muudatused korrigeerinud ka kütte soojusarvestit läbiva vedeliku voolusuunda, mis tekitas olukorra, kus süsteem ei saanudki küttesüsteemi soojust üle kanda ja mõõtetulemusi fikseerida. Samuti tuleb ära märkida, et küttesüsteemi soojusenergiat tootma pidanud soojuspump SP-2 oli mõõteperioodi vältel rikkes ning süsteemi soojust ei tootnud. Sellest tulenevalt on soojuspumpade toodang kütteperioodi vältel tugevalt alla planeeritu ja süsteemi lõpliku efektiivsuse saab välja tuua pärast SP-2 parendustöid.

Tabel 3.8. Sooja tarbevee tootmine väljatõmbeõhu soojuspumbaga

Jrk nr	Period 1	Period 2 (kütteperioodi väline)	Period 3 (kütteperiood)	Period 4
Perioodi alguskuupäev	10.08.2013	24.09.2013	2.10.2013	10.08.2013
Perioodi lõppkuupäev	23.09.2013	1.10.2013	1.12.2013	8.04.2014
Perioodi pikkus, päeva	44	7	60	241
Kaugkütte soojus perioodil, kWh	12110	1660	37448	217709
Soojuspumba elektritarve perioodil, kWh	2352	640	6856	15987
Soojuspumba poolt toodetud tarbevee soojus, kWh	6347	1630	12360	24361
Soojuspumba poolt toodetud tarbevee soojus 30 päeva pikkuse perioodile taandatult, kWh	4328	6986	6180	3032
Perioodi COP	2,70	2,55	1,80	1,52
Perioodi soojuspumba osatähtsus kogu sooja tarbevee ja sooja tarbevee tsirkulatsioonile kulunud energiast	34%	50%	25%	10%
Märkus	Enne parandus- ettepanek nr 1 teostamist	Pärast parandus- ettepanek nr 1 teostamist	Kütte- perioodil	Eba- korrektselt seadistatud süsteemi korral

3.2.3 Värskeõhu radiaatorid

3.2.3.1 Värskeõhu radiaatoritega süsteemi probleemistik

Eestis on värskeõhu radiaatoritega süsteeme paigaldatud mitmetesse renoveeritud kortermajadesse. Käesolev uuringu eesmärgiks oli leida vastus Sõpruse pst 244 kortermaja elanike poolt mainitud soojusliku mugavuse probleemide ulatuse ja tekkepõhjuste kohta. Samuti üritati leida probleemidele konkreetsed lahendused. Töö käigus küsitleti probleemsetes korterites elavaid inimesi ning vaadeldi värskeõhu radiaatoritega süsteemi erinevaid komponente. Põhiline ekspluatatsiooni käigus esile kerkinud probleem on seotud soojusliku mugavuse tagamisega. Eelkõige on mainitud probleemid seotud õhuvõtukanali madalate temperatuuridega ja tihendamata seinaläbiviikude paigaldamisega. Sageli langeb vale paigalduse tulemusena nii sissepuhutava õhu temperatuur kui ka õhukanali temperatuur (vt. Joonis 3.23). Seadet paigaldades peab pöörama tähelepanu fassaadi rajatava õhuvõtukanali isoleerimisele. Jättes tarindisse isoleerimata avad, milles välisõhk liigub suhteliselt vabalt, luuakse sobiv keskkond kondensaadi ja seeläbi niiskuskahjustuste tekkimisele ja hallituse vohamisele.

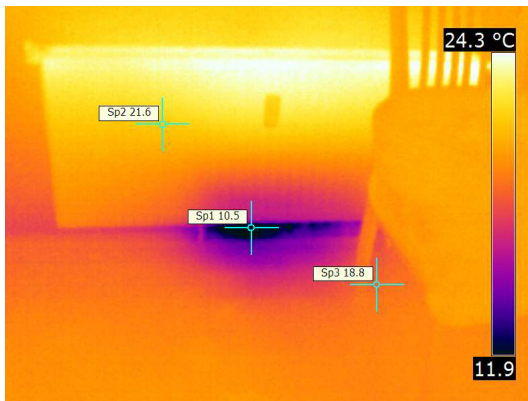
Töö käigus avastati korterites ja hoone soojussõlmes alljärgnevad probleemid:

- mõningates korterites ei olnud seinakanal paigaldatud täpselt puuritud ventilatsioonitava ette;
- küttesüsteem ei töötanud arvestuslikul küttegaafikul;
- korterite õhuvahetus varieerus suurtes piirides;
- õhuvõtukanali madal temperatuur;

- paljudes korterites, kus inimesed probleemi kurtsid, olid radiaatorite termostaadid keeratud miinimumini.

Loetletud probleemide tulemuseks oli seadme ebakvaliteetne töö ja madalad sissepuhketemperatuurid. Korterites, kus radiaatorite termostaadid olid keeratud miinimumini, tekkis olukord, kus radiaator ei soojendanud enam sissepuhkeõhku üles. See omakorda tekitas külma sissepuhkeõhu joa, mis puhus töötsooni ning tekitas elanikes ebamugavustunde. Probleemi lahenduseks on termostaatventiili avamine. Kuna korteritesse on paigaldatud ka individuaalne kulumõõtmissüsteem, siis ei soovi paljud elanikud termostaatventiile aga kokkuhoiu eesmärgil kõrgemale temperatuurile seadistada. Kuna ventilatsiooniõhu soojendamiseks võib kuluda kuni 70 % radiaatori soojusvõimsusest, siis on selle süsteemi puhul termostaatventiili kasutamine tavaradiaatorist erinev ning juba väiksemgi termostaadi asendi muutmine võib viia külma õhujoa tekkeni.

Värskeõhu radiaatoritega süsteemi puhul tuleb arvestada ka seda, et antud hoone puhul kasutatav ilmaennustusel põhinev kütteväljastuse printsiip võib teatud olukorras värske õhu sissepuhketemperatuuri oluliselt langetada. Seda seetõttu, et ilmaennustusel põhineva süsteemi korral ei arvestata tegeliku välisõhu temperatuuriga vaid kasutatakse ilmaennustusel põhinevat arvutuslikku välisõhu temperatuuri. Samuti tuleb värskeõhu radiaatoritega süsteemi puhul arvesse võtta, et arvestusliku küttegraafiku langetamine mõjutab samuti oluliselt süsteemi tööd. Kuna antud uuringust selgub, et korterite õhuvahetus varieerub suurtes piirides, siis tähendab see sisuliselt seda, et soovitud siseõhu temperatuuri saavutamiseks võib tänu välisõhu soojendamisele olla vajalik kõrgema termostaatventiili seadeväärtuse kasutamine. Viimane järeldus kehtib vaid juhul, kui radiaator on ebakorrektselt dimensioneeritud või on arvestuslikku küttegraafikut alandatud. Nagu juba mainitud, siis Sõpruse pst 244 hoone puhul oli arvestuslikku küttegraafikut alandatud. Kõige lihtsam lahendus kirjeldatud probleemide lahendamiseks on küttegraafiku mõningane tõstmine. Samas ei tähendatud käesolevas hoones õigesti paigaldatud värskeõhu radiaatoritest termograafia tegemisel olulisi probleeme madalate sissepuhketemperatuuridega (vt. Joonis 3.23).



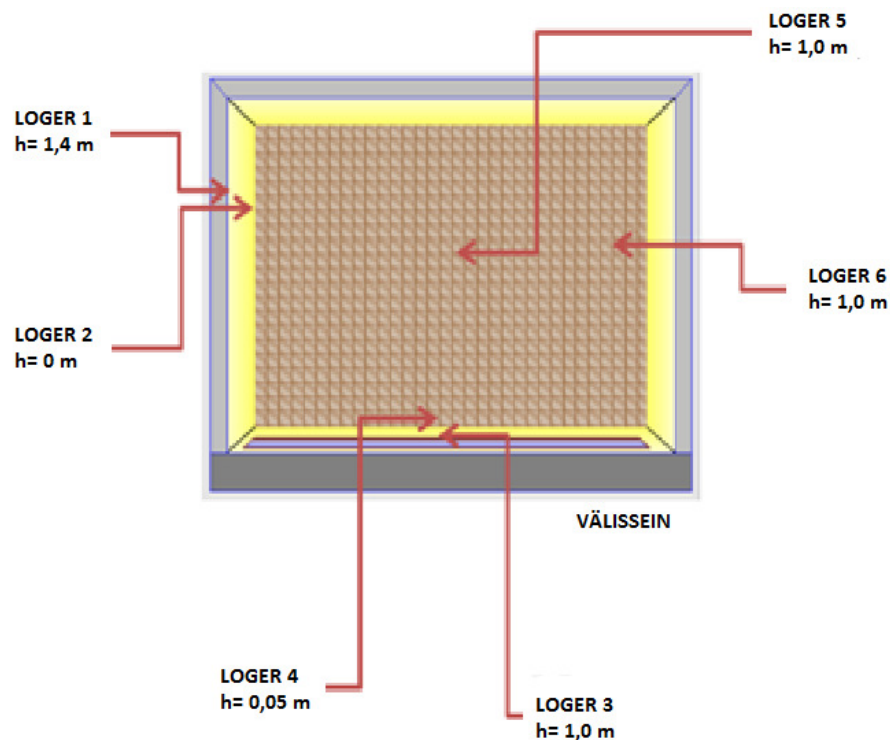
Joonis 3.23. Sõpruse pst 244 värskeõhu radiaatorite termograafia mõõtetulemused välisõhutemperatuuril -6 °C.

Joonis 3.25 on kujutatud värskeõhu radiaatorit läbiva sissepuhkeõhu ja õhuvõtukanali pinnatemperatuuri kumulatiivne jaotus. Selgub, et värskeõhu radiaatorite puhul on probleemseks kohaks radiaatori all paiknev õhuvõtukanal. Samuti võib tähendada asjaolu, et sissepuhkeõhu temperatuur on ruumiõhu temperatuurist mõnevõrra madalam. Näiteks sissepuhketemperatuur 16 °C on tagatud 83 % ajast. Seinakanali pinnatemperatuur ületas 16 °C sissepuhkeõhu taseme 2,6 % ajast, kusjuures 4 % ajast jäi vastav temperatuur alla 10 °C.

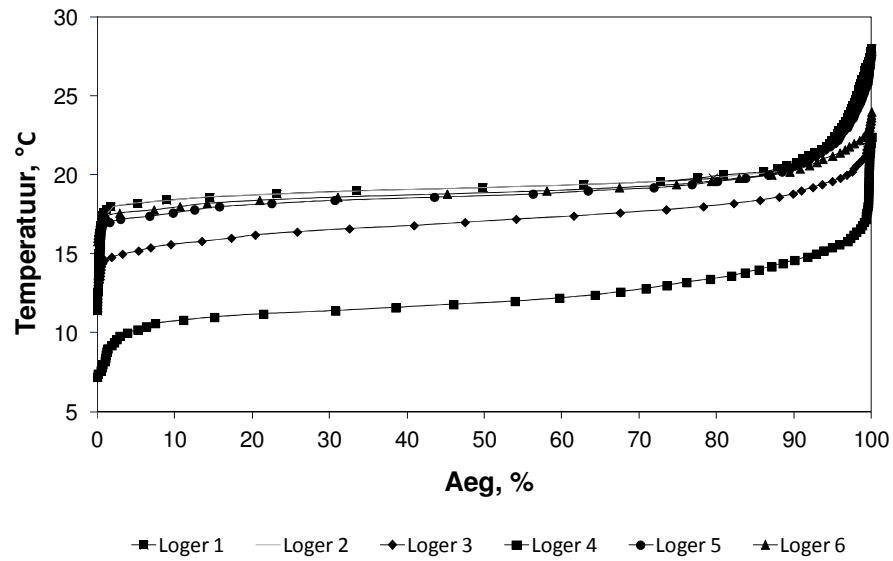
Vähemalt sisekliima III klassi parameetritele vastab temperatuur 93 % ajast. Sissepuhkeõhu madalaimad temperatuurid ei ole tingitud värskeõhu radiaatori toimimisest. Madalaimad ruumiõhutemperatuurid (<16°C) esinesid tubade tuulutamise

ajal, sealjuures sissepuhkeõhu temperatuur tavapärasest ei erinenud. Keskmine sissepuhkeõhu ja ruumiõhu temperatuuri erinevus on 2-3 °C. Joonis 3.25 selgitab, et õhuvõtukanali pinnatemperatuur on välisõhu temperatuurist lineaarses sõltuvuses. Erinevate ruumiõhu temperatuuride puhul sõltuvus välistemperatuurist puudub. Soojemate ilmade korral küttegaafikut alandatakse. Radiaatorisse jõudev õhk on välistemperatuuri arvelt soojem, kuid radiaatoris ringleva soojuskandja parameetritest ei piisa, et välisõhku soovitud tasemele soojendada. Sellest asjaolust lähtuvalt võib liiga madala küttegaafiku korral tekkida probleeme kütteperioodi alguse- ja lõpuperioodidel kui välistemperatuur on veel/juba liiga madal otse ruumi juhtimiseks, kuid küttesüsteem ei tööta enam/veel piisava võimsusega.

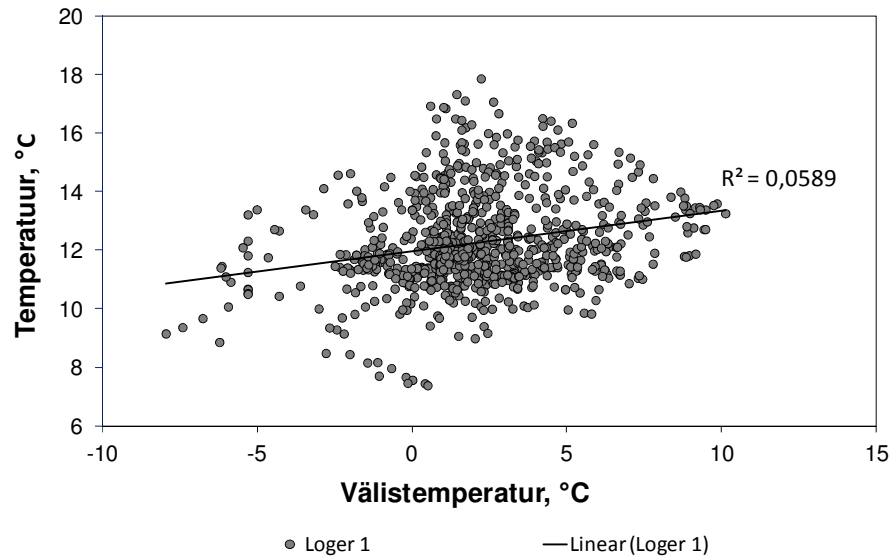
Ruumis, kus sisetemperatuuri mõõtmiseid teostati, hoiti termostaatventiili abil taotluslikult suhteliselt madalat temperatuuri (sisetemperatuur 19 °C). See oli vajalik selleks, et monitoorida värskeõhu radiaatori tööd tavaolukorrast ekstreemsemates tingimustes. Mõõtmisperioodi vältel termostaadi asendit ei muudetud.



Joonis 3.24. Logerite ruumis paiknemise skeem



Joonis 3.25. Mõõdetud temperatuuride kumulatiivne jaotus



Joonis 3.26. Õhuvõtukanali pinnatemperatuuri sõltuvus välisõhu temperatuurist

3.2.4 Piirdetarindid

Soojuskadu läbi välispiirete enne hoone renoveerimist oli 308 MWh/a (Tabel 3.9).

Tabel 3.9. Piirded enne hoone renoveerimist.

Piirdetarind	Pindala m ²	Soojusläbivus W/(m ² K)	Soojuserikadu W/K	Soojuskadu MWh/a
Sein	1 091	0,81	884	81,2
Katus	623	0,69	429	39,4
Aknad ja rõduksed	533	1,85	989	90,8
Välisüksed	17	1,10	19	1,7
Kelder		-		28,6
	Pikkus m	Joonsoojusläbivus W/(mK)	Soojuserikadu W/K	Soojuskadu MWh/a
Külmasillad	2 892	0,25	716	65,8
Kokku				308

Hinnanguline soojuskadu läbi välispiirete pärast hoone renoveerimist on 130 MWh/a (Tabel 3.10), st soojuskadu läbi välispiirete on vähenenud 178 MWh võrra ehk 58%.

Tabel 3.10. Piirded pärast hoone renoveerimist.

Piirdetarind	Pindala m ²	Soojusläbivus W/(m ² K)	Soojuserikadu W/K	Soojuskadu MWh/a
Sein	1 091	0,17	189	14,3
Katus	623	0,11	70	5,3
Aknad ja rõduksed	533	1,40	747	56,7
Välisüksed	17	1,10	19	1,4
Kelder		-		19,5
	Pikkus m	Joonsoojusläbivus W/(mK)	Soojuserikadu W/K	Soojuskadu MWh/a
Külmasillad	2 892	0,15	429	32,6
Kokku				130

Erinevatest külmasildadest enne ja pärast hoone renoveerimist annab ülevaate Tabel 3.11.

Tabel 3.11. Külmasillad enne ja pärast hoone renoveerimist.

Külmasild	Pikkus m	Joonsoojusläbivus		Soojuserikadu	
		enne renoveerimist W/(mK)	pärast renoveerimist W/(mK)	enne renoveerimist W/K	pärast renoveerimist W/K
Välisseinte nurk	54,0	0,70	0,15	37,8	8,1
Välissein/ sisesein	567,0	0,30	0,01	170,1	5,7
Välissein/ vahelagi	302,4	0,50	0,01	151,2	3,0
Välissein/ keldrilagi	117,2	0,50	0,06	58,6	7,0
Välissein/ rõdu	144,0	0,20	0,45	28,8	64,8
Katus/ välissein 1	106,0	0,55	0,20	58,3	21,2
Katus/ välissein 2	22,4	0,25	0,17	5,6	3,8
Aken/välissein	1267,2	0,13	0,20	164,7	253,4
Rõduuks/ välissein	278,4	0,13	0,20	36,2	55,7
Välisuks/ välissein	33,2	0,13	0,20	4,3	6,6
Kokku/ kaalutud keskmine	2891,8	0,25	0,15	715,6	429,4

Sõpruse pst 244, Tallinn korterelamu renoveerimisjärgne uuring

vahearuanne

3.2.5 Soojusbilanss

Hoonele on koostatud soojusbilanss enne ja pärast renoveerimist (Tabel 3.12 ja Tabel 3.13). Mõlemal juhul on ära näidatud nii soojusallikad kui ka soojuskao komponendid.

Tabel 3.12. Soojusallikad enne ja pärast hoone renoveerimist.

	Ühik	Utiliseeritud vabasoojused				Soojus ja elekter							Kokku
		Inimesed	Seadmed ja valgustus	Maagaas	Päike	SV ringluskaod kütteks (kaugküte)	KV (kaugküte)	KV (soojuspumba elekter)	SV (kaugküte)	SV (soojuspumba elekter, sh ventilaatorid)	Tagastatud soojus*	Utiliseeritud soojus kütteks	
Enne ren-st	MWh	21,0	37,6	14,5	40,2	13,6	349	0	179	0	0	-13,6	641
	kWh/(m ² a)	7,1	12,7	4,9	13,5	4,6	117,6	0,0	60,3	0,0	0,0	-4,6	216
Pärast ren-st	MWh	19,0	33,8	10,0	37,1	13,5	181	33	107	29	105	-13,5	554
	kWh/(m ² a)	6,4	11,4	3,4	12,5	4,6	60,8	11,0	35,9	9,7	35,5	-4,6	187

* Kuna soojuspumba poolt sooja vee tootmiseks kulutatud elekter ja ventilaatorite poolt tarbitud elekter on koos, siis tagastatud soojus on bilansi tasakaalu ja matemaatika seisukohalt ventilaatorite poolt tarbitava elektri võrra väiksem, st tegelik tagastatav soojuse kogus on ventilaatorite elektri tarbimise võrra suurem. Täpsemalt on soojuspumpade toimivus analüüsitud uuringu lõpparuandes.

Tabel 3.13. Soojuskadu enne ja pärast renoveerimist.

	Ühik	Seinad	Katus	Kelder	Aknad/rõduuksed	Välisüksed	Külmasillad	Infiltratsioon	Ventilatsioon	Soe vesi	Kokku
Enne ren-st	MWh	111	54	39	124	2	90	17	40	165	641
	kWh/(m ² a)	37	18	13	42	1	30	6	13	56	216
Pärast ren-st	MWh	20	7	27	80	2	46	14	199	159	554
	kWh/(m ² a)	7	2	9	27	1	15	5	67	54	187

3.2.6 Primaarenergia ja CO₂-heide

Primaarenergia vajadus ja CO₂-heide on arvatud olukorrale pärast hoone renoveerimist. Vaadeldakse erinevaid alternatiivseid soojusvarustuse ja ventilatsioonisüsteemi lahendusi (Tabel 3.14):

- hoone soojusvarustus on 100% kaugkütel ning hoones toimiks mehaaniline väljatõmme (alternatiiv);
- hoone soojusvarustus baseerub osaliselt kaugkütel ning osaliselt väljatõmbeõhust soojuse tagastusel soojuspumpadega (tegelik).

Selline võrdlus aitab hinnata CO₂ ja primaarenergia vajadusi erinevate kütte-ventilatsiooni ja sooja tarbevee lahenduste puhul, kusjuures hoone välispiirete konfiguratsioon on mõlemal juhul sama.

Tabel 3.14. Primaarenergia ja CO₂-heite võrdlus.

Teemaplokk	Näitaja	Ühik	100% kaugküte	Kaugküte+SP
Kaugküte	Kaugkütte tarbimine	MWh/a	454	288
	Kaugküttevõrgu suhtelised kaod	%	16	16
	Katlamaja aastakeskmise kasutegur	%	92	92
	Primaarenergia	MWh/a	587	373
	CO ₂ -heide	t/a	126	80
Elekter	Elektritarbimine	MWh/a	15	62
	Elektrivõrgu suhtelised kaod	%	7,1	7,1
	Elektritootmise kasutegur	%	35	35
	Primaarenergia	MWh/a	46	191
	CO ₂ emissioonitegur	t/MWh _{el}	1,01	1,01
Kokku	CO ₂ -heide	t/a	16	67
	Primaarenergia	MWh/a	634	563
	CO ₂ -heide	t/a	143	148

Arvutustulemuste põhjal võib näha, et hoones rakendatud soojusvarustuse ja ventilatsioonisüsteemi lahendus on primaarenergia tarbimise seisukohalt eelistatum võrreldes süsteemiga, kus soojuspumpasid ei rakendataks väljatõmbeõhust soojuse tagastamiseks. Teisest küljest, arvestades Eestis elektritootmise süsteemi, on CO₂-heide soojuspumpade kasutamisel suurem. Siiski tuleneb see Eesti Vabariigi energiatootmise omapärasest ning CO₂-heide sõltub oluliselt elektritootmiseks kasutatavatest energiakandjatest (kütustest) ja riigiti on see erinev.

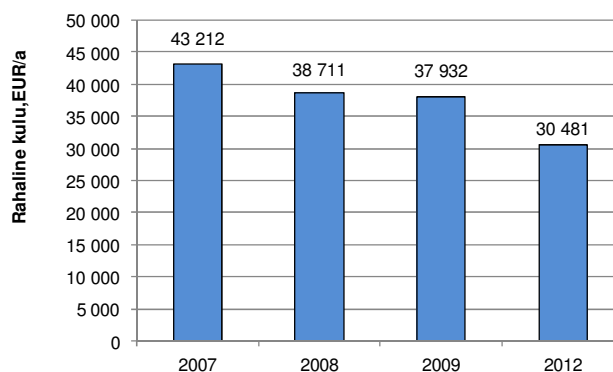
3.2.7 Majandusarvutused

Tabel 3.15 iseloomustab erinevatel aastatel rahalisi kulutusi soojusele nii normaalaasta järgi kui arvestades tänapäevaseid energiakandjate maksumusi. Praeguste energiakandjate hindade ja erinevate aastate tarbimiste alusel leitud rahalised kulud näitavad, et võrreldes 2007. a on hinnanguline kulude suhteline vähenemine 29% (Joonis 3.27).

Tabel 3.15. Rahaline kulu soojusele.

Näitaja	Renoveerimiseelne periood			2012	Ühik
	2007	2008	2009		
Kaugküttesoojuse hind	35	53	61	76	€/MWh
Soojuspumbaga toodetud soojuse hind	0	0	0	49*	€/MWh
Kulutused soojusele reaalaasta hindadega	20 013	27 331	30 478	30 481	€/a
Kulutused soojusele praeguste hindadega	43 212	38 711	37 932	30 481	€/a

*Sisaldab ka ventilaatorite poolt tarbitud elektrit



Joonis 3.27. Kulutused soojusele normaalaasta järgi praeguste energiahindade alusel.

Renoveerimistöde maksumuse ning energiatarbe järgi on tehtud majandusarvutused 2013. a kehtivate hindadega hindamaks renoveerimise majanduslikku tasuvust. Lähteandmetest annab ülevaate Tabel 3.16.

Tabel 3.16. Majandusarvutuste lähteandmed.

Näitaja	Näidismaja tingimused	35% toetust	Ühik
Investeeringu kestus	20	20	a
Tööde maksumus	450 000	450 000	€
Toetus	208 504	157 500	€
Laen	241 496	292 500	€
Investeering (ei arvesta toetust)	241 496	292 500	€
Laenuintress	1	4	%
Diskonteerimistegur	3	3	%
Kaugkütte hind	79	79	€/MWh
Kaugkütte hinna suhteline muutus aastas	7,6	7,6	%
Aastane kaugkütte tarbimine enne investeeringut	528	528	MWh/a
Aastane kaugkütte tarbimine pärast investeeringut	288	288	MWh/a
Elektrihind	135	135	EUR/MWh
Elektrihinna suhteline muutus aastas	9,1	9,1	%
Aastane elektritarbimine enne investeeringut	0	0	MWh/a
Aastane elektritarbimine pärast investeeringut	62	62	MWh/a

Arvutused on tehtud projekti „Tervislik ja säästlik kodu“ näidismaja ning SA KredEx pakutud 35% renoveerimistoetuse tingimustel. Diskonteerimistegur on võetud inflatsiooniga samas suurusjärgus. Hindade suhteline muutus aastas on hinnatud vastavalt varasemate aastate Tallinna kaugküttevõrgu soojuse hindade ja Statistikaameti andmetel kodutarbijale kehtinud elektrihindade alusel.

Majandusarvutuste tulemusena leiti tulu nüüdisväärtus (NPV), diskonteeritud tasuvusaeg ja sisemine tulunorm (IRR) (Tabel 3.17). Majandusarvutused võtavad arvesse ka ventilaatorite poolt tarbitava elektri koguse.

Tabel 3.17. Majandusarvutuste tulemused.

Näitaja	Näidismaja tingimused	35% toetust	Ühik
Tulu nüüdisväärtus (NPV)	33 856	-7 948	EUR
Diskonteeritud tasuvusaeg	18,2	-	a
Sisemine tulunorm (IRR)	4,2	2,8	%

Tasuvusarvutused näitavad, et toetustega on diskonteeritud tasuvusaeg mitte vähem kui 18 a ning seejuures ei arvestata sisuliselt võimalikku tulu investeeringult. Hoonete renoveerimist ei saa vaadata alati kui investeerimisprojekti. Pigem tuleb suhtuda renoveerimisega kaasnevasse energiasäästu kui lisandväärtusesse paranenud sisekliima ning korrastatud piirete ja uute tehnosüsteemide kõrval. Siiski on toetused energiatarbimise vähendamisele suunatud tegevuste jätkamiseks vajalikud, et julgustada inimesi vastavaid töid ellu viima. Energiatarbimise vähendamisega aidatakse kaasa primaarenergia kasutuse vähenemisele.

3.2.8 Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass

Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass on leitud vastavalt projekti eesmärkide seadmise ajal kehtinud seadustele (Tabel 3.18) ning ka käesoleva analüüsi tegemise ajal kehtivatele seadustele (Tabel 3.19).

Tabel 3.18. Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass vastavalt projekti eesmärkide seadmise ajal kehtinud seadustele.

Näitaja	2007	2008	2009	2012	Ühik
Kaugkütte tarbimine normaalaastal	571	512	501	288	MWh/a
SP elektri tarbimine normaalaastal	0	0	0	62	MWh/a
Elektritarbimine (v.a soojuspump)	80	82	84	84	MWh/a
Maagaasi tarbimine	36	32	29	24	MWh/a
Kaalutud energiakasutus	671	615	606	502	MWh/a
Kaalutud energiaerikasutus (KEK)	226	207	204	169	kWh/(m ² a)
Kaalutud energiaerikasutuse klass	E	E	E	D	-

Projekti eesmärgiks oli saavutada väiksem energiatõhususarv kui 150 kWh/(m²a). Energiatõhususarv arvutatakse nn standardtingimustel ja kaalutud energiaerikasutus tegelike tarbimisandmete põhjal, mistõttu ei ole need arvud üksüheselt võrreldavad. Eesmärgiks seatud energiatõhususarv ja tegelik kaalutud energiaerikasutus erinevad 19 kWh/(m²a) võrra ehk kaalutud energiaerikasutus on energiatõhususarvust 13% võrra suurem. Siinjuures tuleb märkida asjaolu, et ventilatsiooniõhu vooluhulk on 25% väiksem kui energiatõhususe miinimumnõuete arvutustes kasutatud vooluhulga väärtus. Seega, kui hoones rakendatakse projektijärgset õhuvooluhulka, oleks kaalutud energiaerikasutus veelgi suurem ja vahe energiatõhususarvuga samuti.

Tabel 3.19. Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass vastavalt analüüsi tegemise ajal kehtivatele seadustele.

Näitaja	2007	2008	2009	2012	Ühik
Kaugkütte tarbimine normaalaastal	571	512	501	288	MWh/a
SP elektri tarbimine normaalaastal	0	0	0	62	MWh/a
Elektritarbimine (v.a soojuspump)	80	82	84	84	MWh/a
Maagaasi tarbimine	36	32	29	24	MWh/a
Kaalutud energiakasutus	711	656	648	575	MWh/a
Kaalutud energiaerikasutus (KEK)	240	221	218	194	kWh/(m ² a)
Kaalutud energiaerikasutuse klass	F	E	E	E	-

Analüüsi tegemise ajal kehtivate seaduste põhjal on kaalutud energiaerikasutus 194 kWh/(m²a) ja kaalutud energiaerikasutuse klass E.

3.3 Külmasillad

3.3.1 Termograafilised mõõtetulemused

Termograafilised mõõtmised tehti elamu kuues korteris, kusjuures kaks korterit asusid nii esimesel, kolmandal kui ka viiendal ehk viimasel korrusel. Mõõdeti nii hoone seest kui ka väljast. Seestpoolt mõõtmine võimaldab hinnata külmasildade kriitilisust, väljastpoolt mõõtmine visualiseerida külmasildade ulatust ja peamisi paiknemiskohti.

Termokaamera abil tehtud mõõtetulemustest selgus, et kriitilised külmasillad ($f_{Rsi} < 0,8$) olid kõikides analüüsitud liitekohtades enne hoone renoveerimist. Hoone lisasoojustamisega likvideeriti enamik kriitilisi külmasildu, kuid endiselt eksisteerivad need:

- välisseina ja akna liitekohas (akna asukoht säilis, aknad pidanuks tõstma soojustuse tasapinda);
- välisseinte välisnurgas ja keldri vahelae tasapinnas (soojustamata keldrilagi);
- välisseina ja rõdu liitekohas rõdu ukse all (säilis rõdukonsooli külmasild);
- samuti tuvastati pärast renoveerimist madalad pinnatemperatuurid hoone otsaseinas ning liitekohas naaberhoonega.

Hoone akendest enamik oli viimase kümnendi jooksul vahetatud ning renoveerimise käigus vahetati vaid ehitusaegsed vanad puitaknad, kusjuures akende asukoht jäi samaks – lengi välispinnaga vastu seinapaneeli välimist betoonkoorikut. Akna pale soojustati väljast võimaluse piires ehk ca 10...20 mm vahtpolüstüreeniga. Termokaameraga mõõtetulemused ning temperatuurivälja arvutused näitavad, et temperatuuriindeksi ja hallituse ohu seisukohast on hoone sisekliima pärast renoveerimist rahuldav. Mõnedel akendel oli mõõdetud pinnatemperatuuri alusel arvutatud temperatuuriindeksi väärtus vahemikus 0,65...0,8 (aktsepteeritav väärtus korraliku ventilatsiooni ja väikese/keskmise niiskustoodangu korral), kuid mitte alla 0,65, seejuures enamikul juhtudel oli väärtus üle 0,8.

Valik termopilte koos temperatuuriindeksitega on esitatud lisas (Lisa 2). Tabel 3.20 on mõõtetulemused kokkuvõtvalt enne ja pärast hoone renoveerimist. Tulemuste varieeruvus tuleneb ehituskvaliteedi ja -materjalide muutlikkusest, sõmlahenduste varieeruvusest, võimalikest õhuleketest, keskkonnatingimustest (näiteks kiirgus) ning mõõtetäpsusest.













Tabel 3.20. Mõõdetud temperatuuriindeksid erinevates liitekohtades enne ja pärast hoone renoveerimist.

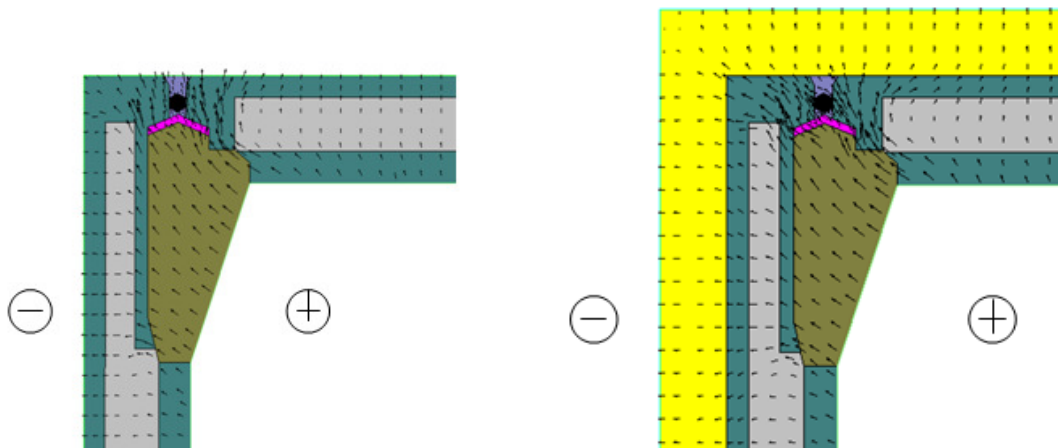
Liitekoht	Temperatuuriindeksi f_{Rsi} , - vahemik	
	enne renoveerimist	pärast renoveerimist
Välisseinte välisnurk	0,60...0,73	0,77...0,91
Välissein/sisesein		0,91...0,95
Välissein/vahelagi	0,68...0,80	0,80...0,96
Välissein/keldri lagi soklis	0,43...0,62	0,65...0,79
Välissein/aken	0,66...0,70	0,74...0,89
Välissein/rõdu		0,65...0,73
Välissein/katus parapetiga	0,61...0,65	0,89...0,96
Välissein/katus räästapaneeliga		0,93...0,99

3.3.2 Temperatuurivälja arvutustulemused

Kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutustarkvaraga arvutati külmasilla joonsoojusläbivused Ψ erinevatele tarindi liitekohtadele enne ja pärast hoone renoveerimist. Tulemused on esitatud Joonis 3.29...Joonis 3.34. Joonistel on iga materjal tähistatud erineva värviga (värvide tähendus Tabel 3.21). Joonis 3.28 ja Joonis 3.29 roosaga tähistatud vana mineraalvatt oli pergamiini mässitud nn villavorst, mille paksus võis olla väga erinev tulenevalt monolitiseerimisbetooni hüdraulilisest rõhust.

Tabel 3.21. Joonistel kasutatud materjalidele vastavad värvid ning sise- ja väliskeskond.

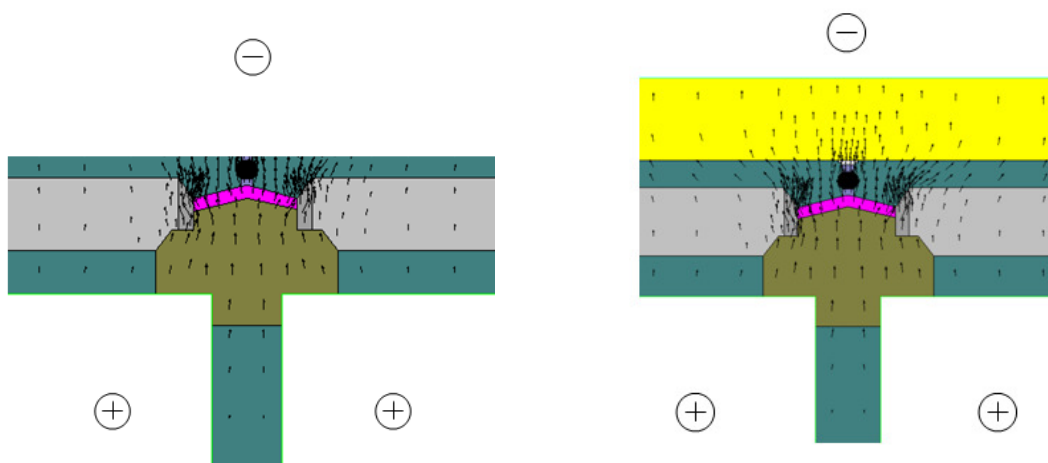
	Betoon		Vana mineraalvatt
	Monolitiseerimisbetoon/mört		Vahtpolüstüreen
	TEP-plaat		Mineraalvill
	Puit		Vuugimastiks
	Keramsiitbetoon		Bituumen/kumm
	Sisekeskkond		Väliskeskond



Välisseina välisnurk $\Psi = 0,70 \text{ W}/(\text{mK})$

Välisseina välisnurk $\Psi = 0,15 \text{ W}/(\text{mK})$

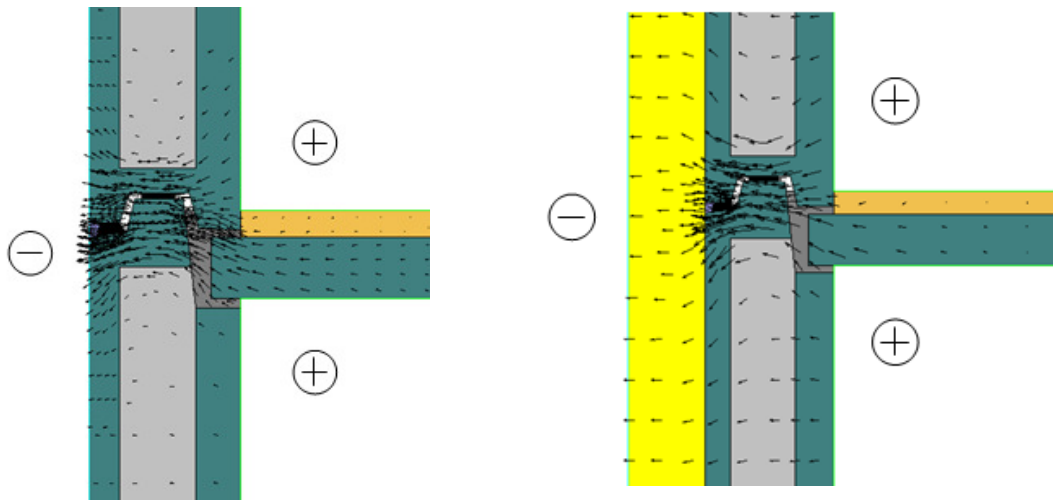
Joonis 3.28. Välisseina välisnurga liitekohta joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Välissein/sisesein $\Psi = 0,30 \text{ W}/(\text{mK})$

Välissein/sisesein $\Psi = 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$

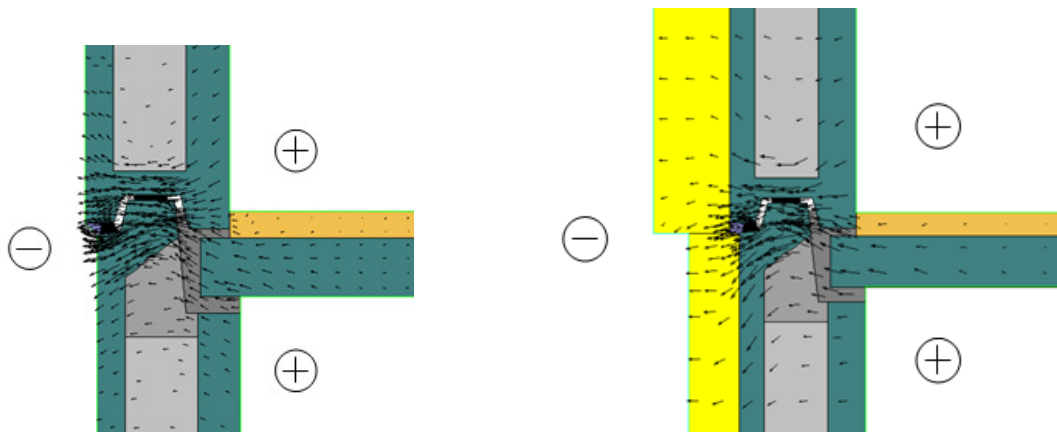
Joonis 3.29. Välisseina ja siseseina liitekohta joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Välissein/vahelagi $\Psi = 0,50 \text{ W}/(\text{mK})$

Välissein/vahelagi $\Psi = 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$

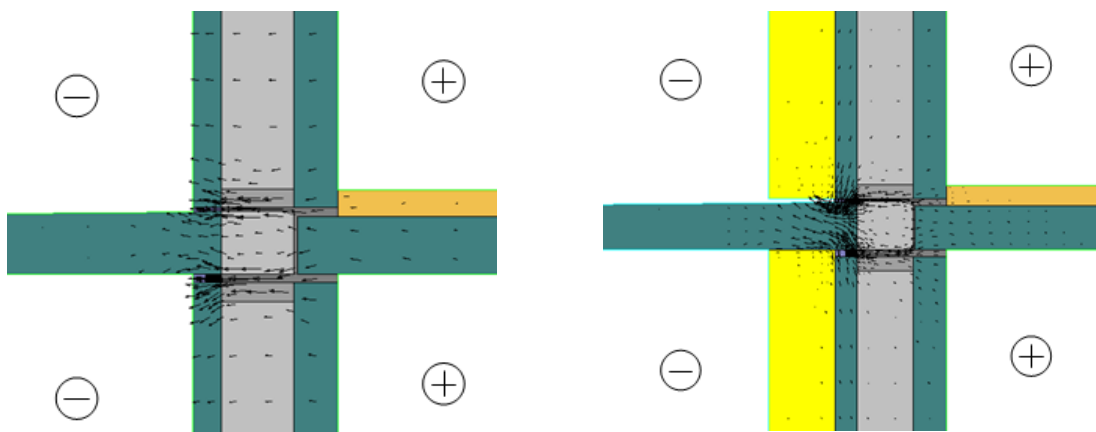
Joonis 3.30. Välisseina ja vahelae liitekohta joonsoojuhläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Välissein/keldri lagi (soklis) $\Psi = 0,50 \text{ W}/(\text{mK})$

Välissein/keldri lagi (soklis) $\Psi = 0,06 \text{ W}/(\text{mK})$

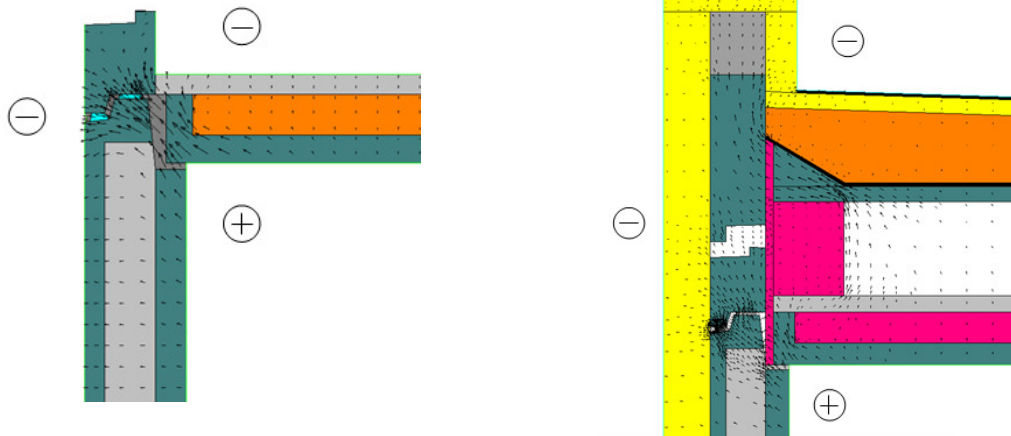
Joonis 3.31. Välisseina ja keldri vahelae liitekohta soklis joonsoojuhläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Välissein/rõdu $\Psi = 0,20 \text{ W}/(\text{mK})$

Välissein/rõdu $\Psi = 0,45 \text{ W}/(\text{mK})$

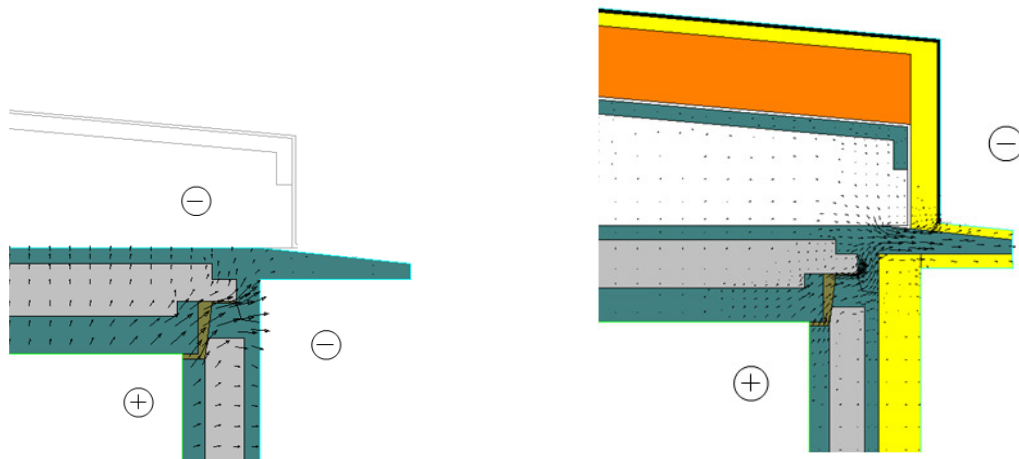
Joonis 3.32. Välisseina ja rõdu liitekohta joonsoojuhläbivused enne ja pärast hoone renoveerimist.



Välissein/katus parapetiga $\Psi = 0,25 \text{ W}/(\text{mK})$

Välissein/katus parapetiga $\Psi = 0,17 \text{ W}/(\text{mK})$

Joonis 3.33. Välis-otsaseina ja katuslae liitekohta joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Välissein/katus räästapaneeliga $\Psi = 0,55 \text{ W}/(\text{mK})$ Välissein/katus räästapaneeliga $\Psi = 0,20 \text{ W}/(\text{mK})$

Joonis 3.34. Välis-pikiseina ja katuslae liitekohta joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

Projektdokumentatsioonis oli ette nähtud soojustada ka räästapaneeli ots. Ehitustööde käigus jäi see tegemata. Seega säilis külmasild hoone pikifassaadil välisseina ja katuse liitekohas (Joonis 3.34).

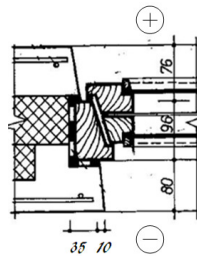
Lisaks analüüsi, kuidas mõjutab akna paigaldus seina liitekohas külmasilda. Joonis 3.35 on näidatud kaks lahendust pärast lisasoojustamist, kui aken paikneb senises asukohas (joonisel keskmine rida keskel ja paremal), ning kolm lahendust, kui aken on paigaldatud lisasoojustuse tasapinda (joonisel alumine rida). Projektis kasutati paigaldust, mis on näidatud keskmises reas paremal, kuid pale soojustuse paksus varieerus. Tulemustest johtub, et kui aknad jätta senisesse asukohta, siis välisseina ning akna liitekohta joonsoojusläbivus suureneb märkimisväärselt seina lisasoojustamise tagajärjel: joonsoojusläbivus Ψ on enne (joonisel keskmises reas vasakul) $0,13 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ning pärast (keskmises reas keskel) $0,35 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, juhul kui palet ei ole võimalik soojustada. Aknapalede väline soojustamine on realselt võimatu või on võimalus väga väike. **Seega tuleks edasistes renoveerimishangetes alati kaaluda akende paigaldamist lisasoojustuse tasapinda.**

Kuna välisseina/avatäite liitekohta pikkus moodustab enam kui poole kõikide joonkülmasilla pikkusest (Tabel 3.11), on soojuskadude vähendamine läbi

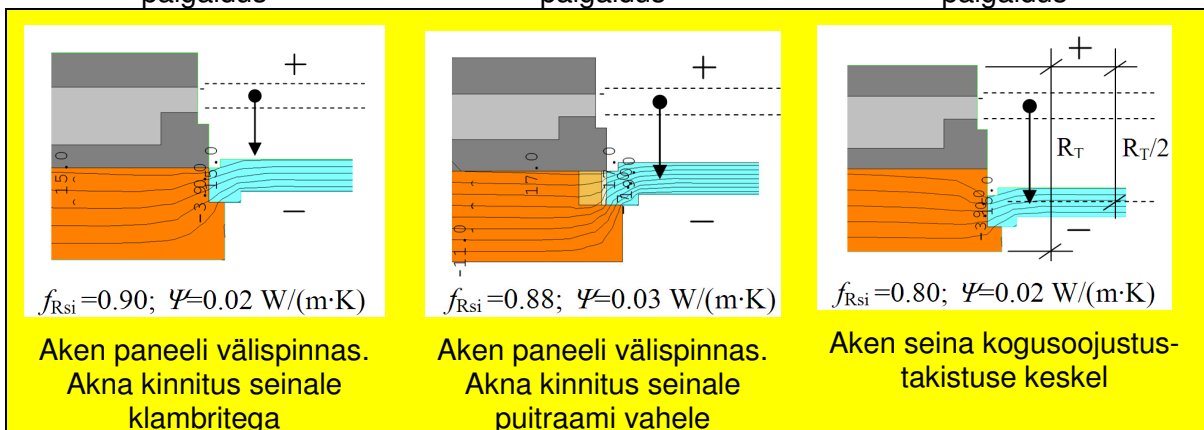
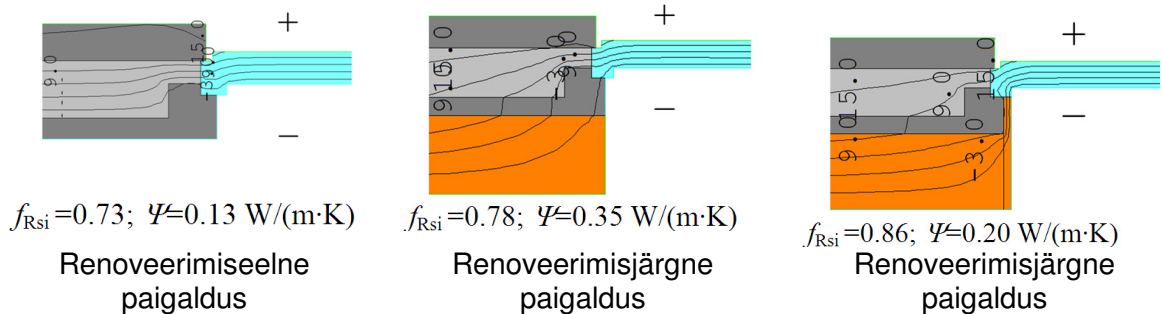
välisseina/avatäite liitekohta väga oluline. Selle külmasilla liitekohta mõju on sedavõrd suur, et seda ei ole võimalik kompenseerida paksema soojustusega, kuna soojuskaod läbi seina, võrreldes akende ja külmasildadega, on juba väikesed. Ümber akna lengi toimuva soojuskaod vähendamiseks on oluline paigaldada aknad olemasolevast asukohast lisasoojustuse kihti. Akna paigaldamine lisasoojustuse sisse/tasapinda vähendab joonsoojuslähivust oluliselt (Joonis 3.35 alumine rida).

Temperatuuriindeks f_{Rsi} pärast lisasoojustamist ületab piirväärtust 0,8 kõikide lahendustega, välja arvatud juhul, kui pale on soojustamata (joonisel keskmises reas keskel). Joonise alumises reas on näidatud paigaldamise tulemused ilma puitraamita ümber akna lengi (vasakul), puiduga (keskel) ning akna paigaldamisel seina pinnast eemale, poole peale kogusoojustakistusest R_T . Puidu kasutamisel on oluline akna mehaaniline kinnitamine seina, mitte puidu külge, ning akna ümbruse õhupidavuse tagamine. Optimaalne on aken kinnitada olemasoleva fassaadi välispinnale (vasakul), sest selline paigaldus:

- vähendab oluliselt külmasilla kriitilisust (tagab kõrge temperatuuriindeksi $\sim 0,9$);
- on ehitustehniliselt hõlpsasti teostatav mehaanilise kinnituse tõttu (võrreldes akna paigaldamisega seinast eemale);
- võimaldab lengi ja seina vahet hästi tihendada nii soojuslähivuse kui õhulekete minimeerimiseks;
- säilitab ligikaudselt akna tagasiaste fassaadist



Akna ja välisseina liitekohta joonis



Joonis 3.35. Arvutatud joonsoojuslähivused ning temperatuuriindeksid erinevate akna paigalduse võimaluste korral. Eelistatavad lahendused on kollasel taustal.

3.3.3 Akende välja tõstmise majanduslik tasuvus

Renoveerimisprojekti raames kaaluti seoses avatäidetega (aknad ja rõdu ukсед) nelja varianti:

- variant 1 – ehitusaegsete vanade puitakende asendamine kaasaegsete vastu avatäite senises asukohas;
- variant 2 - ehitusaegsete vanade puitakende asendamine kaasaegsete vastu avatäite senises asukohas ning paneeli väliskooriku lõikamine ca 50 mm ulatuses, võimaldamaks soojustada palesid;
- variant 3 – ehitusaegsete vanade puitakende asendamine kaasaegsete vastu paigaldusega lisasoojustuse tasapinda ning olemasolevate PVC akende ümberpaigaldus lisasoojustuse tasapinda (paneeli väliskooriku lõikamine ca 50 mm);
- variant 4 – kõikide akende asendamine kaasaegsete vastu ning nende paigaldamine lisasoojustuse tasapinda.

Esimesena jäeti kõrvale variant 2, kuna antud lahendust polnud varem tehtud, tegevus kahjustaks sisemise ja välimise kooriku vahelisi sidemeid, töömaht oli ebamäärane ning seetõttu hinnapakkumisi raske saada. Ka variant 3 akende ümberpaigaldusega eeldab paneeli väliskooriku ava suuremaks lõikamist ning on vähelevinud lahendus. Tuleb taastada sisemised paled ning ümberpaigalduse käigus on esinenud akende purunemist. Nendest teguritest tulenevalt õnnestus saada vaid üks hinnapakkumine. Variantidele 1 ja 4 saadi lisaks energiaauditi ligikaudsetele hindadele mitu hinnapakkumist. Võrdlevalt on kasutatud Tallinnas, Sõpruse pst 202 asuva telliskorterelamu hinnapakkumisi aastast 2012, kus positiivse eeskujuna otsustati vahetada kõik aknad ning paigaldada need lisasoojustuse tasapinda (variant 4). Ühikhindade võrdlus konverteerituna eurodeks on esitatud Tabel 3.22.

Tabel 3.22. Akende vahetuse variantide võrdluse ühikulised ehitusmaksumused.

Maksumused on esitatud vahetatava/ümberpaigaldatava akna m² kohta, seega erineb variant 1 arvutuses kasutatud akende kogupindala variantide 3 ja 4 kogupindalast.

	Variant 1, €/m ²	Variant 3, €/m ²	Variant 4, €/m ²
Sõpruse pst 244	124...215	114	189...210
Sõpruse pst 202	106...139	123...187	156...220

Projekti juhtrühm soovitas vahetada kõik aknad ja paigaldada need lisasoojustuse tasapinda (variant 4), kuna:

- aknad lisasoojustuse tasapinnas minimeeriks külmasillad;
- akna õige kaugus fassaadist on visuaalselt nägus ja järgib algseid proportsioone;
- viimase kümnendi jooksul paigaldatud PVC aknad (kahekordsed, alumiiniumist kitsas klaasiliist, vanemad aknad ilma selektiivkihita) on oluliselt suurema soojuslähivusega kui kaasaegsed (kolmekordsed, kahe selektiivkihiga, termokatkestusega klaasiliist).

Selline lahendus kooskõlastati ka korterühistu üldkoosolekul. Hilisemal koosolekul, ilma pädevate erialainimeste kaasamiseta, aga otsust muudeti. Elanike tugeval survele läks käiku siiski variant 1 ehk ainult ehitusaegsete vanade puitakende asendamine kaasaegsete vastu avatäite senises asukohas. Kuna juhtrühmal oli tähtsam pilootprojekti kui sellise teostumine, anti elanike survele järgi.

Nagu Tabel 3.22 nähtub, on kahe võrreldava hoone akendega seonduvate tööde ühikulised maksumused sarnased ning variantide 1 ja 3 maksumused ligilähedased, variant 4 on pisut kulukam.

Variantide 1 ja 3 lihttasuvusaja arvutustulemustest Sõpruset pst 244 hoone kohta johtub, et hinnapakkumistel põhinev lihttasuvusaeg on variandi 1 puhul ca 7 aastat ning variandi 3 korral ca 12 aastat. Soojuse kallinemisel nt kahekordseks oleks vastavad tasuvusajad ca 4 ja 6 aastat. Kuigi variant 3 korral on tasuvusaeg mõnevõrra pikem, tuleb silmas pidada, et hind põhines vaid ühel pakkumisel mis võis olla esitatud tagavara kasuks

seoses töö uudsuse ja mõningase määramatusega. Ei ole põhjust, miks tulevastest renoveerimisprojektides ei võiks antud tehnilist lahendust kaaluda ning ehitusettevõtjalt peale kogemuste saamist uusi, täpsemaid hinnapakumisi küsida.

Variantide 1 ja 4 lihttasuvusajad tänase soojuse hinnaga on variandi 1 puhul ca 7 aastat ning variandi 4 korral ca 14 aastat. Selles võrdluses on küll töösse läinud variant 1 majanduslikult soodsam, kuid soojusenergia kallinemisel nt kahekordseks on vastavad tasuvusajad vaid ca 4 ja 7 aastat. Samuti tuleb arvestada, et viimase kümnendi jooksul paigaldatud akende korral (eriti selektiivklaasita juhul) on kütteperioodil kehvem soojuslik mugavus ning vajadus akende järjekordseks vahetamiseks jõuab kätte tunduvalt varem. **Neil põhjustel (ning lisaks perspektiivi ja erinevate riskide maandamise seisukohalt) võinuks otsustada variant 4 (kõikide akende asendamine kaasaegsete vastu ning nende paigaldamine lisasoojustuse tasapinda) kasuks.**

Samuti analüüsiti külmasildade mõju hoone soojuskadudele, esitades külmasildu sisaldava välisseina keskmise soojuslähivuse U_c . Kuna välissein/avatäide külmasilla joonsoojuslähivus välispiirete lisasoojustamisel suurenes, moodustavad soojuskaod läbi välissein/avatäide liitekohta variant 1 korral märkimisväärse osa:

$$\text{Variant 1: } U_c = U + \frac{\sum_{j=1}^{N_j} (\Psi_j \times l_j)}{A_e} = 0,17 + \frac{425}{1091} = 0,56 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\text{Variant 3: } U_c = U + \frac{\sum_{j=1}^{N_j} (\Psi_j \times l_j)}{A_e} = 0,17 + \frac{295}{1091} = 0,44 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\text{Variant 4: } U_c = U + \frac{\sum_{j=1}^{N_j} (\Psi_j \times l_j)}{A_e} = 0,17 + \frac{131}{1091} = 0,29 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Nägu nähtub, on 150 mm vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud välisseina soojuslähivus esialgse 0,17 W/(m²·K) asemel korrigeerituna vastavalt 0,56 W/(m²·K), 0,44 W/(m²·K) ja 0,29 W/(m²·K). Seega suurendavad külmasillad soojuskadusid läbi välisseina vastavalt 230%, 160% ja 68% ning sellele lisanduvad soojuskaod läbi akende, katuslae, põranda ja välisuste. Kuna välispiirded on soojustatud ja ülejäänud külmasillad (v.a. välissein/rõdu) minimeeritud, olnuks akendel ja välissein/aken liitekohal enim kokkuhoiu potentsiaali.

4 Järeldused ja soovitused

4.1 Sisekliima

4.1.1 Järeldused

Sisekliima mõõdeti samades korterites enne (2010...2011) ja pärast (2011...2012, 2013 talve lõpp) hoone renoveerimist. Võrreldes sisekliima näitajaid enne ja pärast hoone renoveerimist on näha sarnane temperatuuri muutumine kevadel, suvel, sügisel ja talve soojemal perioodil. Enne renoveerimist olnud korterite keskmine ülekütmise külmadel talvapäevadel on renoveerimisjärgselt lõppenud. Renoveerimisjärgselt on korterites keskmine sisetemperatuur oluliselt stabiilsem, soojusregulaatori graafik on korrastatud ja ülekütmist on vähem. Enamik kortereid jääb keskmise temperatuuri järgi sisekliima II klassi. Siiski tuleb täheldada suurt erinevust üksikute korterite vahel, mis võib viidata ka elanike soojusliku mugavuse ootusele. Suhteline niiskus korterites on pärast hoone renoveerimist samas suurusjärgus nagu enne renoveerimist.

Niiskuskoormusi korterites on analüüsitud niiskuslisa abil. Niiskuslisa suurus näitab sise- ja välisõhu veeaurisisalduste erinevust ning sõltub ruumide õhuvahetusest ning niiskustootlusest ruumides. Võrreldes renoveerimiseelset ja -järgset olukorda tuleb tõdeda, et niiskuskoormus ei ole vähenenud. Seega tuleb põhjust otsida ventilatsiooni toimimisest, mis ei pruugi tagada soojuslikku mugavust ning seetõttu vähendavad elanikud ventilatsiooni õhuhulka.

Hindamiseks sisetemperatuuri ja suhtelist niiskust EVS-EN 15251 standardi piirsuurustele on mõõtetulemusi analüüsitud talvekuudel (detsember, jaanuar, veebruar). Soojematel perioodidel ($>-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) on ruumitemperatuur püsinud enamasti pidevalt sisekliima III ja ka II klassi piirides.

Enne renoveerimist vastas magamistubade siseõhu CO_2 sisaldus sisekliima II klassi väärtusele 20% mõõteperioodi ajast ja III klassi väärtusele 53% ajast. Pärast renoveerimist vastas siseõhu CO_2 sisaldus sisekliima II klassi väärtusele 66% mõõteperioodi ajast ja III klassi väärtusele 97% ajast.

Kuna loomulik ventilatsioon asendati tsentraalse mehaanilise väljatõmbeventilatsiooniga, siis on õhuvahetus muutunud aasta jooksul stabiilsemaks.

Enne renoveerimist oli hinnanguline ventilatsiooni õhuvooluhulk $0,25\text{ m}^3/\text{s}$, mis teeb õhuvahetuskordsuseks $0,13\text{ h}^{-1}$. Pärast renoveerimist on mõõdetud õhuvooluhulk $1,43\text{ m}^3/\text{s}$, mis teeb õhuvahetuse kordsuseks $0,75\text{ h}^{-1}$, see on $0,25\text{ h}^{-1}$ võrra ehk 25% väiksem projektijärgsest väärtusest. Õhuvooluhulk on projektijärgsest väiksem, kuna mõõtmistulemuste põhjal on õhuvooluhulka piiratud väiksemaks võrreldes projektis ettenähtuga.

Lisaks õhuvooluhulkadele mõõdeti ka saasteainete kontsentratsiooni ja peamised põhjused, miks saasteainete kontsentratsioon ei vasta kogu mõõteperioodi lõikes soovitud sisekliima II klassi nõuetele, on järgmised:

- õhuvooluhulga vähendamine ventilatsioonisüsteemides V-1 ja V-2;
- ventilatsioonisüsteemide V-1 ja V-2 rõhu järgi juhtimine, kasutamata filtrite mustumise kompensatsiooni funktsiooni;
- mõnede korterite väljatõmbe lõppelementide mitteasendamine tänapäevaste õhujaotajatega;
- väljatõmbe lõppelementide mitteühendamise paigaldatud plekist väljatõmbekanalitega või mõningatel juhtudel ka olemasolevate lõõridega;
- väljatõmbe lõppelementidega ruumide (köögid ja sanitaarruumid) uste alla siirdeõhu liikumiseks pilude mittetegemine või siirdeõhurestide mittepaigaldamine;
- värskeõhu radiaatorite filtrite mustumine;

- süsteemide puudulik eksploatatsiooniaegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine);
- ventilatsioonisüsteem ei ole tasakaalus;
- ehituslikud väljatõmbešahtid ei ole õhutihedad.

4.1.2 Soovitused sisekliima tagamiseks

Korterelamu ventilatsioonisüsteemi renoveerimisel on soovitatav kaaluda eelkõige kahe variandi vahel:

- korteripõhise agregaadiga (mitte lokaalse ruumipõhise) soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon;
- tsentraalne mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon koos värske õhu radiaatoritega ja väljatõmbe õhu soojuspumbaga soojustagastuseks.

Ventilatsioonisüsteemide renoveerimisel tuleb erilist tähelepanu pöörata järgmistele teemadele:

- tuleb tagada, et arvutusliku õhuvahetuse korral ruumi sisenev välisõhk ei oleks külm, ei tekitaks tõmbusetunnet ning ventilatsiooni müra on piisavalt summutatud;
- kui kasutatakse olemasolevaid ventilatsioonikanaleid, tuleb tagada nende hermeetilisus;
- korteripõhise agregaadi paigaldusel tuleb põhjalikult lahendada agregaadi asukoha, õhukanalite paigaldamise ja viimistlemise ning müra isoleerimisega seotud teemad;
- soojuspumbaga tsentraalse väljatõmbe süsteemi korral tuleb põhjalikult lahendada välisõhu eelsoojendamine radiaatoris (hoone väikesed soojuskaod ei vaja enam nii kõrge temperatuuriga radiaatoreid; kriitilisim periood on kevad/sügis, kui välistemperatuur on madal, aga radiaatori temperatuur pole veel piisavalt kõrge) ja õhuvooluhulkade korteripõhine juhtimine.

Lokaalse ruumipõhise ventilatsiooni soovitamist takistavad peamiselt ebapiisav õhuvooluhulk müra taotlustasemel, ventilaatorite väike rõhutõus, tasakaalust väljas õhuvooluhulgad, ebapiisav õhuvahetus reaalses paigaldustingimustes, niiskete ruumide ventilatsiooni puudulik lahendus ja probleemid soojusliku mugavusega.

Korterelamu küttesüsteemi renoveerimisel on soovitatav asendada vana ühetorusüsteem uue kahetorusüsteemiga. Sõltuvalt amortiseerumistasemest on väljavahetuse vajadus kindlasti erinev ja mõnel juhul võib olemasolevad radiaatorid ka säilitada. Uus kahetorusüsteem võimaldab paremat süsteemi tasakaalustamist. Küttekehade soojusväljastuse reguleerimiseks peavad need kindlasti olema varustatud termostaatventiilidega. Individuaalne küttekulude arvestamise pole küttesüsteemi toimivuse jaoks vajalik.

4.2 Energiatõhusus

4.2.1 Järeldused

Aastatel 2010...2011 tehti projekteerimis- ja ehitustööd, mille eesmärgiks oli parendada hoone sisekliimat ja vähendada energiatarvet kütteks, ventilatsiooniks ning sooja tarbevee tootmiseks. Vahetult renoveerimiseelse perioodina arvestatakse aastaid 2007...2009. Renoveerimisjärgse perioodina vaadeldakse aastat 2012, sest see on esimene täisaasta, mille tarbimisandmeid aluseks võttes sai hinnanguid teha.

Katusele lisati täiendav soojustuskiht paksusega 300 mm. Välisseinad soojustati täiendavalt 150 mm ja sokkel 100 mm paksuse soojusisoleerimismaterjali kihiga. Renoveerimise ajaks veel asendamata ehitusaegsed puitaknad vahetati välja uute kolmekordse klaasiga plastraamidega akende vastu. Keldriaknad, välisüksed ja renoveerimise ajaks juba vahetud aknad jäid alles. Rõdudel renoveeriti rõdupiirdeid ning uuendati viimistlust. Keldriseinte maa-alust osa täiendavalt ei soojustatud.

Ühetoru küttesüsteem asendati renoveerimisel uue, kahetorusüsteemiga. Paigaldati uued radiaatorid koos termostaatventiilidega. Loomulik ventilatsioon asendati mehaaniline väljatõmbe-ventilatsiooniga, kusjuures väljatõmmatavas õhus sisalduv soojus tagastatakse osaliselt hoone keldris asuvate soojuspumpadega hoone soojaveevarustuse ja küttesüsteemi. Värske õhu sissevool eluruumidesse on ette nähtud läbi värskõhu avade selliselt, et sisenev värsk õhk liigub läbi vastava konstruktsiooniga terasplekkraadiaatorite.

Pärast renoveerimist on normaalaasta järgi kogu soojusvajadus kütteks, ventilatsiooniks ja sooja vee valmistamiseks 454 MWh. Vastav kaugkütte tarbimine on 288 MWh, mis moodustab kogu soojuse vajadusest 63%. Teise analoogse süsteemi korral on vastavaks näitajaks saavutatud 50% ehk teisisõnu toodetakse võrdluse aluseks oleva maja korral ventilatsioonõhust soojust tagastava soojuspumpsüsteemi abil hoone vajaduseks rohkem soojust võrreldes Sõpruse pst 244 hoonega.

Sõpruse pst 244 hoone korral toodetakse soojuspumpsüsteemiga ühes kuus keskmiselt 4-5 MWh soojust sooja tarbevee valmistamiseks. Teise analoogse süsteemi korral on vastav näitaja 10-13 MWh/kuus.

Hinnanguline soojuskadu läbi välispiirete pärast renoveerimist on 130 MWh/a, st soojuskadu läbi välispiirete on vähenenud 178 MWh võrra ehk 58%.

Pärast renoveerimist on hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojuse erivajadus normaalaasta järgi langenud tasemeni 95 kWh/(m²a), millest 23 kWh/(m²a) tagastatakse hoonesse ventilatsiooniõhust soojuspumpade abil.

Pärast renoveerimist on kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojusega varustamiseks vajaminev energia kogus köetava pinna kohta langenud tasemeni 72 kWh/(m²a), st varasemate aastate keskmisega (118 kWh/(m²a)) võrreldes on hinnanguline langus 46 kWh/(m²a) ehk 39%. Võrreldes 2007. a tarbitud energiakogusega on suhteline vähenemine olnud 47%.

Kogu tarnitud energiakogus (küte, ventilatsioon, soe vesi) köetava pinna kohta on pärast renoveerimist 117 kWh/(m²a), mis on 17 kWh/(m²a) võrra ehk 17% suurem projektiga seatud eesmärgist – 100 kWh/(m²a).

Tarbevee eritarbimine köetava pinna kohta on iseloomulik Tallinna analoogsetele korterelamutele.

Sooja vee tarbimise osakaal on olnud aastatel 2007 ja 2012 kogutarbimises 39%, mis on korterelamutele iseloomulik näitaja (40%). Aastatel 2008...2009 oli sooja vee tarbimise osakaal mõnevõrra väiksem – 35%.

Korterite elektri eritarbimine köetava pinna kohta on väiksem kui korterelamute pikaaegne statistiline keskmine – 35...40 kWh/(m²a). Kuna toidu valmistamiseks kasutatakse osaliselt ka maagaasi, siis on olmeelektri tarbimine selle võrra väiksem.

Üldelektri eritarbimine on iseloomulik liftideta korterelamutele (1...2,5 kWh/(m²a)), kuid on ka maju, kus see näitav on ligi kaks korda väiksem.

Pärast renoveerimist on uute tarbijate (ventilaatorid, soojuspumbad) lisandumisel elektri tarbimine kasvanud 1,8 korda.

Maagaasi tarbimine on näidanud viimastel aastatel langustendentsi, mis viitab gaasi vähemale kasutamisele toidu valmistamisel. Samas ei ole korterite elektri eritarbimine oluliselt kasvanud.

Arvutustulemuste põhjal võib näha, et hoones rakendatud soojusvarustuse ja ventilatsioonisüsteemi lahendus on primaarenergia tarbimise seisukohalt eelistatum võrreldes lahendusega, kus soojuspumpasid ei rakendataks väljatõmbeõhust soojuse tagastamiseks. Teisest küljest, arvestades Eestis elektritootmise süsteemi, on CO₂ heide soojuspumpade kasutamisel suurem. Siiski tuleneb see Eesti energiatootmise omapäras

ning CO₂-heide sõltub oluliselt elektri tootmiseks kasutatavatest energiakandjatest (kütustest) ja riigiti on see erinev.

Tasuvusarvutused näitavad, et toetustega on diskonteeritud tasuvusaeg mitte vähem kui 18 a ning seejuures ei arvestata sisuliselt võimalikku tulu investeringult. Hoonete renoveerimist ei saa vaadata alati kui investeerimisprojekti. Pigem tuleb suhtuda renoveerimisega kaasnevasse energiasäästu kui lisandväärtusesse paranenud sisekliima ning korrastatud piirete ja uute tehnosüsteemide kõrval. Siiski on toetused energiatarbimise vähendamisele suunatud tegevuste jätkamiseks vajalikud, et julgustada inimesi vastavaid töid ellu viima. Energiatarbimise vähendamisega aidatakse kaasa primaarenergia kasutuse vähenemisele.

Projekti eesmärgiks oli saavutada väiksem energiatõhususarv kui 150 kWh/(m²a). Energiatõhususarv arvutatakse nn standardtingimustel ja kaalutud energiaerikasutus arvutatakse tegelike tarbimisandmete põhjal, mistõttu ei ole need arvud üksüheselt võrreldavad. Eesmärgiks seatud energiatõhususarv ja tegelik kaalutud energiaerikasutus erinevad 19 kWh/(m²a) võrra ehk kaalutud energiaerikasutus on energiatõhususarvust 13% võrra suurem. Siinjuures tuleb märkida ka asjaolu, et ventilatsiooni õhuvooluhulk on 25% väiksem energiatõhususe miinimumnõuete arvutuses kasutatud väärtusest. Seega, kui hoones rakendatakse projektijärgset õhuvooluhulka, oleks kaalutud energiaerikasutus suurem ja vahe energiatõhususarvuga samuti.

Soojuspumpade töö hindamiseks on oluline ka edaspidi registreerida regulaarselt soojuspumpade tarbitav elektrikogus ja soojuspumpade toodetav soojuskogus (küte ja soe vesi eraldi). Ventilatsioonide ja soojuspumba elektri tarbimine on soovitatav mõõta eraldi.

4.2.2 Soovitused energiatõhususe tagamiseks

Vana korterelamu energiatõhususe parandamisel on otstarbekas lähtuda uue või vähemalt olulistelt rekonstrueeritava hoone energiatõhususe kriteeriumitest. Halvema energiatõhususe kohta ei tohiks ka energiasäästupakette teha. Sõltuvalt hoone suurusest ja kompaktsusest ei suurenda uue või vähemalt olulistelt rekonstrueeritava hoone energiatõhususe tase energiatõhususe parandamiseks tehtavad kulutused jooksvaid väljaminekuid kuna pikemas perspektiivis saadav energiasääst katab energiatõhususe parandamise investeeringud. Täiendavalt tuleb muidugi arvestada möödapääsmatute sisekliimasüsteemide renoveerimisega ja sõltuvalt hoone omanike soovidest investeeringutega üldisse elukvaliteedi ja mugavuse tõusu.

Korterelamu energiatõhususe parandamisel valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest renoveerimismeetmetest:

- kõikide välisseinte lisasoojustamine: soojusläbivus $U \leq 0,14 \dots 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ehk $\approx 200 \text{ mm}$ lisasoojustust ($\lambda_{\text{U}} \leq 0,037 \dots 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- katuslae lisasoojustamine: soojusläbivus $U \leq 0,10 \dots 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ehk $\approx 300 \text{ mm}$ lisasoojustust ($\lambda_{\text{U}} \leq 0,037 \dots 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- keldri lae lisasoojustamine: soojusläbivus $U \leq 0,20 \dots 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ehk $\approx 100 \text{ mm}$ lisasoojustust ($\lambda_{\text{U}} \leq 0,037 \dots 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);
- akende vahetus: soojusläbivus $U \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ koos akende tõstmisega lisasoojustuse tasapinda, klaaspaketid: kolmeklaasilised selektiivklaasidega;
- küttesüsteemi renoveerimine: uus, tasakaalustatud kahetoru küttesüsteem, termostaatventiilidega radiaatorid, korrektne küttegaafik jne.;
- soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi rajamine: korteripõhine (mitte lokaalne ruumipõhine) soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon või tsentraalne mehaaniline väljatõmme koos värskes õhu radiaatoritega ja väljatõmbe õhu soojuspumbaga soojuse tagastuseks.

4.2.3 Väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi toimimine ja süsteemi parandusettepanekud

Uuringu tulemusena selgub, et soojuspumpsüsteemi pikema perioodi keskmine COP jääb vahemikku 2,4 – 2,7. Hetkeline COP võib olla ka madalam/kõrgem. Mõõteperioodi vältel kogutud andmetest tuleneb, et soojuspumba töös on küllaltki pikad vahemikud kus pump seisab. See on tingitud soojuspumba ja sojussõlme küttegaafikute erinevusest, soojuspumba seadistustest, sisse-väljalülituste viiteajast ja sooja tarbevee soojusvaheti probleemsest tööst.

Analüüsi tulemustest selgub, et Sõpruse pst 244 hoonesse paigaldatud väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteem ei töötanud mõõteperioodi vältel efektiivselt ning ei täitnud sellele renoveerimisprojekti ettenähtud eesmärgi. Peamised põhjused, miks soojuspumpsüsteem ebaefektiivselt töötab, avalduvad mahtvee soojusvaheti ebakorrektses toimimises. Samuti on väga suurel määral süsteemi tööd mõjutanud ka eksploatatsiooniaegne hooldus ning juhuslik isetegevus sojussõlme reguleerimisel. Eriti tuleks tähele panna asjaolu, et soojuspumpade toodang küttesüsteemi oli viidud tänu sojussõlme ebakorrektsesse seadistusele miinumini. Samuti tuleb ära märkida, et küttesüsteemi soojusenergiat tootma pidanud soojuspump SP-2 oli mõõteperioodi vältel rikkis ning süsteemi soojust ei andnud.

Peamised ettepanekud Sõpruse pst 244 väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi efektiivsuse tõstmiseks ja värskeõhu radiaatorite süsteemis parema sisekliima tagamiseks:

- sooja tarbevee tsirkulatsiooni juhtimine läbi mahtvee soojusvaheti (teostatud);
- suurendada soojuspumba sekundaarpoole tarbevee mahtveesoojusvaheti kontuuris vedeliku vooluhulka;
- mahtvee soojusvaheti ümberehitamine suurendades soojusülekandepinda;
- küttegaafiku kaldenurga muutmine värskeõhu radiaatorite parema toimimise tagamiseks;
- korterite õhuvooluhulkade viimine projektijärgsele tasemele;
- parendada soojuspump SP-2 toimimine;
- lõpetada sojussõlme parameetrite omavolilised reguleerimised ning taastada projektijärgne olukord.

Ettepanek sooja tarbevee tsirkulatsiooni juhtimiseks läbi mahtvee soojusvaheti leidis erinevate osapoolte toetuse ning realiseeriti ka praktikas. Tänu sellele sojussõlme muudatusele suurenes soojuspumba osakaal sooja tarbevee tootmisel 50 %-ni, mis tähendab 38 % tõusu. Samas on selline soojuspumba osakaal jätkuvalt liialt madal ja süsteemis tuleb efektiivsuse tõstmiseks teha täiendavaid muudatusi.

Üheks täiendavaks võimaluseks on suurendada soojuspumba sekundaarpoole tarbevee mahtveesoojusvaheti kontuuris vedeliku vooluhulka. Vedeliku vooluhulga suurendamine tähendab mahtveesoojendi keskmise veetemperatuuri tõusu, mis omakorda parandab mahtveesoojendi soojusülekannet.

Juhul kui soojuspumba sekundaarpoole tarbevee mahtveesoojusvaheti kontuuris vedeliku vooluhulka tõstmine olukorda ei paranda, saab süsteemi efektiivsust tõsta vaid mahtveesoojendi küttekontuuride soojusülekandepinna suurendamise teel. Olemasolev tarbevee mahtveesoojendi on liiga väikese soojusülekandepinnaga ning seetõttu ei ole võimalik soojuspumpadega toodetud energiat efektiivselt soojale tarbeveele edasi anda. Sellest annab tunnistust mahtvee soojusvahetist väljuva tarbevee madal temperatuur ka ajal, mil sooja vee tarbimine on väike (õõperioodid).

Kuna eksploatatsiooni käigus on sojussõlmes teostatud mitmeid omavolilisi muudatusi, siis on sojussõlme vedeliku vooluhulgad ja muud seadistused projektijärgse olukorraga

võrreldes tasakaalust väljas ning seetõttu on vajalik soojussõlmes läbi viia täiendav seadistamine/möödistamine. Korrektselt seadistatud soojussõlm on väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi töö aluseks ning omavoliline reguleerventiilide seadistamine ei taga süsteemi energiaefektiivset tõrgeteta toimimist.

4.2.4 Soovitused väljatõmbeõhu soojuspumpsüsteemi projekteerimiseks ja ehitamiseks

Üldised põhimõttelised juhised väljatõmbeõhu soojuspumbaga süsteemi projekteerimiseks ja ehitamiseks, et edaspidi senitehtud vigu vältida:

- sooja tarbevee tsirkulatsiooni juhtimine läbi mahtvee soojusvaheti;
- eelistada mahtvee soojusvahetiga süsteemi, kus spiraalkollektoritega soojendatakse paagis olevat tarbevett;
- kasutada tuleb soojuspumba ja soojussõlme ühist juhtimist;
- väljatõmbeõhu soojuspumbaga süsteemide korral tuleb radiaatorkütte graafiku valikul eelistada madalama teperatuuriga küttegaafikut (näiteks 60-40/60-45/55-40);
- et võimalikult varakult kõigist häiretest teada saada, viia soojuspumpsüsteemid kaugjälgimisele,
- teostada tuleb soojuspumpsüsteemi primaar- ja sekundaarpoole soojuskandja vooluhulkade tasakaalustamine ja ehitusjärgne möödistamine;
- väljatõmbe ventilatsioonisüsteemide rõhu järgi juhtimise korral tuleb kasutada filtrite mustumise kompensatsiooni funktsiooni;
- väljatõmbe ventiatsioonisüsteemidele lõppelemendid ja korterivahelised siirdeõhurestid tuleb korrektselt paigaldada;
- teostada tuleb ventilatsioonisüsteemide tasakaalustamine ja ehitusjärgne möödistamine;
- värskõhu radiaatorite puhul jälgida nende paigaldusjuhendit, eriti pöörata tähelepanu ventilatsiooniava asukohale seinas;
- värskõhu radiaatorite ventilatsioonikanalite seinast läbiviigud tihendada korrektselt;
- liiga madala sissepuhkeõhu temperatuuri korral värskõhu radiaatorist võib ebassobivama välisõhutemperatuuriga perioodi tarvis muuta küttegaafiku kaldenurka.

4.3 Külmasillad

4.3.1 Järeldused

Mõõte- ning arvutustulemuste põhjal võib järeldada, et renoveerimata raudbetoonist suurpaneelalumus on külmasillad tõsine probleem. Enne hoone renoveerimist esineb lubamatult madalaid temperatuurindekseid kõikides analüüsitud liitekohtades. Lisaks suurtele soojuskadudele põhjustavad külmasillad hallituse tekke riski tarindi sisepinnale, mistõttu võib väita, et hoone ei vasta ehitisele esitatavatele põhinõuetele.

Renoveerimise käigus tehtud väline lisasoojustamine likvideeris enamiku kriitilistest külmasildadest, kuid need säilisid:

- välisseina ja akna liitekohas (akna asukoht säilis, aknad pidanuks tõstma lisasoojustuse tasapinda);
- välisseinte välisnurgas keldri vahelae tasapinnas (soojustamata keldri lagi);
- välisseina ja rõdu liitekohas rõdu ukse all (säilis rõdukonsooli külmasild);

- samuti tuvastati pärast renoveerimist madalad pinnatemperatuurid hoone otsaseinas ning liitekohas naaberhoonega.

Madalaid pinnatemperatuure välisseina ja keldri lae liitekohas ning jahedat esimese korruse põrandat saanuks vältida keldri lae soojustamisega altpoolt. Ka rõdu plaati võinuks nii alt kui pealt soojustuskihiga katta. Lisaks külmasillale on rõdudega ka teisi probleeme (rõdude lagunemine, rõdude laius pärast lisasoojustamist), seega tuleks edasistes projektides kaaluda tõsiselt olemasolevate rõdude eemaldamist ning uute ja laiemate ehitamist.

Käesolevas uuringus olulisel kohal olnud akende paigaldusviiside analüüsimine päädib järeldusega, et **akende mittepaigaldamine lisasoojustuse tasapinda oli viga**. Aknapalede loodetud soojustamine ning soojuskadude vähendamine välissein/aken liitekohas ei õnnestunud. Jättes aknad senisesse asukohta, suurenevad soojuskadod akna ja välisseina liitekohast ligemale kolm korda (joonsoojuslähivus enne 0,13 ja soojustamata pale korral pärast 0,35 W/(m·K)). Ehitusaegsete vanade akende asendamine ja olemasolevate PVC akende tõstmine lisasoojustusse või kõikide akende asendamine lisasoojustusse tõstmisega on 2012. aasta hindadega lihttasuvusajaga maksimaalselt 14 aastat ning soojuse hinna kahekordistumisel 7 aastat. See tasuvusaeg on lühem akna kestvusest ja sobiv kasutamiseks renoveerimise tüüplahendusena.

Teostatud variandina akna senisesse asukohta jätmise tõttu suureneb oluliselt külmasildu arvestav välisseina keskmine soojuslähivus. Hoone soojuskadudes saavad määravaks aknad ning külmasillad välissein/aken liitekohas ning neid ei ole võimalik kompenseerida seinaga paksema soojustusega.

4.3.2 Soovitused külmasildade likvideerimiseks

Renoveerimata raudbetoonist suurpaneelilamus on külmasillad tõsine probleem, millede vähendamine tuleb renoveerimislahenduse väljatöötamisel võtta teravdatud tähelepanu alla.

Akna/välisseina liitekohta külmasilla mõju vähendamiseks tuleb välisseinte lisasoojustamisel kõik aknad tõsta lisasoojustuse tasapinda (vt. Joonis 3.35 alumine rida). Aken kinnitada mehaaniliselt olemasolevasse välisseina ning avatäite ja välisseina liitekoht tihendada selleks ettenähtud teipide abil õhupidavuse tagamiseks.

Suured külmasillad paiknevad ka konsoolsete rõdude ja lodžavaheseinte seinakinnituse juures. Siin sõltub renoveerimislahendus rõdu kahjustustest. Kaaluda võib olemasolevate konsoolsete rõdude lammutamist ning uute, võimalusel laiemate ehitamist või siis rõdude lisasoojustamist. Omaette lahendusena võib kaaluda ka rõdude/lodžade kinniehitamist, kus rõdu või lodža muutub osaks siseruumiks (vt. Sõpruse 202 hoone lahendus). Sellisel puhul peavad rõdu ja lodža välispiirded olema vähemalt sama soojapidavad, kui teised piirded hoonel. Uute konsoolsete rõdude korral kasutada kaasaegseid spetsiaalseid soojuskatkestusega konstruktsioonilisi elemente minimaalse punkt külmasilla saavutamiseks.

Välisseina ja katuse liitekoht soojustada selliselt, et soojustuse kiht on jätkuv ka ümber parapeti või räästapaneeli.

4.4 Üldised soovitused korterelamu renoveerimisprotsessi läbiviimiseks

Saavutamaks korterelamu renoveerimisele seatud eesmärged, tuleb protsessi läbiviimisel silmas pidada järgnevat põhimõtet:

- Tavaliselt pole korteriühistus ehitiste renoveerimise valdkonnas piisavalt pädevat spetsialisti ja see isik tuleb „sisse osta“ väljastpoolt. Sõlmida tuleb projekteerimise projektijuhi ja omanikujärelevalve lepingud. Piisava pädevuse korral võib need kaks ametit olla esindatud ka ühes isikus. Hea on seda teha juba renoveerimisprojekti

algfaasis, kui tuleb otsustada vajalike uuringute, ekspertiiside ja auditite üle. Kindlasti on projekteerimise projektijuhi ja omanikujärelevalve osalemine vajalik ehitusprojekti koostamisel, hinnapakumiste analüüsimisel ja hanke võitja selgitamisel;

- Enne renoveerimisprojekti koostamist tuleb tellida põhjalik hoone tehnilise seisukorra hinnang. See annab teadmise, mida ja kui palju on vaja renoveerida;
- Panustada tuleb pädeva projekteerija leidmisele. Hea renoveerimisprojekt aitab vähendada muudatusi ehituse käigus, mis on korteriühistule alati täiendavaks kuluks. Projekteerijat ei tohi valida ainult maksumuse alusel. Kindlasti tuleb uurida ka ettevõtte tausta ja suhelda eelnevate tööde tellijatega. Renoveerimise ehitusprojekt peab olema vajalikus kompleksuses (asendiplaan; arhitektuur; kandekonstruksioonid ja piirdetarindid; küte, ventilatsioon, ja soojusvarustus; gaasivarustus; veevarustus ja kanalisatsioon; elektripaigaldis; tuleohutus; energiatõhusus jne) ja vajaliku detailsusega (eelprojekt: eelkõige ehitusloa taotlemiseks; põhiprojekt: eelkõige eelarvelise ehitusmaksumuse hindamiseks ja ehitushanke korraldamiseks; tööprojekt: ehitamiseks ja renoveerimiseks);
- Renoveerimisprojekti kompleksuse ja sisulise kvaliteedi selgitamiseks tuleb enne projekti vastuvõtmist teha ekspertiis. Siin aitab korteriühistut omanikujärelevalve, projekteerimise projektijuht või ekspertiisi tegev ettevõtte;
- Saavutamaks hinnapakumuste võrreldavust, tuleb projektiga koos tellida ka ehitustööde mahtude loetelu või lasta hinnapakumistes ehitusmahud välja tuua. Hinnapakumine peab võimaldama ehitusprojektis esitatud lõpptulemuse valmis ehitamist.
- Ehitajat ei tohi valida ainult madalama maksumuse alusel. Hinnapakumused tuleb koos projektijuhi ja/või omanikujärelevalvega läbi töötada tagamaks, et kõik soovitud tööd on hinnapakumuses kajastatud ja välistamiseks võimalikud puuduvad tööd või alapakkumused. Kindlasti tuleb uurida ka ettevõtte tausta ja suhelda eelnevate tööde tellijatega;
- Ehitajaga tuleb sõlmida korrektne töövõtuleping. Ehituslepingu sõlmimisel tuleb kaasata projektijuhi ja/või omanikujärelevalve abi tagamaks, et leping hõlmab kõiki soovitud töid ja võimalike kahjujuhtumite käsitlemine ning garantiitööde teostamine on üheselt arusaadavalt kokku lepitud;
- Renoveerimise ajaks tuleb kaasata omanikujärelevalve. Kui sama isik on ka tellija konsultandiks, tuleb ta kaasata juba protsessi algfaasis. Jällegi ei tohi teenuse pakkujat valida ainult maksumuse alusel. Kindlasti tuleb uurida ka ettevõtte tausta ja suhelda eelnevate tööde tellijatega. Korterelamu renoveerimine on mõnevõrra spetsiifiline tegevus. Selles vallas on vaja eraldi kogemust ja pädevust;
- Sageli osutuvad ehitustööde hinnapakumised mõnevõrra suuremaks esialgu eeldatust. Sellisel juhul tasuks siiski pürgida projekteeritud terviklahenduse poole, mitte jättes valikuliselt töid ära või muuta projekteeritud lahendusi kuna renoveerimislahenduse kui terviku muutmine võib viia soovimatute tagajärgedeni. Samas tuleks aktsepteerida diskussiooni projekteeritud lahenduse üle juhul kui tulenevalt varasemast kogemusest osutab ehitaja renoveerimislahenduse mõnele puudusele. Renoveerimise eelarvestamisel on korteriühistul otstarbekas omada reservi ettenägematute kulutuste jaoks;
- Renoveerimisprotsess tuleb süsteemselt ja korrektselt dokumenteerida. Töökoosolekud, kus osalevad projektijuht, korteriühistu esindaja, ehitaja, omanikujärelevalve ja projekteerija, tuleb läbi viia minimaalselt üks kord nädalas. Kõik koosolekud, muudatused projektlahenduses ja eelarves tuleb protokollida ning allkirjastada;
- Lõplike renoveerimislahenduste kohta tuleb teostada teostusjoonised ja lahendused dokumenteerida fotograafiliselt.

Korterelamute seisukorra ja renoveerimislahenduste kohta tehtud uuringutega on võimalik tutvuda SA KredEx ja Majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi kodulehel:

- <http://www.kredex.ee/energiatohususest/energiatohusus/uuringud/>

- <http://www.mkm.ee/statistika-ja-uuringud-5/>

Sõpruse pst 244, Tallinn korterelamu renoveerimisjärgne uuring

vahearuanne

Lisa 1 Energia tarbimisandmed

Soojus

Lisa 2 Tabel 1 Soojuse tarbimisandmed

	Ühik	Jaan	Veebr	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets	Kokku
2007														
Küte	MWh	61,5	69,7	50,1	24,2	10,7	0,0	0,0	0,0	4,2	34,5	51,1	46,8	352,8
Soe vesi	MWh	16,5	15,3	14,9	17,8	14,3	14,0	14,0	11,0	12,8	12,5	13,9	15,2	172,2
Kaugküte kokku	MWh	78,0	85,0	65,0	42,0	25,0	14,0	14,0	11,0	17,0	47,0	65,0	62,0	525,0
Soojuse tariif	EUR/MWh	31	31	31	31	31	31	40	40	40	40	40	45	35,0
Kütte maksumus	EUR	1 883	2 134	1 534	741	328	0	0	0	169	1 381	2 045	2 092	12 307
Sooja vee soojendamise	EUR	505	468	456	546	438	429	560	440	511	499	556	679	6 088
Kokku	EUR	2 389	2 603	1 990	1 286	766	429	560	440	680	1 881	2 601	2 772	18 396
2008														
Küte	MWh	51,9	38,0	46,1	21,9	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	15,8	39,5	51,6	275,9
Soe vesi	MWh	19,1	19,0	15,9	16,1	13,0	15,0	13,0	13,0	13,9	13,2	14,5	13,4	179,1
Kaugküte kokku	MWh	71,0	57,0	62,0	38,0	13,0	15,0	13,0	13,0	25,0	29,0	54,0	65,0	455,0
Soojuse tariif	EUR/MWh	49	49	49	57	57	57	57	57	57	57	57	57	53,4
Kütte maksumus	EUR	2 546	1 865	2 262	1 240	0	0	0	0	629	891	2 231	2 918	14 583
Sooja vee soojendamise	EUR	940	933	782	907	734	848	735	735	784	748	820	755	9 720
Kokku	EUR	3 486	2 798	3 044	2 147	734	848	735	735	1 413	1 639	3 052	3 673	24 303
2009														
Küte	MWh	50,0	50,0	43,9	22,8	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	32,2	36,4	56,6	298,1
Soe vesi	MWh	15,0	15,0	14,1	17,2	13,9	17,0	15,0	14,0	15,0	15,8	17,6	16,4	185,9
Kaugküte kokku	MWh	65,0	65,0	58,0	40,0	20,0	17,0	15,0	14,0	15,0	48,0	54,0	73,0	484,0
Soojuse tariif	EUR/MWh	70	65	58	54	52	51	55	57	59	61	61	61	61
Kütte maksumus	EUR	3 511	3 257	2 541	1 243	320	0	0	0	0	1 967	2 225	3 454	18 517
Sooja vee soojendamise	EUR	1 054	978	818	935	723	860	825	795	881	963	1 071	1 001	10 905
Kokku	EUR	4 565	4 234	3 359	2 178	1 043	860	825	795	881	2 930	3 296	4 456	29 422

Sõpruse pst 244, Tallinn korterelamu renoveerimisjärgne uuring

vahearuanne

	Ühik	Jaan	Veebr	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets	Kokku
2012														
Kaugküte kütteks	MWh	34,4	38,6	10,0	23,4	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	12,6	38,9	185,4
Kaugküte vee soojendamiseks	MWh	9,6	10,4	10,0	9,6	9,0	9,0	9,0	8,0	8,0	6,5	8,4	9,1	106,6
Kaugküte kokku	MWh	44,0	49,0	20,0	33,0	14,0	9,0	9,0	8,0	8,0	29,0	21,0	48,0	292,0
Soojuspumba toodang kütteks	MWh	25,1	19,5	22,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	21,6	103,8
Soojuspumba toodang vee soojendamiseks	MWh	5,1	4,0	4,1	5,4	5,7	5,7	4,6	5,1	5,0	7,6	6,7	7,1	65,9
Soojuspumba toodang	MWh	30,2	23,5	26,9	7,5	5,7	5,7	4,6	5,1	5,0	7,6	19,4	28,7	169,7
Küttesoojus	MWh	59,5	58,1	32,8	25,5	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	25,3	60,5	289,2
Sooja vee soojendamine	MWh	14,6	14,5	14,1	15,0	14,6	14,7	13,6	13,1	13,0	14,0	15,0	16,2	172,5
Kogus soojus	MWh	74,2	72,5	46,9	40,5	19,7	14,7	13,6	13,1	13,0	36,6	40,4	76,7	461,7
Kaugküte hind	EUR/MWh	74	74	74	74	75	75	77	78	79	78	78	76	76
Kütte maksumus (kaugküte)	EUR	2 560	2 867	740	1 738	380	0	0	0	0	1 760	986	2 956	13 989
Sooja vee soojendamine (kaugküte)	EUR	710	775	746	714	674	678	689	624	632	508	657	694	8 103
Kaugküte kokku	EUR	3 271	3 642	1 487	2 453	1 054	678	689	624	632	2 269	1 643	3 650	22 092
Elektri maksumus	EUR/MWh	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	134,57	135
Soojuspumba soojuse hind	EUR/MWh	46	51	44	47	60	59	65	66	57	54	49	47	49
Soojuspump kokku	EUR	1 388	1 195	1 176	349	342	334	297	336	284	411	940	1 339	8 389
Soojuse maksumus kokku	EUR	4 659	4 837	2 662	2 802	1 397	1 012	986	960	916	2 680	2 583	4 989	30 481

Sõpruse pst 244, Tallinn korterelamu renoveerimisjärgne uuring

vahearuanne

Elekter

Lisa 2 Tabel 2 Elektri tarbimise andmed

	Ühik	Jaan	Veebr	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets	Kokku
2007														
Korterite elekter	MWh	7,78	6,85	6,47	6,18	5,91	5,28	3,71	5,73	6,07	6,34	6,62	7,54	74,5
Üldelekter	MWh	0,58	0,44	0,53	0,49	0,44	0,27	0,52	0,52	0,44	0,56	0,64	0,57	6,0
Kokku	MWh	8,4	7,3	7,0	6,7	6,3	5,5	4,2	6,2	6,5	6,9	7,3	8,1	80,5
2008														
Korterite elekter	MWh	7,36	7,04	6,93	6,20	6,08	5,47	5,03	5,74	5,99	6,94	7,05	7,06	76,9
Üldelekter	MWh	0,56	0,49	0,47	0,48	0,16	0,15	0,15	0,15	0,34	0,52	0,52	0,68	4,7
Kokku	MWh	7,9	7,5	7,4	6,7	6,2	5,6	5,2	5,9	6,3	7,5	7,6	7,7	81,5
2009														
Korterite elekter	MWh	8,24	5,63	5,79	6,36	6,11	5,54	5,34	6,53	6,55	7,25	7,79	7,36	78,5
Üldelekter	MWh	0,61	0,43	0,55	0,48	0,43	0,27	0,27	0,27	0,29	0,63	0,66	0,64	5,5
Kokku	MWh	8,8	6,1	6,3	6,8	6,5	5,8	5,6	6,8	6,8	7,9	8inn,4	8,0	84,0
2012														
Korterite elekter	MWh	7,02	6,91	6,44	6,07	6,00	5,79	5,86	5,91	5,66	6,26	6,84	8,78	77,5
Üldelekter	MWh	11,52	9,55	9,39	2,96	3,01	2,78	2,53	2,94	2,42	3,49	7,42	10,55	68,6
sh valgustus, seadmed	MWh	0,59	0,45	0,52	0,48	0,34	0,23	0,31	0,31	0,36	0,57	0,61	0,63	5,4
sh ventilaatorid ja soojuspump	MWh	10,32	8,88	8,74	2,60	2,54	2,48	2,21	2,50	2,11	3,05	6,98	9,95	62,3
Kokku	MWh	18,5	16,5	15,8	9,0	9,0	8,6	8,4	8,9	8,1	9,8	14,3	19,3	146,1

Sõpruse pst 244, Tallinn korterelamu renoveerimisjärgne uuring
vahearuanne

Vesi

Lisa 2 Tabel 3 Vee tarbimise andmed

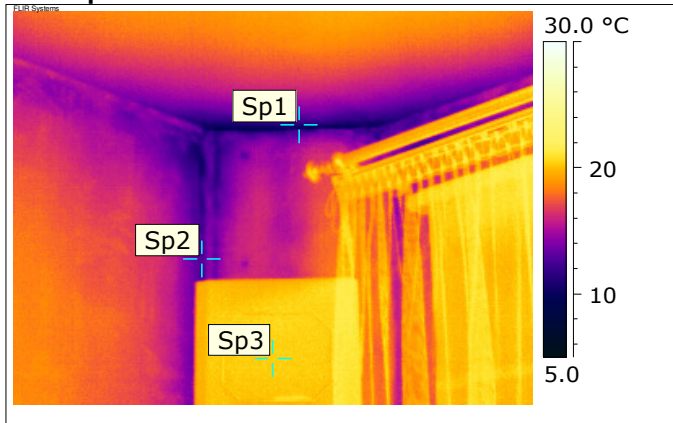
	Ühik	Jaan	Veebr	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets	Kokku
2007														
Külm vesi	m ³	225	202	232	179	237	202	200	209	222	256	232	219	2 615
Soe vesi	m ³	164	152	148	177	142	141	121	122	127	124	138	151	1 707
Kokku	m ³	389	354	380	356	379	343	321	331	349	380	370	370	4 322
2008														
Külm vesi	m ³	224	199	237	215	215	205	218	249	197	212	211	214	2 596
Soe vesi	m ³	149	148	124	125	120	104	122	87	108	103	113	104	1 407
Kokku	m ³	373	347	361	340	335	309	340	336	305	315	324	318	4 003
2009														
Külm vesi	m ³	213	186	246	227	249	188	219	217	218	243	218	237	2 661
Soe vesi	m ³	118	118	111	135	109	125	114	118	121	124	138	129	1 460
Kokku	m ³	331	304	357	362	358	313	333	335	339	367	356	366	4 121
2012														
Külm vesi	m ³	201	183	231	219	218	212	240	207	216	245	209	175	2 556
Soe vesi	m ³	139	136	129	146	139	144	97	124	111	128	147	170	1 610
Kokku	m ³	340	319	360	365	357	356	337	331	327	373	356	345	4 166

Lisa 2 Termograafia mõõtetulemused

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
 Leht 1

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist

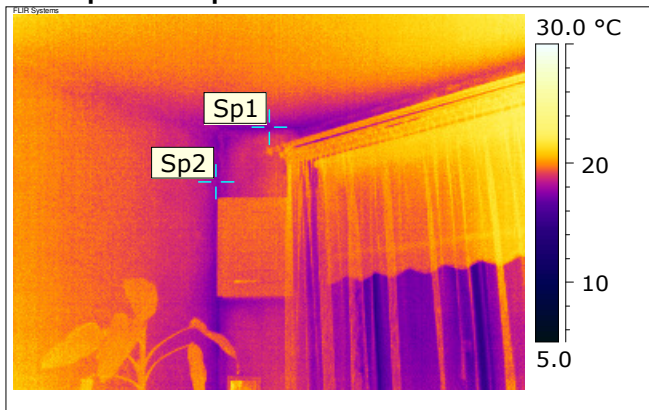


IR Text Comment	Value
Välis temperatuur, -°C	6
Siseteperatuur, +°C	21
Label	Value
Sp1	11.0 °C
Sp2	12.8 °C
Sp3	20.4 °C
fRsi1	0.63
fRsi2	0.69

Foto



Termopilt ±0 Pa pärast renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välis temperatuur, -°C	5
Siseteperatuur, +°C	20
Label	Value
Sp1	17.4 °C
Sp2	17.6 °C
fRsi1	0.90
fRsi2	0.91

Kommentaar:

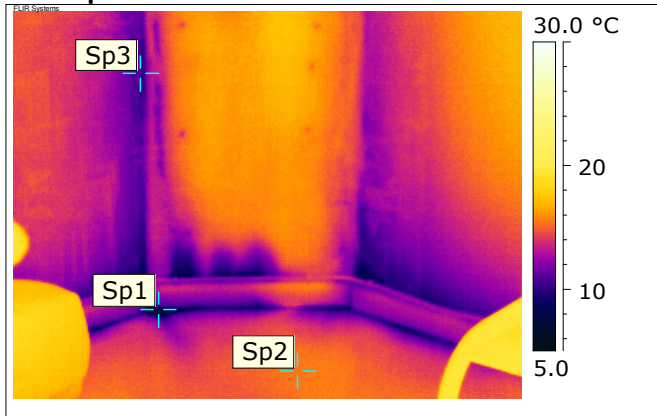
Välisseina välisnurk. Kriitiline külmasild (temp. <0,8) on renoveerimise käigus likvideeritud.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**
 Leht 2

Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

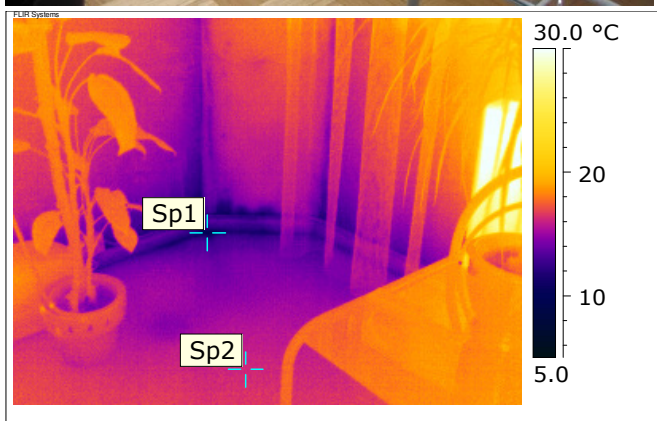
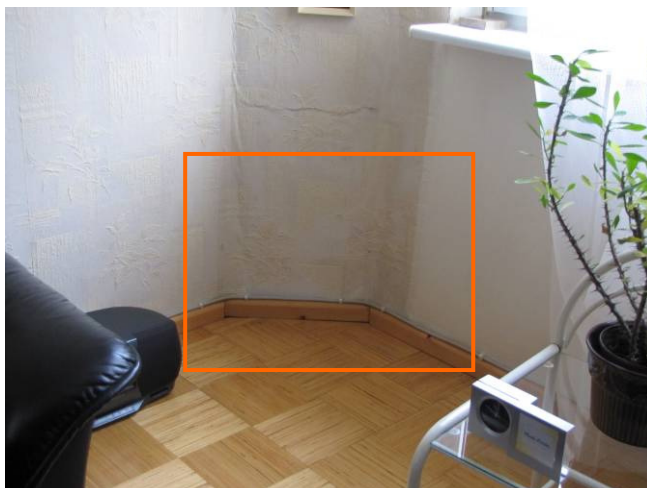
Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	21
Label	Value
Sp1	6.5 °C
Sp2	15.3 °C
Sp3	10.2 °C
fRsi1	0.46
fRsi2	0.79
fRsi3	0.60

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	5
Sisitemperatuur, +°C	20
Label	Value
Sp1	9.9 °C
Sp2	16.1 °C
fRsi1	0.60
fRsi2	0.84

Kommentaar:

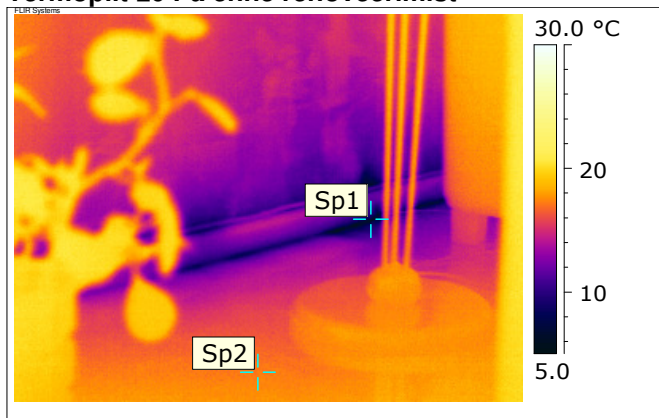
Välisseina välisnurk keldri laes. Kriitiline külmasild on säilinud ka pärast renoveerimist. Madal põranda pinnatemperatuur on suuresti põhjustatud soojustamata põrandast.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**
Leht 3

Möötmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C
Sisitemperatuur, +°C

Value

6

21

Label

Value

Sp1

5.6 °C

Sp2

17.2 °C

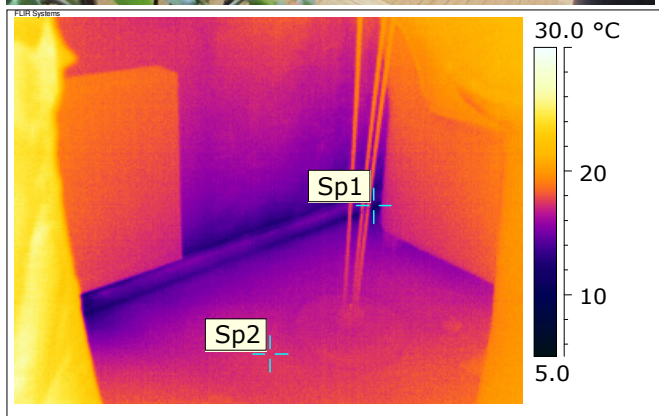
fRsi1

0.43

fRsi2

0.86

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C
Sisitemperatuur, +°C

Value

5

20

Label

Value

Sp1

11.3 °C

Sp2

17.4 °C

fRsi1

0.65

fRsi2

0.89

Kommentaar:

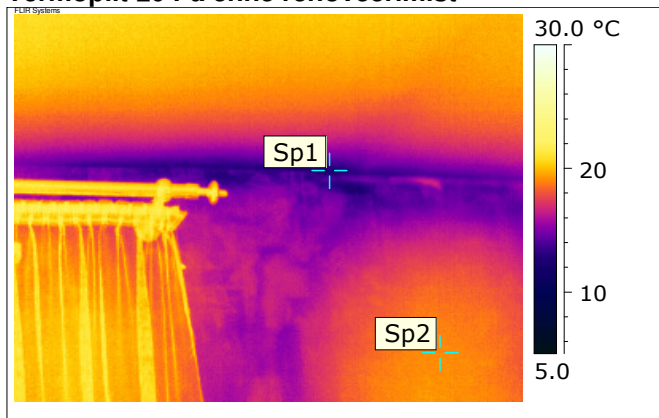
Välissein/keldri vahelagi. Temperatuuriindeks on tõusnud kuid on endiselt lubamatult madal.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**
Leht 4

Möötmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C
Sisitemperatuur, +°C

Value

6

21

Label

Value

Sp1

12.4 °C

Sp2

19.1 °C

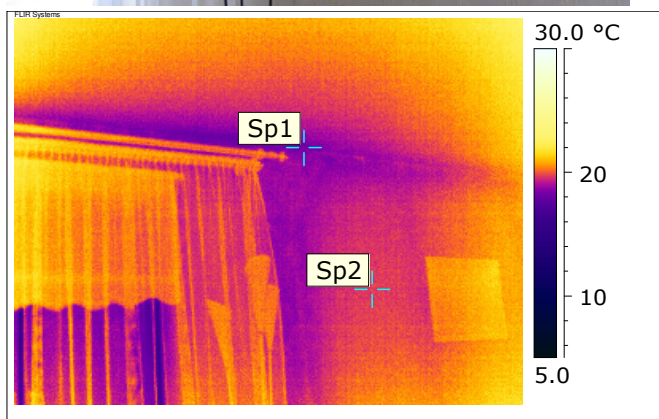
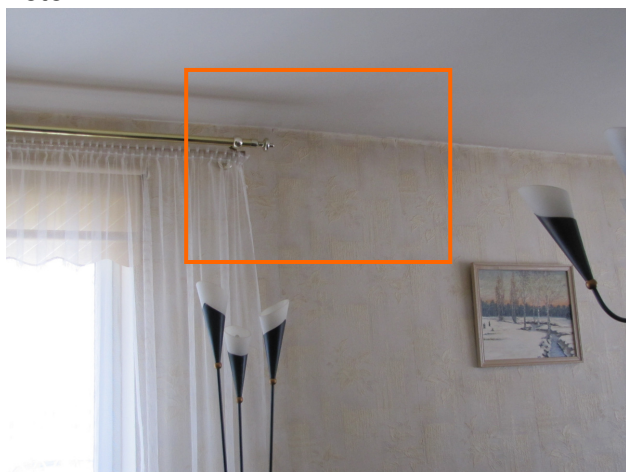
fRsi1

0.68

fRsi2

0.93

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C
Sisitemperatuur, +°C

Value

5

20

Label

Value

Sp1

18.2 °C

Sp2

19.8 °C

fRsi1

0.93

fRsi2

0.93

Kommentaar:

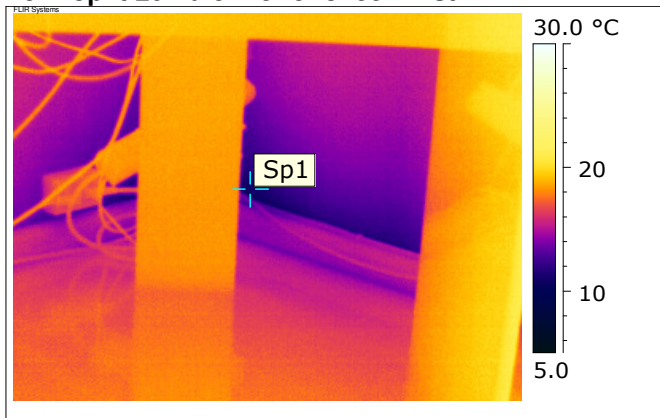
Välissein/vahelagi. Seinä väline lisasoojustamine on likvideerinud külmasilla.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**
 Leht 5

Möötmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

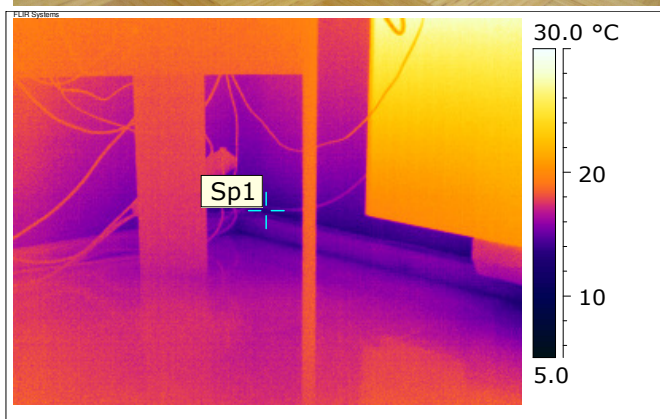
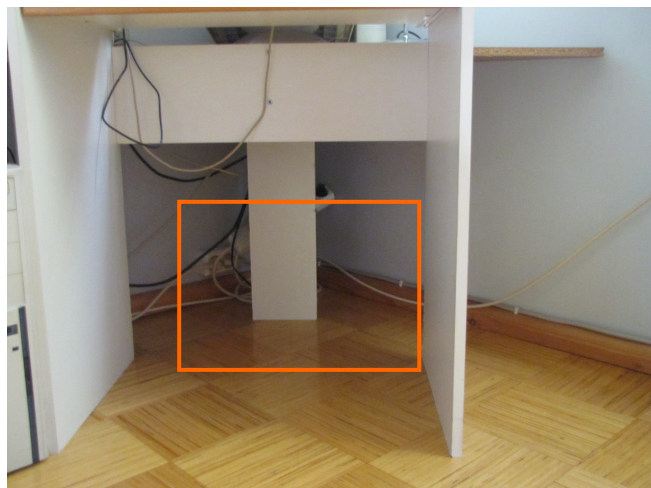
Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	21
Label	Value
Sp1	10.7 °C
fRsi1	0.62

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	5
Sisitemperatuur, +°C	20
Label	Value
Sp1	13.4 °C
fRsi1	0.74

Kommentaar:

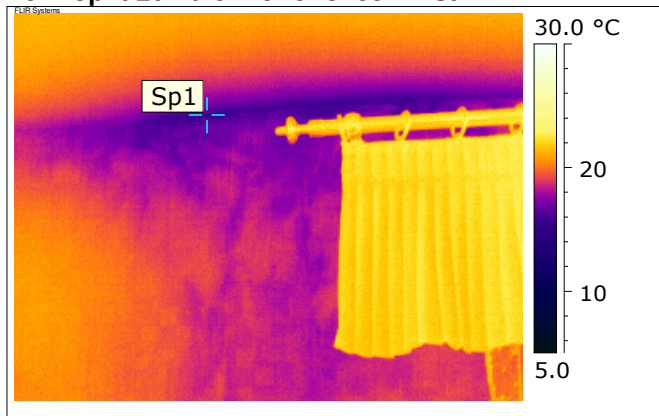
Välissein/keldri vahelagi

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**
 Leht 6

Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

6

Sisitemperatuur, + °C

21

Label

Value

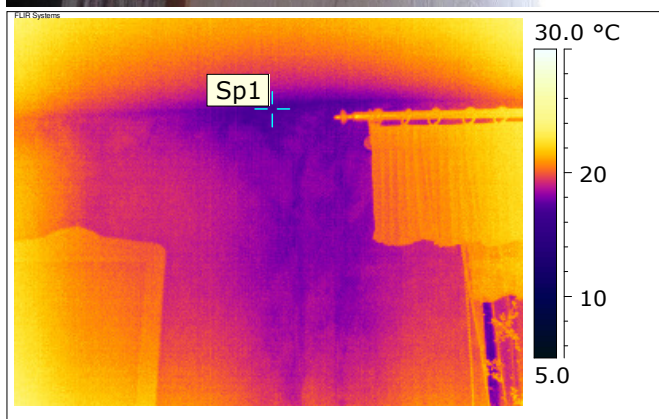
Sp1

15.5 °C

fRsi1

0.79

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

5

Sisitemperatuur, + °C

20

Label

Value

Sp1

16.7 °C

fRsi1

0.87

Kommentaar:

Välissein/vahelagi liitekoht naaberhoonega (naaberhoone sein soojustamata). Kuigi pildil joonistuvad välja madalamad pinnatemperatuurid, ei ole see ohtlik. Mõnevõrra halveneb soojuslik mugavus.

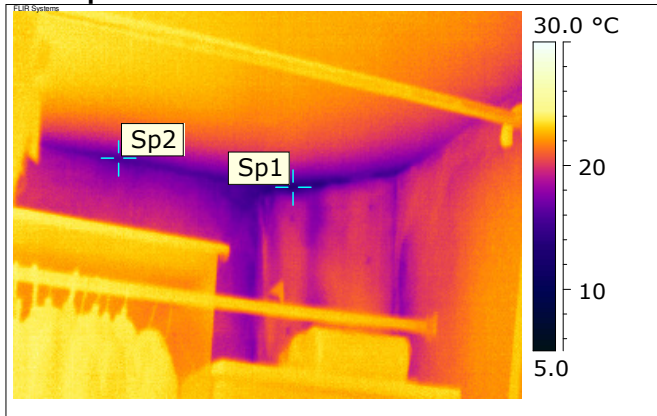
Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**

Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Leht 7

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

6

Sisitemperatuur, + °C

21

Label

Value

Sp1

13.6 °C

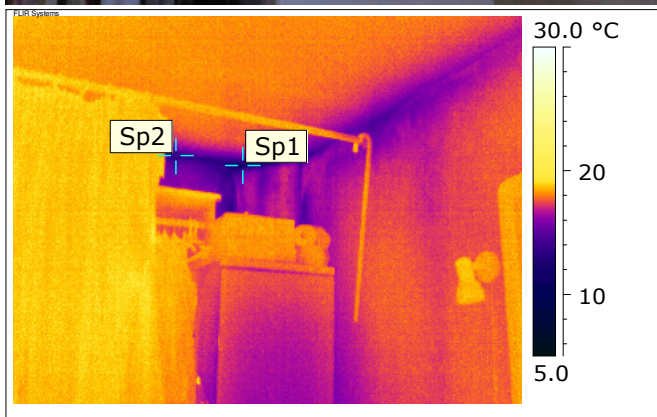
Sp2

15.6 °C

fRsi1

0.73

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

5

Sisitemperatuur, + °C

20

Label

Value

Sp1

11.9 °C

Sp2

13.3 °C

fRsi1

0.68

Kommentaar:

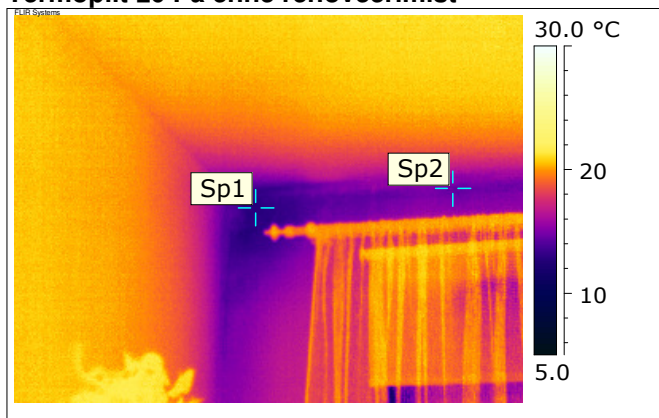
Välissein/vahelagi/sisesein liitekohas naaberhoonega.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**
 Leht 8

Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

6

Sisitemperatuur, + °C

21

Label

Value

Sp1

12.7 °C

Sp2

14.4 °C

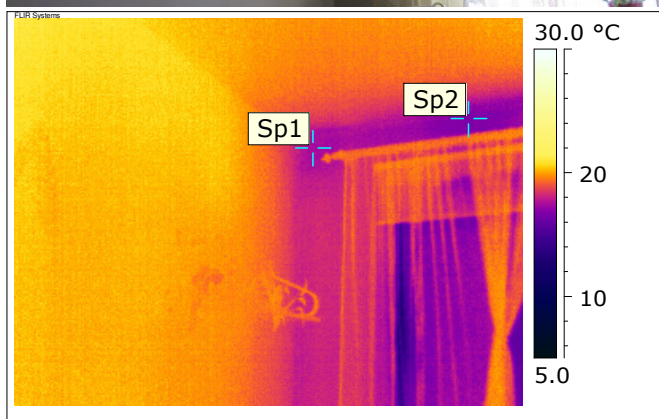
fRsi1

0.69

fRsi2

0.75

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

5

Sisitemperatuur, + °C

22

Label

Value

Sp1

17.5 °C

Sp2

16.7 °C

fRsi1

0.83

fRsi2

0.80

Kommentaar:

Välissein/vahelagi/sisesein

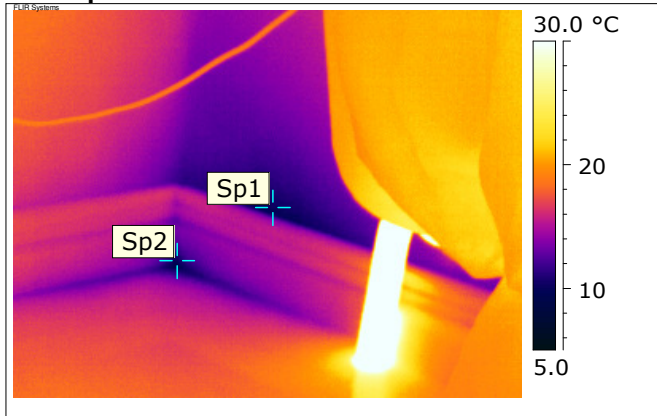
Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn**

Möötmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Leht 9

Uurimistöös kasutatud meetoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välis temperatuur, - °C

Value

6

Siseteperatuur, + °C

21

Label

Value

Sp1

10.1 °C

Sp2

10.0 °C

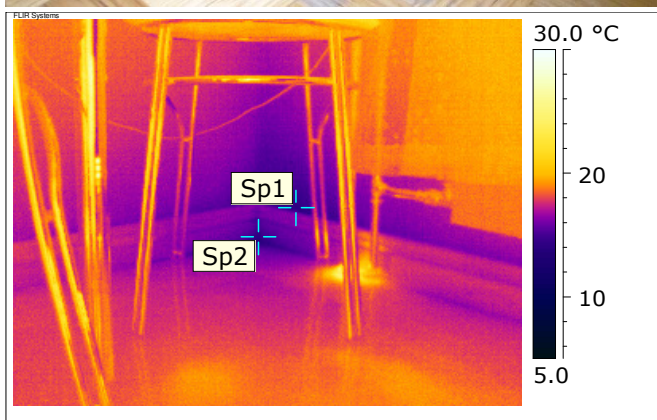
fRsi1

0.60

fRsi2

0.59

Foto



IR Text Comment

Välis temperatuur, - °C

Value

5

Siseteperatuur, + °C

20

Label

Value

Sp1

14.2 °C

Sp2

14.2 °C

fRsi1

0.77

fRsi2

0.77

Kommentaar:

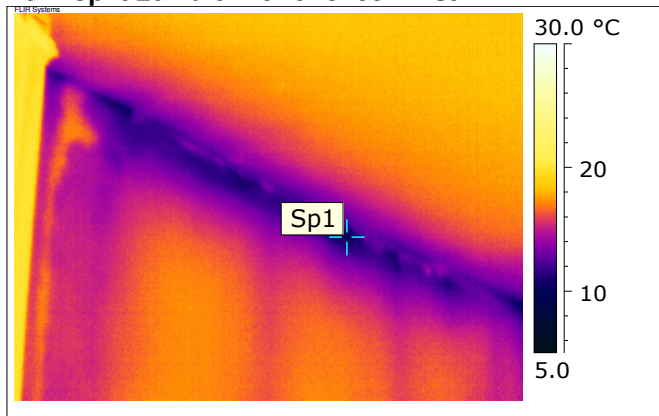
Välissein/keldri vahelagi

Koht Sõpruse pst 244, korter nr 55/58, Tallinn
Leht 10

Möötmise ajad 30.11.2010/13.03.2013

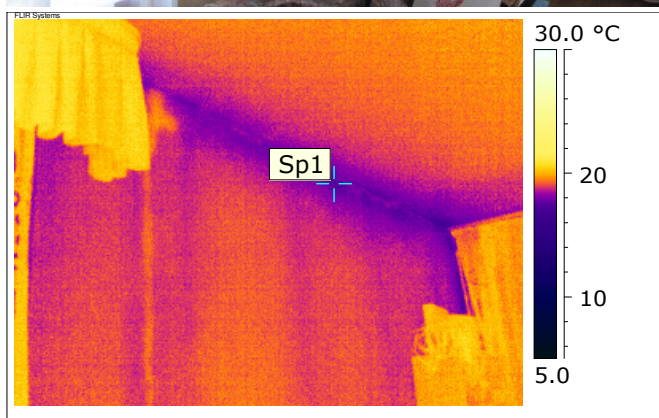
Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	20
Label	Value
Sp1	10.5 °C
fRsi1	0.63

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	5
Sisitemperatuur, + °C	20
Label	Value
Sp1	17.4 °C
fRsi1	0.90

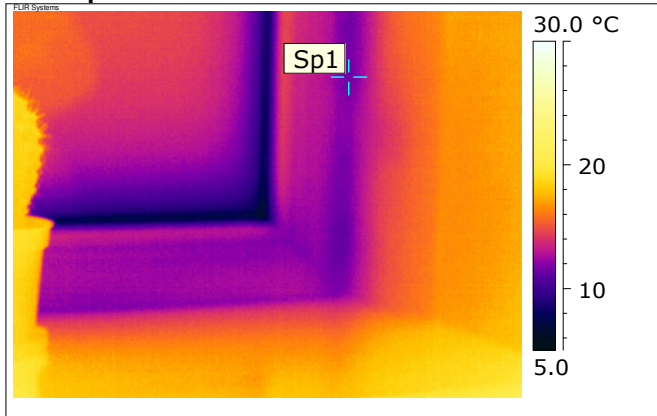
Kommentaar:

Välissein/katus parapetiga

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 55/58, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
 Leht 11

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
 Sisetemperatuur, + °C

Value

6
 20

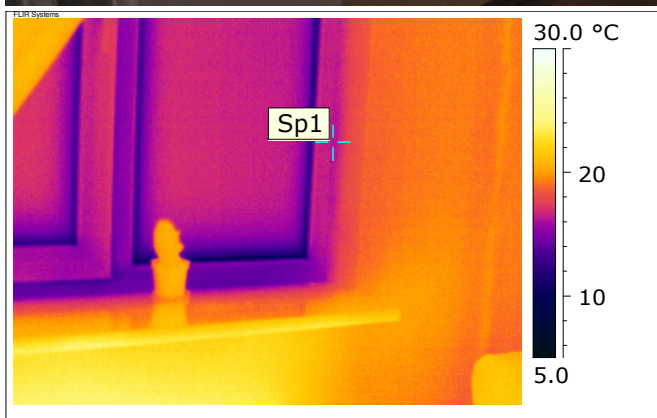
Label

Sp1
 fRsi1

Value

11.7 °C
0.68

Foto



IR Text Comment

Sisetemperatuur, + °C
 Välitemperatuur, - °C

Value

20
 5

Label

Sp1
 fRsi1

Value

16.1 °C
0.84

Kommentaar:

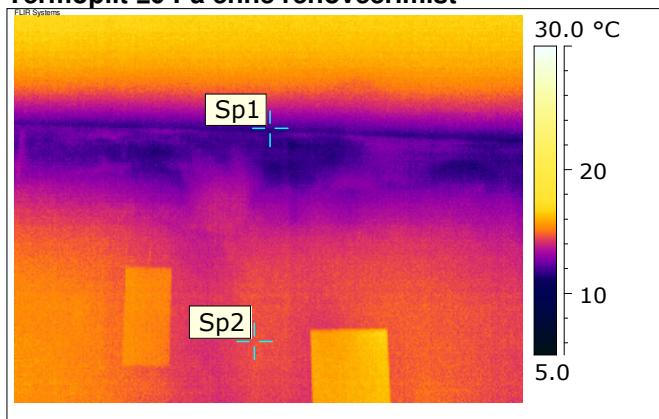
Välissein/aken

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 12

Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
 Sisetemperatuur, + °C

Value

6
 18

Label

Sp1

Value

11.6 °C

Sp2

14.7 °C

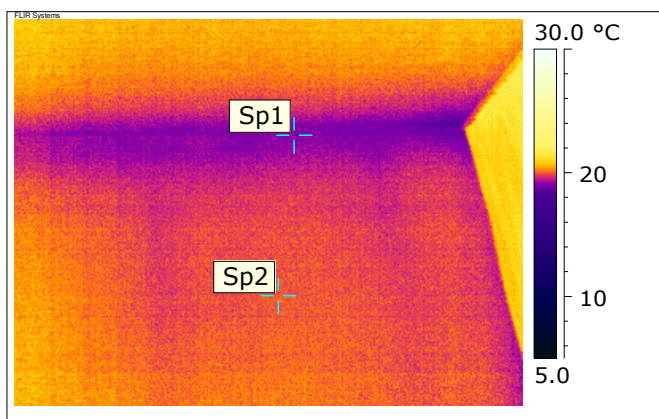
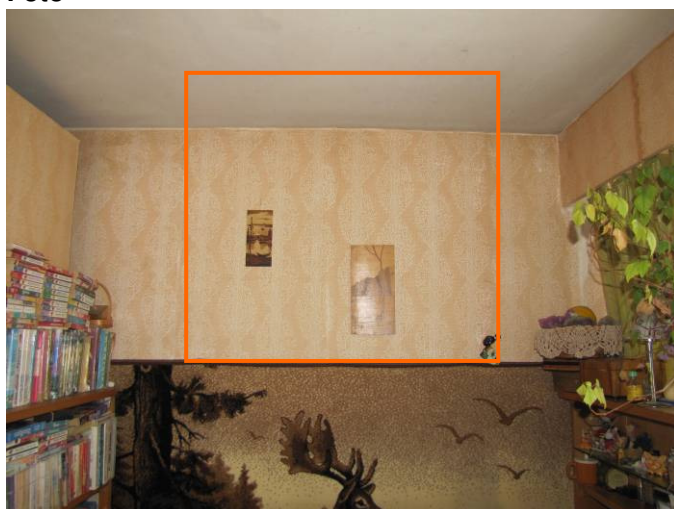
fRsi1

0.73

fRsi2

0.86

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
 Sisetemperatuur, + °C

Value

6
 21

Label

Sp1

Value

19.0 °C

Sp2

20.0 °C

fRsi1

0.93

fRsi2

0.96

Kommentaar:

Välissein/vahelagi

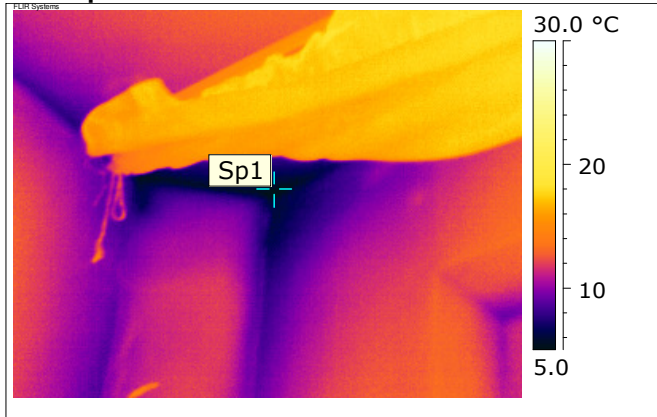
Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**

Mõõtmise **30.11.2010/13.03.2013**
ajad

Leht 13

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
Sisitemperatuur, + °C

Value

6
18

Label

Value

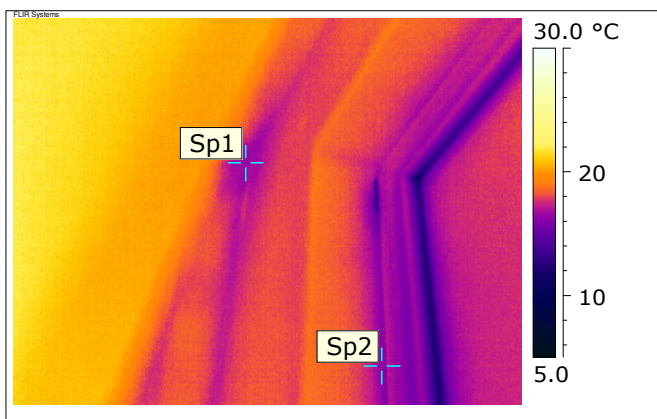
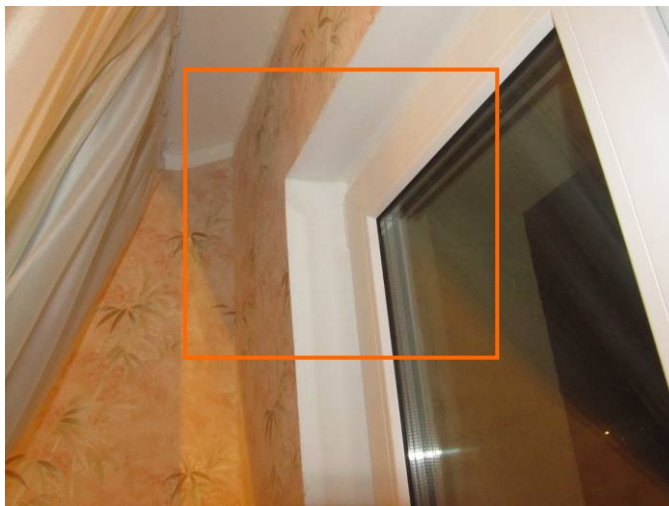
Sp1

5.3 °C

fRsi1

0.47

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
Sisitemperatuur, + °C

Value

6
21

Label

Value

Sp1

16.3 °C

Sp2

16.0 °C

fRsi1

0.83

fRsi2

0.81

Kommentaar:

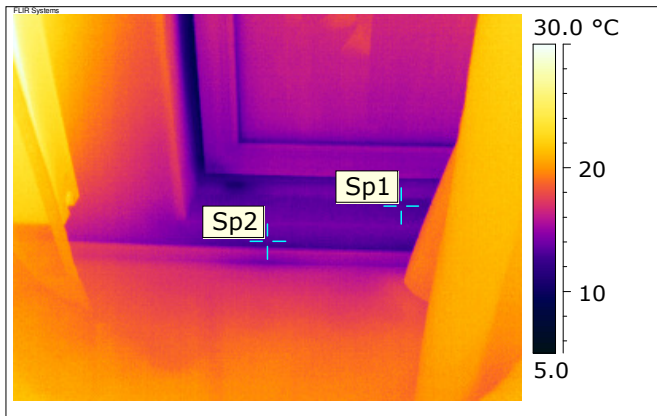
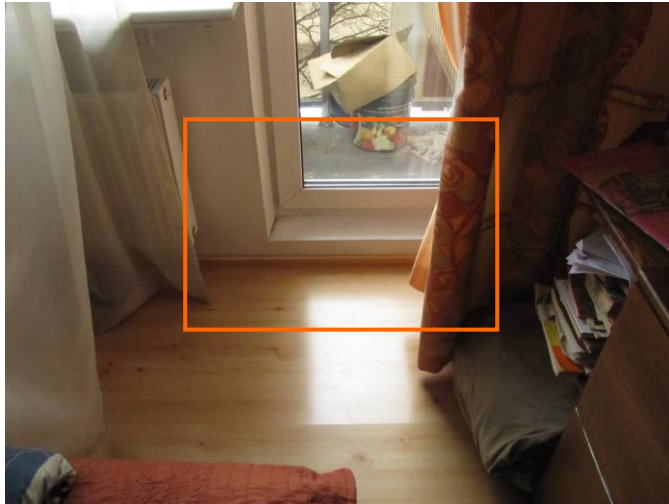
Välisseina välisnurk

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 55/58, Tallinn** Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Leht 14

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välis temperatuur, - °C

Value

6

Siseteperatuur, + °C

20

Label

Value

Sp1

13.2 °C

Sp2

13.1 °C

fRsi1

0.74

fRsi2

0.73

Kommentaar:

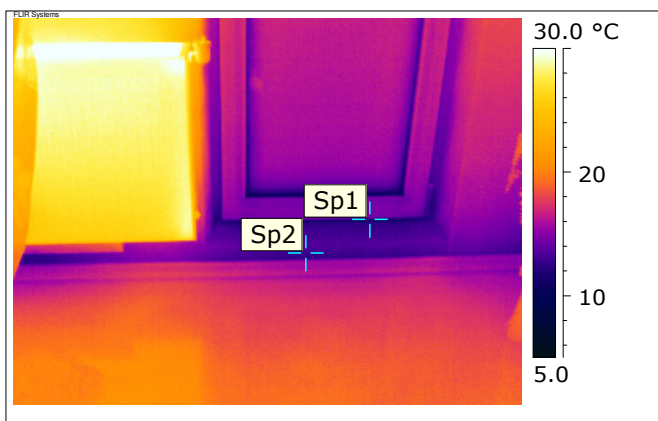
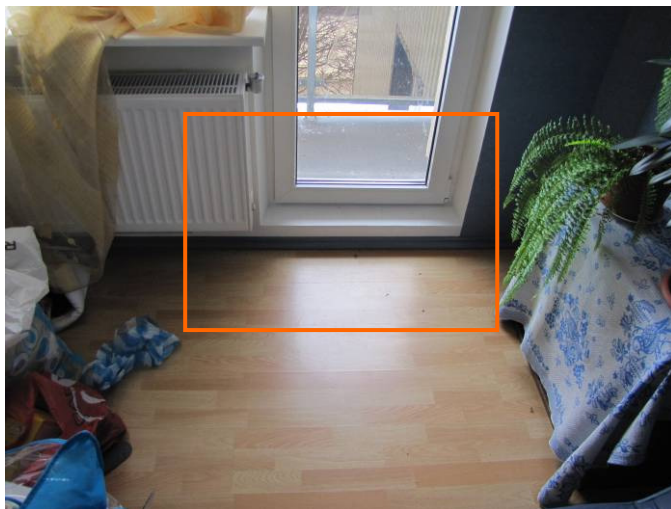
Välissein/rõdu. Kriitiline külmasild (temperatuuriindeks <0,8) on säilinud ka pärast renoveerimist, kuna rõduplaat on soojustamata. Mõningal määral võib tulemust mõjutada ukse tihendi õhuleke.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 15

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
 Sisetemperatuur, + °C

Value

6
 21

Label

Sp1
 Sp2
 fRsi1
 fRsi2

Value

11.8 °C
 12.9 °C
0.66
0.70

Kommentaar:

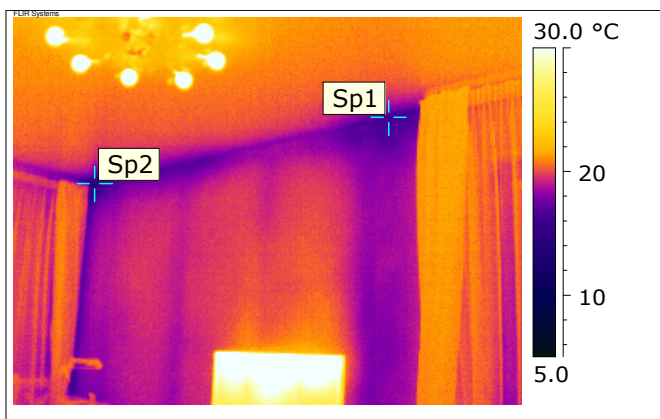
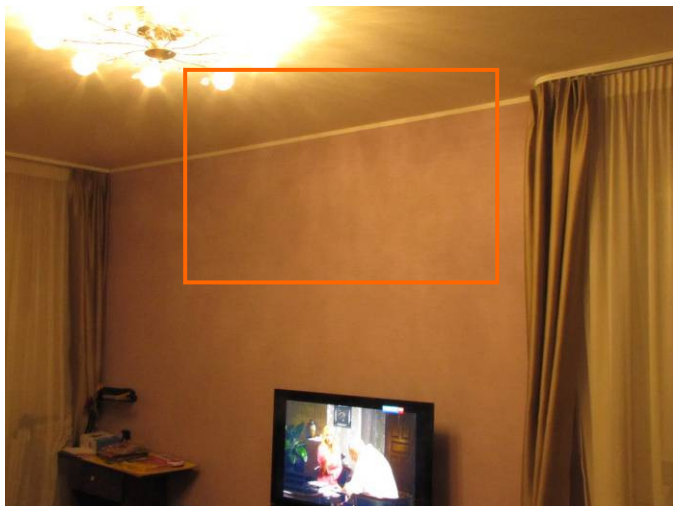
Välissein/rõdu

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 16

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	22
Label	Value
Sp1	15.9 °C
Sp2	14.4 °C
fRsi1	0.78
fRsi2	0.73

Kommentaar:

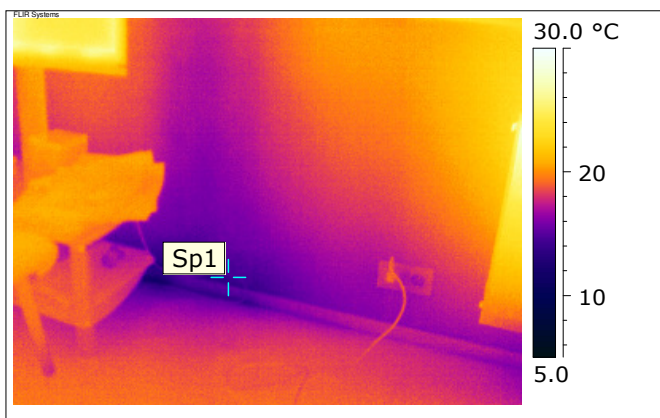
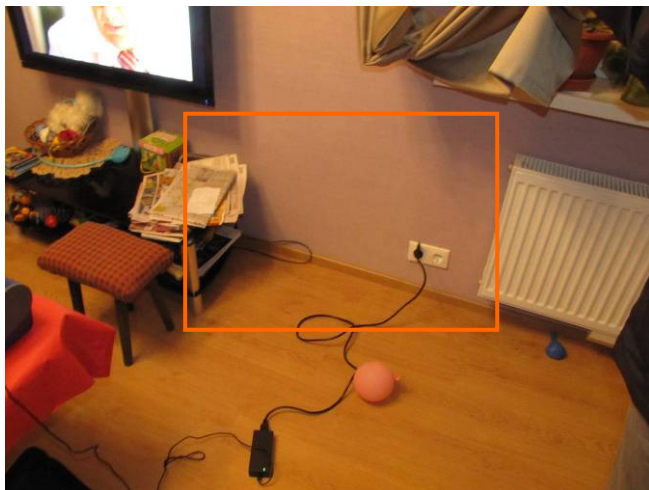
Välissein/vahelagi liitekohas naaberhoonega

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 17

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	22
Label	Value
Sp1	14.0 °C
fRsi1	0.71

Kommentaar:

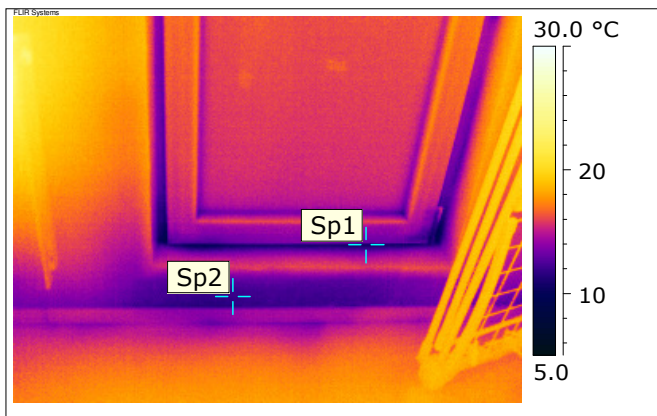
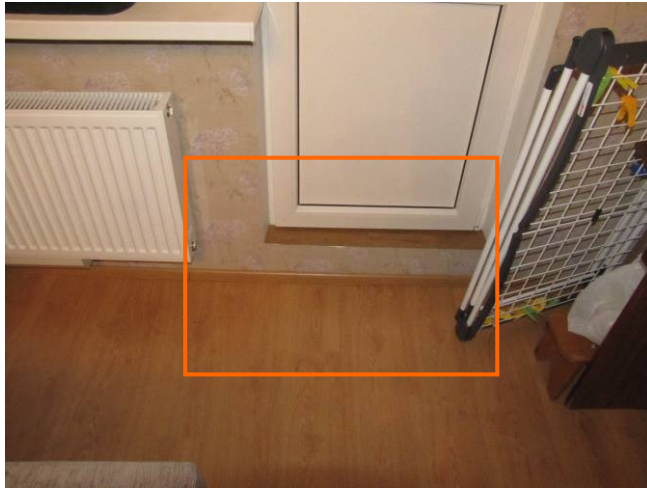
Välissein/vahelagi liitekohas naaberhoonega

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 18

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	21
Label	Value
Sp1	10.7 °C
Sp2	12.0 °C
fRsi1	0.62
fRsi2	0.67

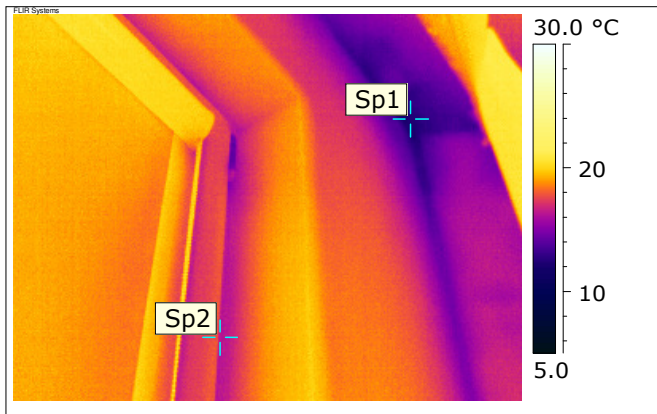
Kommentaar:
 Välistsein/rõdu

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 19

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C

Value

6

Sisitemperatuur, + °C

21

Label

Value

Sp1

12.2 °C

Sp2

16.4 °C

fRsi1

0.67

fRsi2

0.83

Kommentaar:

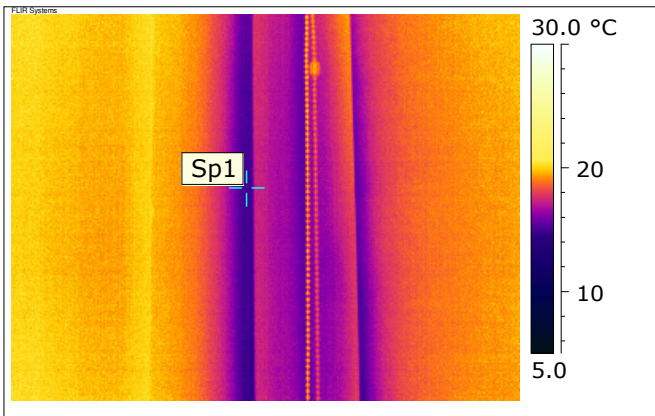
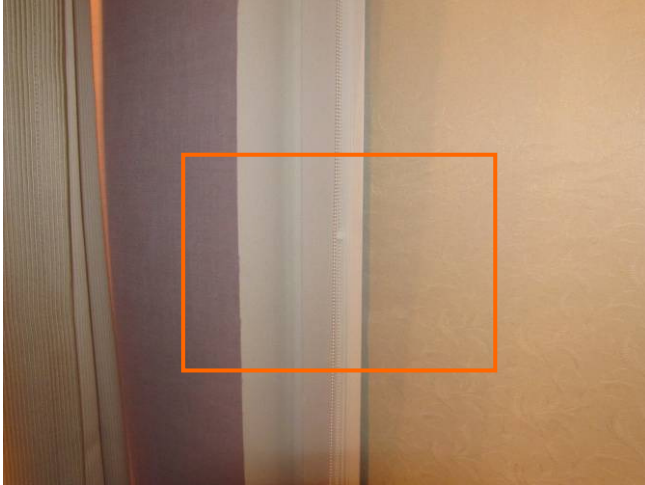
Välisseina välisnurk liitumisel naaberhoonega kolmemõõtmelises olukorras (Sp1)

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**
 Leht 20

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, - °C
 Sisetemperatuur, + °C

Value

6

21

Label

Value

Sp1

14.9 °C

fRsi1

0.78

Kommentaar:

Välissein/aken. Madal pinnatemperatuur (temperatuurindeks <0,8) akna lengi ja seina liitekohas

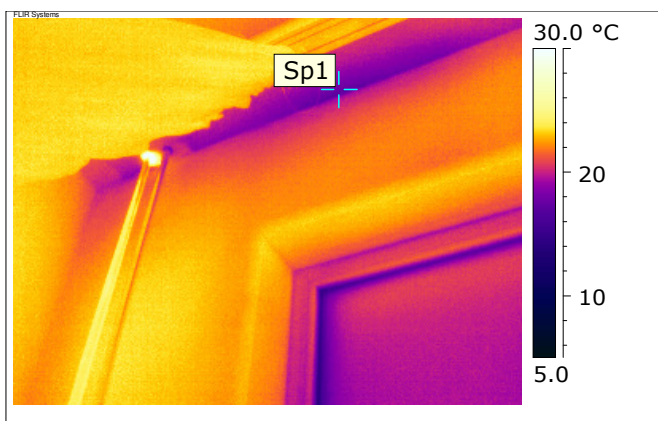
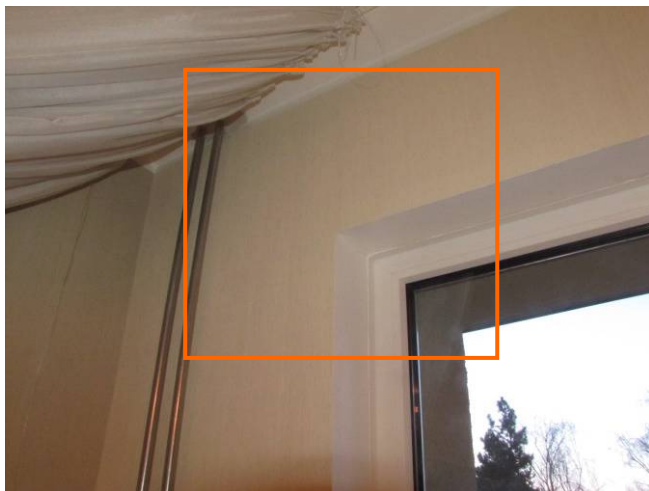
Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**
 Leht 21

Mõõtmise aeg

13.03.2013

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C
 Sisetemperatuur, +°C

Value

6
 23

Label

Sp1
 fRsi1

Value

17.7 °C
0.82

Kommentaar:

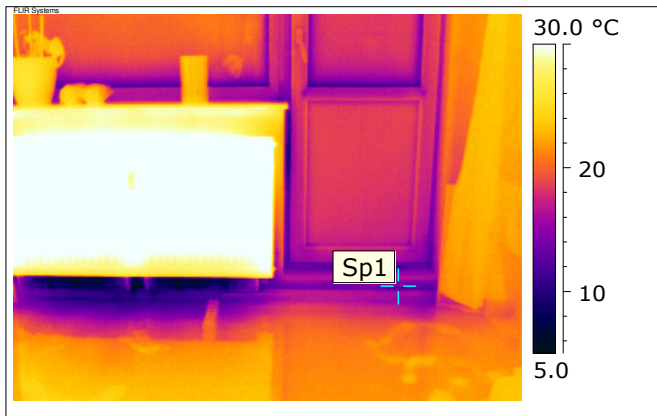
Välissein/vahelagi

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**
 Leht 22

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välis temperatuur, - °C	6
Siseteperatuur, + °C	23
Label	Value
Sp1	12.8 °C
fRsi1	0.65

Kommentaar:

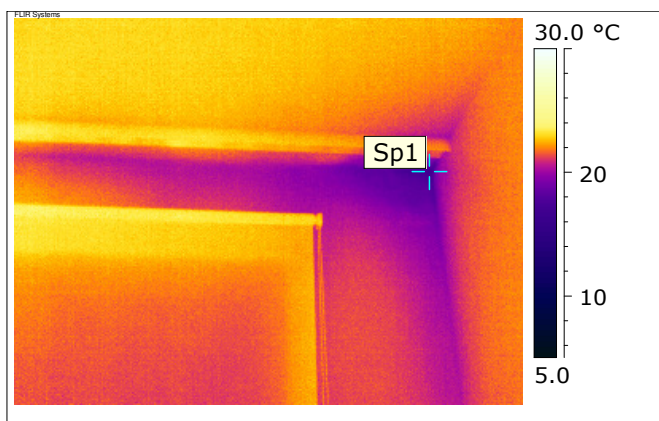
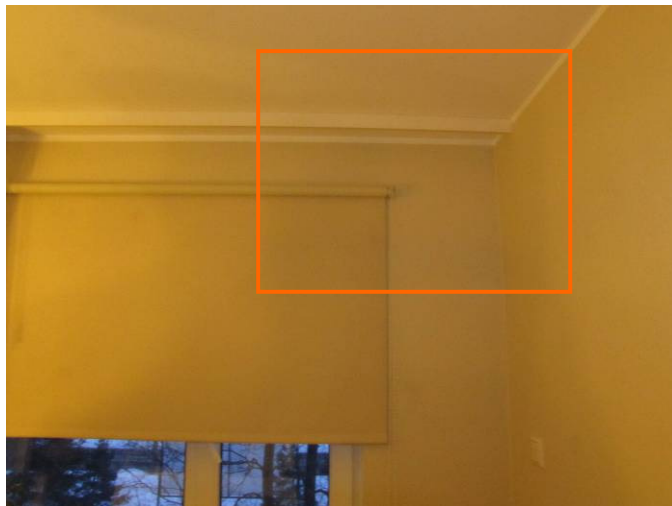
Välissein/rõdu. Pildi vasakul osas radiaatori all on näha madalad pinnatemperatuurid kompensatsiooniõhu lekkest ja/või kiirgusest ava läheduses.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**
 Leht 23

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	23
Label	Value
Sp1	16.6 °C
fRsi1	0.78

Kommentaar:

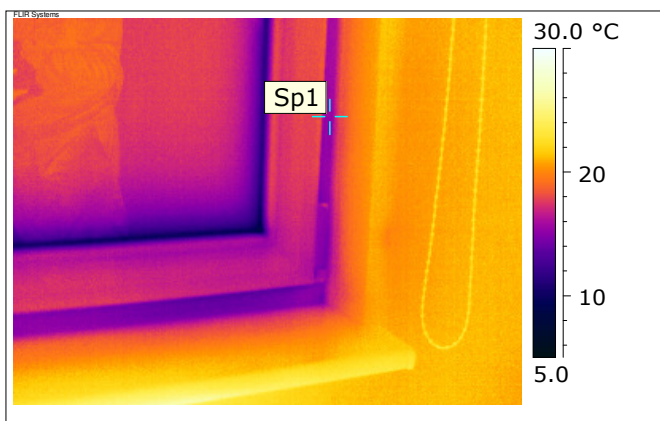
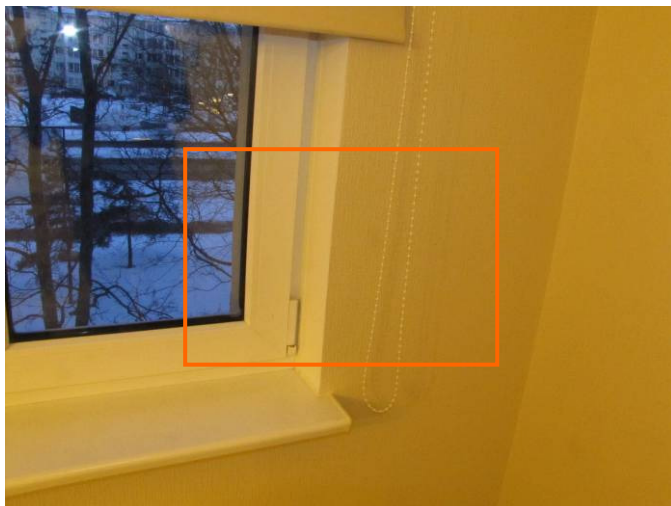
Välissein/vahelagi/sisesein

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**
 Leht 24

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	23
Label	Value
Sp1	15.5 °C
fRsi1	0.74

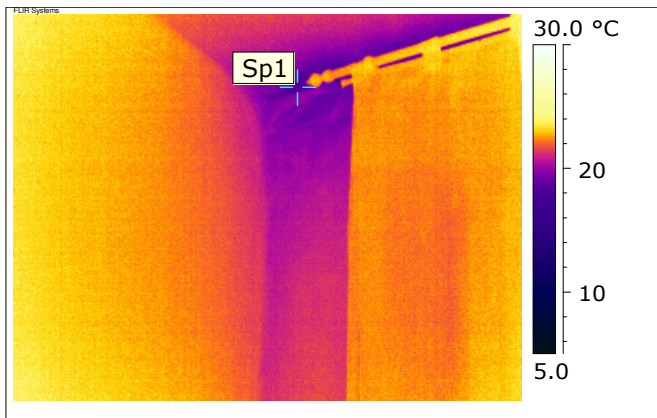
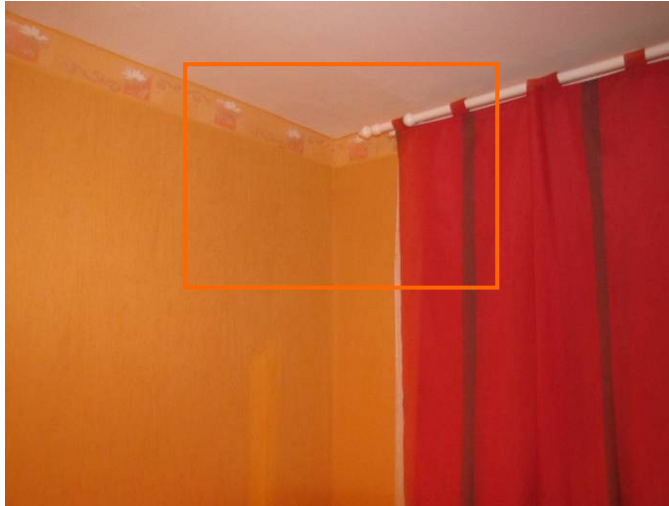
Kommentaar:
 Välissein/aken

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 31, Tallinn**
 Leht 25

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	22
Label	Value
Sp1	18.1 °C
fRsi1	0.86

Kommentaar:

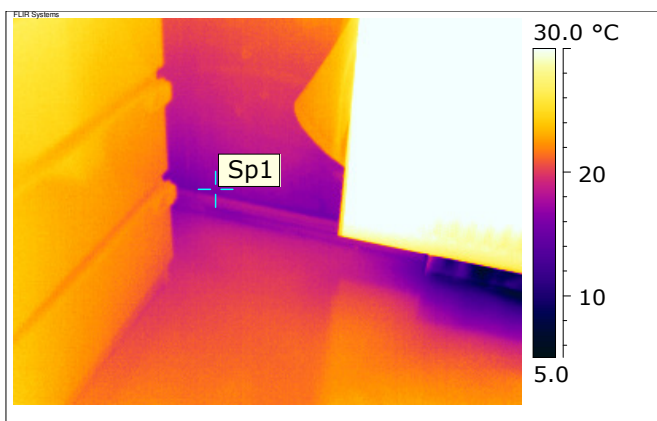
Välissein/vahelagi/sisesein

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 31, Tallinn**
 Leht 26

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välis temperatuur, - °C
 Sisetemperatuur, + °C

Value

6

22

Label

Value

Sp1

16.1 °C

fRsi1

0.79

Kommentaar:

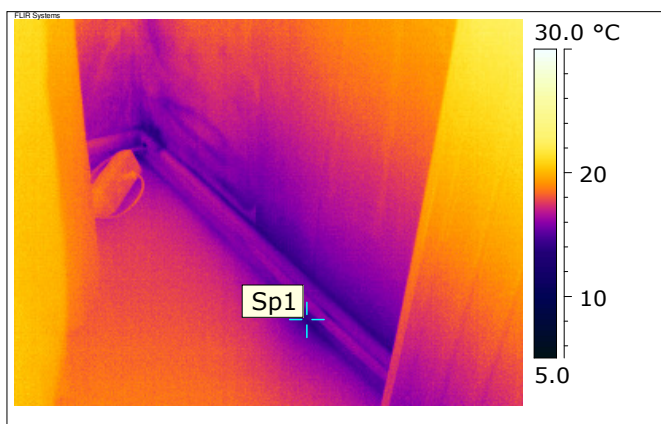
Välissein/keldri vahelagi. Pildi paremal osas radiaatori all on näha madalad pinnatemperatuurid kompensatsiooniõhu lekkkest ja/või kiirgusest ava läheduses.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 31, Tallinn**
 Leht 27

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	22
Label	Value
Sp1	13.7 °C
fRsi1	0.70

Kommentaar:

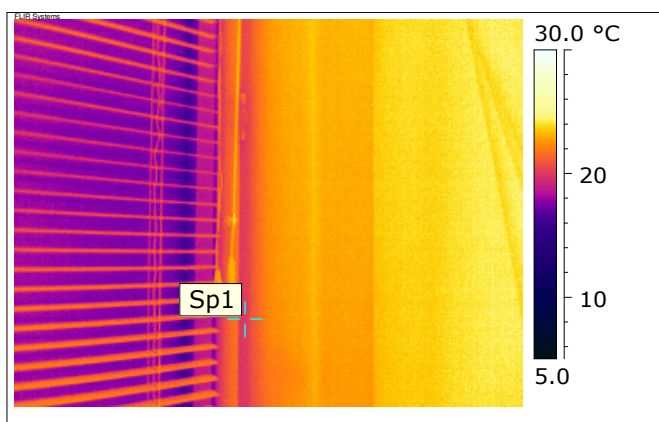
Välissein/keldri vahelagi

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 28

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C

Value

6

Sisitemperatuur, +°C

24

Label

Value

Sp1

19.9 °C

fRsi1

0.86

Kommentaar:

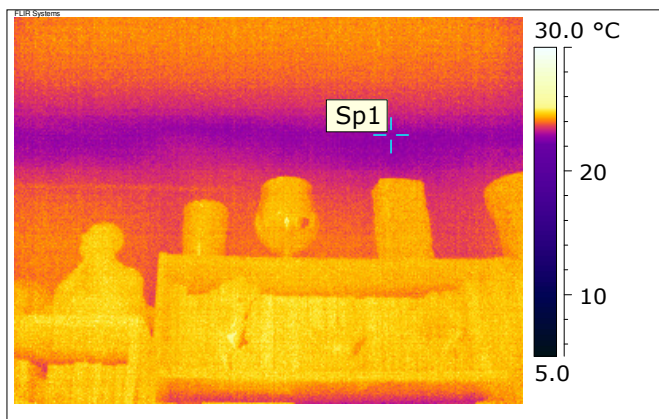
Välissein/aken

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 29

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, - °C	6
Sisitemperatuur, + °C	24
Label	Value
Sp1	22.8 °C
fRsi1	0.96

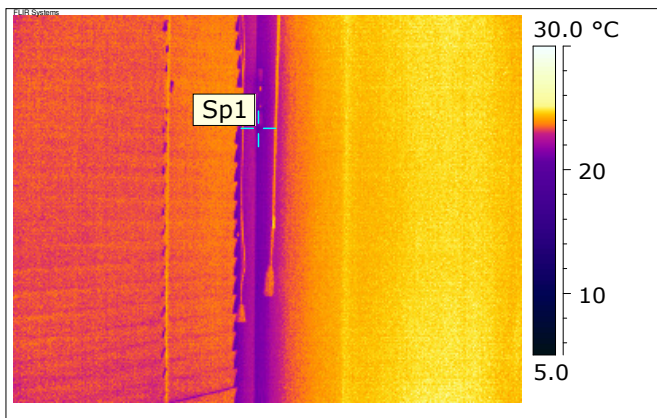
Kommentaar:
 Välissein/katus parapetiga. Külmasild on likvideeritud.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 30

Mõõtmise ajad **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välis temperatuur, -°C	6
Sisem temperatuur, +°C	24
Label	Value
Sp1	20.6 °C
fRsi1	0.89

Kommentaar:

Välissein/aken. Külmasild on likvideeritud, kuna antud akna väline pale on ilmselt õnnestunud soojustada paksemalt.

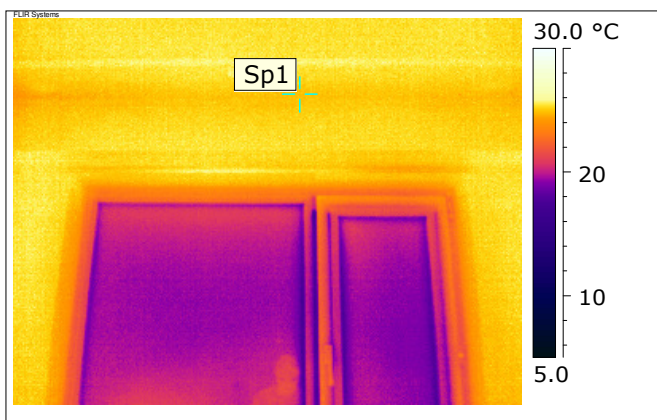
Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 31

Mõõtmise aeg

13.03.2013

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment

Välitemperatuur, -°C

Value

6

Sisitemperatuur, +°C

25

Label

Value

Sp1

24.8 °C

fRsi1

0.99

Kommentaar:

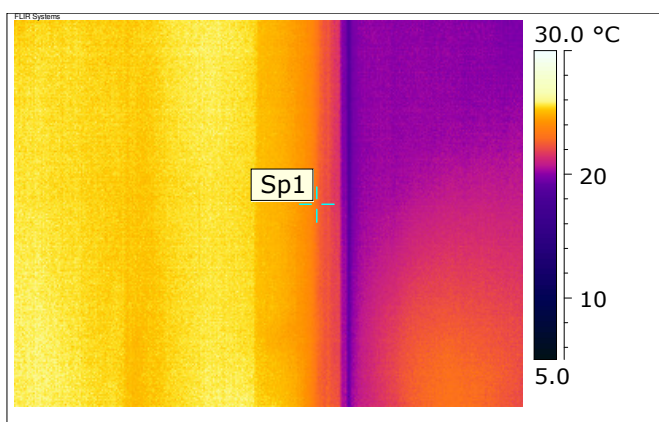
Välissein/katus räästaga. Külmasild on likvideeritud.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 32

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	25
Label	Value
Sp1	22.9 °C
fRsi1	0.93

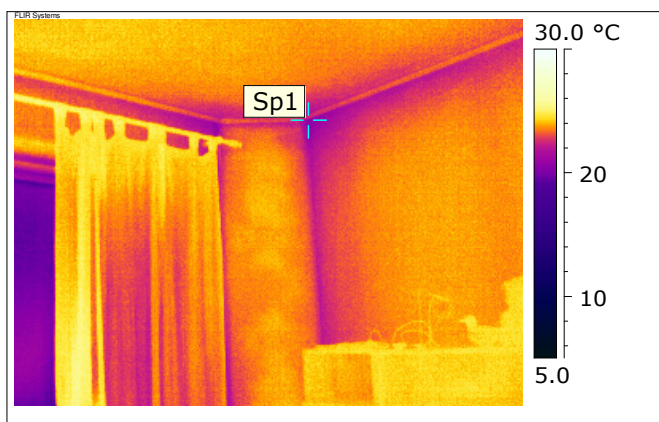
Kommentaar:
 Välisein/aken

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 33

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	25
Label	Value
Sp1	20.4 °C
fRsi1	0.85

Kommentaar:

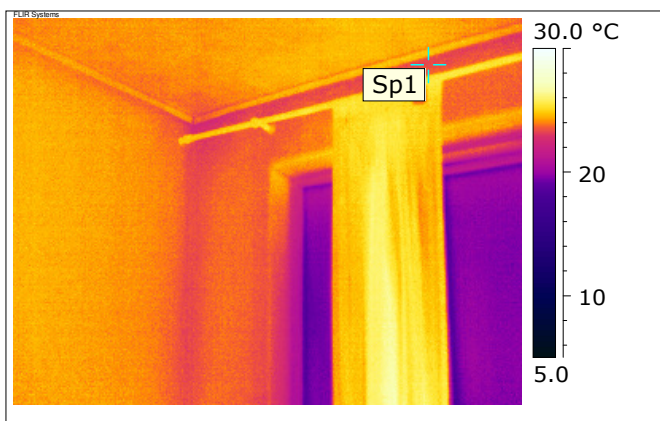
Välisseina välisnurk viimasel korrusel (paremal parapetiga ning vasakul räästaga)

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**
 Leht 34

Mõõtmise aeg **13.03.2013**

Uurimistöös kasutatud meetodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Foto



IR Text Comment	Value
Välitemperatuur, -°C	6
Sisitemperatuur, +°C	25
Label	Value
Sp1	23.5 °C
fRsi1	0.95

Kommentaar:

Välissein/katus räästaga