1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
EHITUSTEADUSKOND

Sõpruse pst 244, Tallinn, korterelamu renoveerimisjärgne uuring

Osa I
Sisekliima analüüs
Energiatarbe analüüs
Külmasildade analüüs

Targo Kalamees, Simo Ilomets, Alo Mikola, Siim Link

2013

Projekti vastutav täitja: professor Targo Kalamees

Sisukord

Sisukord 3
1 Sissejuhatus 4
1.1 Uuringu eesmärk ja ülesanne 4
1.2 Sisekliima 5
1.3 Energiatõhusus 6
1.4 Külmasillad 6
2 Meetodid 7
2.1 Analüüsitud hoone 7
2.2 Sisekliima mõõtmised 9
2.3 Sisekliima hindamiskriteeriumid 10
2.3.1 Temperatuur 10
2.3.2 Niiskus 11
2.3.3 Õhu süsihappegaasisisaldus ja ventilatsiooni õhuvooluhulk 12
2.4 Energiatõhususe analüüsi ja hindamise meetodid 14
2.5 Külmasildade analüüsi ja hindamise meetodid 14
2.5.1 Mõõtmised 15
2.5.2 Arvutused 15
2.5.3 Tulemuste hindamine 16
3 Tulemused 18
3.1 Sisekliima 18
3.1.1 Sisekliima sõltuvus välistemperatuurist 18
3.1.2 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvekuudel 20
3.1.3 Magamistubade siseõhu CO_2-sisalduse mõõtetulemused 21
3.1.4 Siseõhu CO_2-sisalduse vastavus EVS:EN 15251 sihtarvudele 22
3.2 Energiatõhusus 23
3.2.2 Piirdetarindid 32
3.2.3 Soojusbilanss 34
3.2.4 Primaarenergia ja CO_2-heide 35
3.2.5 Majandusarvutused 36
3.2.6 Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass 38
3.3 Külmasillad 39
3.3.1 Termograafilised mõõtetulemused 39
3.3.2 Temperatuurivälja arvutustulemused 40
3.3.3 Akende välja tõstmise majanduslik tasuvus 44
4 Järeldused 46
4.1 Sisekliima 46
4.2 Energiatõhusus 47
4.3 Külmasillad 49
Lisa 1 Energia tarbimisandmed 50
Lisa 2 Termograafia mõõtetulemused 54

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 (CO_2) 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 CO_2-sisalduse mõõtetulemused;
    - siseõhu CO_2-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;
    - renoveerimisseelne, 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.

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 tolmulestade seedeensüümid, mida nad eritavad väljaheite ja eralduvate nahaosakestega (Annus 2008). Tolmulestadele 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, toidu-valmistamine, 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 niiskuskoormust näitab sise- ja välisõhu veeaurusisalduste või veeauru osarõhkude erinevus. Seda suurust nimetatakse niiskuslisaks $\Delta\nu$, g/m^3 (EVS–EN 13788:2001). Kui elamus on suur niiskustootlus (kasutatakse palju vett, õhuniisutus, tihe asustatus jne) ja väike õhuvahetus (halb ventilatsioon), on niiskuskoormus e niiskuslisa suur. Niiskuslisa mõjutab läbi välispiirde toimuvat veeauru difusiooni. Niiskuskoormust 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 (CO_2), formaldehüüd, tolm, tubakasuits ja gaasi põlemisproduktid. Lisaks võib siseõhus olla ka muid gaasilises või hõljuvas olekus lisandeid ja mikroorganisme. Samuti tuleb hoolikalt jälgida radoonisisaldust ja gammakiirgust. Ruumides, kus saasteallikaks on inimesed, iseloomustab õhu kvaliteeti CO_2-sisaldus, 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.

Arvestamaks 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 soojusläbivuse ja sisemõõtudega arvutatud pindala järgi, tuleb külmasildade lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse nurkade (välissein/välissein, põrand/välissein ja katuslagi/välissein) külmasildade soojusläbivustega:

- joonsoojusläbivus Ψ, W/(m·K),
- punktsoojusläbivus χ, W/(n·K).

Külmasilla soojusläbivus on soojusvool vattides (W) läbi külmasilla, kui temperatuuride erinevus on üks kraad (K). Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne soojusläbivus keskmiseks välispiirde soojusläbivuseks, jagades välispiirde summaarse soojusläbivuse 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, 5º kaldega katusega, madalvundamendiga, rõdudega suurpaneelelamu (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)
Köetav pind	2967,6 m^2 (arvutuslik)
Eluruumide pind	2687,6 m^2 (EHR)
Hoone maht	10 698 m^3 (EHR)
Köetavate 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, välisuksed 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 soojaveevarustuse ja küttesüsteemi. Värske õhu sissevool eluruumidesse on ette nähtud läbi värskeõhuavade 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 Suhteline niiskus 5%...95%	Temperatuur ±0,35 °C 0 °C…50 °C 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(CO_2^-)sisalduse mõõtmiseks kasutati HOBO andmeid salvestavaid logereid ja TelAire 7001 CO_2^-andureid. Süsihappegaasisisaldus ruumiõhus salvestati iga 10 minuti järel magamistubades 1…1,5 m kõrgusel põranda pinnast. Magamistubades magas öösel enamasti 1…2 inimest. Kümneminutine salvestusintervall määrab CO_2 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. CO_2 taseme ja väljatõmbe õhuvooluhulga mõõtmisel kasutatud seadmed.

	HOBO U12-006	TelAire 7001	SwemaFlow 230
Mõõte-piirkond	0…2,5 V DC (0…4000 ppm)	CO_2 tase 0…10000 ppm	Õhuvooluhulk 0…60 l/s
Mõõte-täpsus	±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

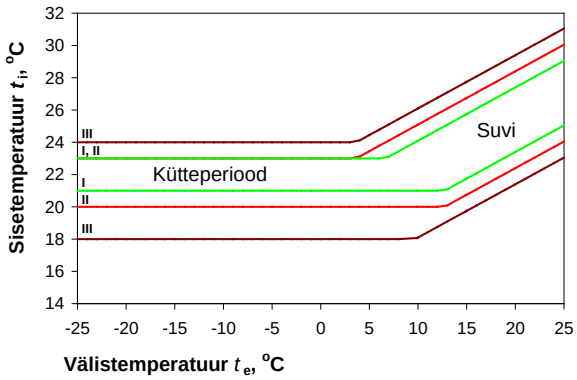
Soovitusi ja nõudeid eluruumide temperatuuri ja suhtelise niiskuse kohta võib leida nii erinevatest teaduslikest uuringutest kui ka määrustest ja standarditest. Eluruumidele esitatavate nõuete (VV määrus nr 38) kohaselt peab õhutemperatuur eluruumis olema optimaalne, looma inimesele hubase soojatunde 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 ºC.

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 soojusks. 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	Prognositud sisekliimaga rahulolematute protsent PPD, %	Soojusliku mugavus-tunde 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) piirsuurusi, 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 suurusi, 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 veeaurusisalduste erinevus) alusel:

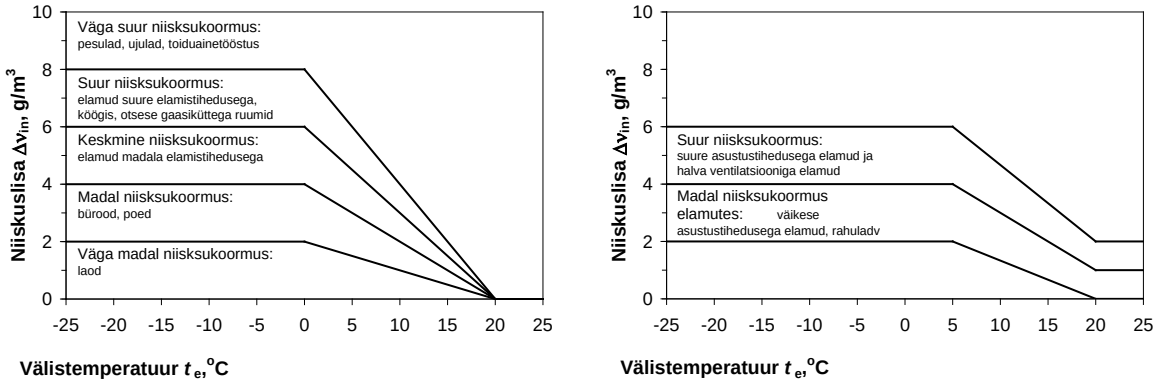
$$\Delta\nu = \nu_i - \nu_e \text{ , g/m}^3 \qquad 2.1$$

kus:

ν_i siseõhu veeaurusisaldus, g/m^3;
ν_e välisõhu veeaurusisaldus, g/m^3.

Niiskuskoormuse analüüsis on igast korterist arvutatud igale välisõhu temperatuurile vastav nädala keskmine niiskuslisa, millest on arvutatud keskmine ja maksimumsuurus. Maksimumsuurusest arvutatud 90% fraktiil.

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. Niiskuslisa 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 °C	Suvi t_e > +15..20 °C	Talv t_e <+5 °C	Suvi t_e >+15..20 °C	Talv t_e <+5 °C	Suvi t_e >+15..20 °C
Keskmine suurus, niiskuskoormuse hindamisel sise-kliima mõõtmiste alusel	3 g/m^3	1,0 g/m^3	2,5 g/m^3	0,7 g/m^3	2 g/m^3	0,5 g/m^3
Projektsuurus niiskustehniliste arvutuste 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 niiskuslisa 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 süsihappegaasisisaldus 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 ventilatsiooni-süsteemide 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 CO_2 sisaldust eluhoonetes hoonete energiatõhususe lähteparameetrite määramise standard

(EVS-EN 15251) ja sisekliima projekteerimiskriteerium (CR 1752). EVS-EN 15251 määratud CO_2 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 CO_2-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 sisekliima-klasside õhuvooluhulga ning siseõhu CO_2-sisalduse piirnormid. Need normid vastavad ühtlasi ka sisekliima projekteerimiskriteeriumis toodud väärtustele (Tabel 2.9). Sellest lähtuvalt kasutatakse käesolevas uuringus siseõhu CO_2-sisalduse hindamiseks projekteerimiskriteeriumis CR 1752 toodud piirnorme, sealjuures on välisõhu CO_2-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 CO_2 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 CO_2 tekitajaks on inimene (CR 1752).

Sisekliima-klass	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 sisekliima-klassi järgi (ventilatsiooni projekteerimisnorm EVS 845-1 soovitab magamistoa õhuvooluhulgaks võtta 0,7 $l/(s \cdot m^2)$ 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 $l/(s \cdot m^2)$, mis 2,5 m kõrguse ruumi korral tähendab õhuvahetuse kordsust 0,07…0,15 h^{-1}.

2.4 Energiatõhususe analüüsi ja hindamise meetodid

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/(m^2 a) (tüüpiline aasta);
- saavutada eesmärkide seadmise ajal kehtinud seaduste alusel renoveerimisega energiatõhususe klass C ehk energiatõhususarv vahemikus 121…150 kWh/(m^2·a) (energiatõhususe miinimumnõuete määruse eelmise versiooni ääretingimuste kohaselt);
- sisekliima taseme (sh õhuvooluhulgad ja soojuslik mugavus) vastavus II klassi (EVS-EN 15251) piirsuurustele.

2.5 Külmasildade analüüsi ja hindamise meetodid

Keha, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, s.o –273,15 °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 soojusläbivuse ja niiskusesisalduse ebaühtlusele;
- hinnata erinevate pinnatemperatuuride alusel, kui palju erineb hoonepiirete soojusläbivus;
- leida õhulekkekohti ja hinnata nende suurust, tehes termograafilised mõõtmised normaaltingimustes ja ala- või ülerõhu tingimustes;
- hinnata ehituskvaliteeti – külmasillad, õhulekkekohad ja puudulik soojustus on tingitud eelkõige halvast ehituskvaliteedist;
- leida seina- ja põrandasiseseid veetorusid ning ülekuumenenud elektrijuhtmeid.

Termograafia abil ei saa aga määrata piirdetarindite soojusläbivust, 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, kogenud mõõtja, termopiltide korrektne tõlgendus.

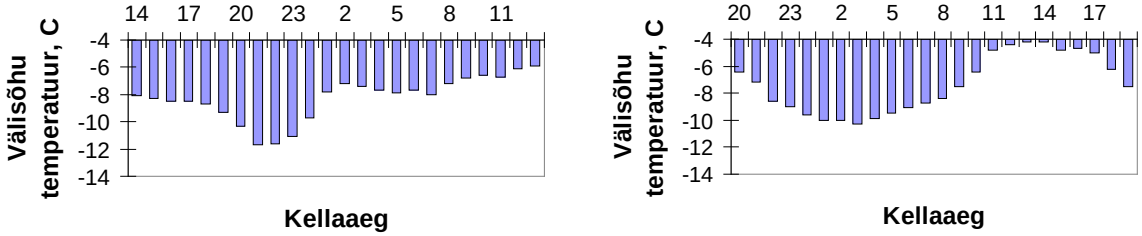
Uurimistöös keskenduti järgmiste liitekohtade külmasildade analüüsile:

- 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 °C…+500 °C, tundlikkus 0,10 °C, mõõtmistäpsus ±2 °C, +2% (kordusmõõtmisel ±1 °C, +1%), sensor 320 × 240 pikslit). Termograafilised mõõtmised tehti peamiselt korteri tavatingimustes.

Mõõtmiste ajal oli sise- ja välistemperatuuri taotluslik erinevus > 20 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 2.5. Mõõtmiste ajal puhus hoone ümbruses nõrk tuul.



Joonis 2.5. Välisõhu temperatuurid enne (vasakul) ja pärast (paremal) termograafilisi mõõdistusi.

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

2.5.2 Arvutused

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

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

kus:

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

U_j ühemõõtmelise tarindi *j* soojusläbivus, mis eraldab sise- ja väliskeskkonda, W/(m^2·K);

l_j vaadeldava ühemõõtmelise tarindi pikkus, m.

Joonsoojusläbivuste arvutustes kasutati sise- ja välispinna keskmisi soojustakistusi ehk sisepinna soojustakistusi R_{si}: sein 0,13 m^2·K/W; põrand 0,17 m^2·K/W; lagi 0,10 m^2·K/W. Temperatuuriindeksi arvutustes kasutati suuremat sisepinna soojustakistust 0,25 m^2·K/W.

Välispinna soojustakistus on kõikidel juhtudel 0,04 $m^2 \cdot K/W$. Kasutatud materjalide soojuserijuhtivused on esitatud Tabel 2.10.

Tabel 2.10. 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 soojusläbivus U_c koosneb välisseina soojusläbivusest U ning sellele lisatud välisseina pindalale jagatud külmasildadest vastavalt valemile:

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

kus:

Ψ külmasilla joonsoojusläbivus, W/(m·K);
l_j külmasilla pikkus, m;
A välispiirde pindala, m^2.

Akende paigaldusvariantide lihttasuvusaja arvutamisel kasutati 2012.-nda aasta kaugkütte soojus 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 temperatuuriindeks f_{Rsi}: (Hens 1990, EVS-EN ISO 13788):

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \qquad 2.2$$

kus:

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

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

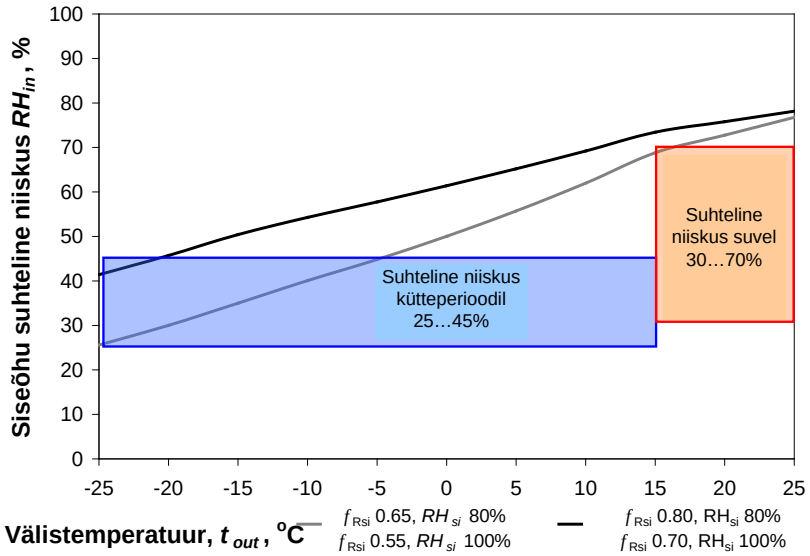
Temperatuuriindeksi piirarvu kriitilisuse määravad eelkõige:

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

Eestis on temperatuuriindeksi piirsuurused arvutatud välja lähtuvalt niiskuskoormusest ning hallituse kasvu ja veeauru kondenseerumise vältimise kriteeriumidest (Tabel 2.11 ja Joonis 2.6). Valdavalt tuleb kasutada hallituse tekke vältimise kriteeriumit. Kui ruumides on niiskuskoormus suurem (puudulik ventilatsioon, suur niiskustootlus), peavad hoonepiirded ja nende liitekohad olema paremini soojustatud.

Tabel 2.11. Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused Eestis.

Niiskuskoormus	Temperatuuriindeksi piirsuurus f_{Rsi},- (mõõdetud või arvutatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)		
	Hallituse	vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuslisa talvel Δν = 4 g/m^3 ja suvel Δν = 1 g/m^3, need on väikese/keskmise asustusega ja hea ventilatsiooniga elamud.	0,65		0,55
Niiskuslisa talvel Δν = 6 g/m^3 ja suvel Δν = 2 g/m^3, need on suure asustusega ja halva/teadmata ventilatsiooniga elamud.	0,8		0,7



Joonis 2.6. Siseõhu suhtelise niiskuse ja temperatuuriindeksi vaheline sõltuvus erinevatel välisõhu temperatuuridel.

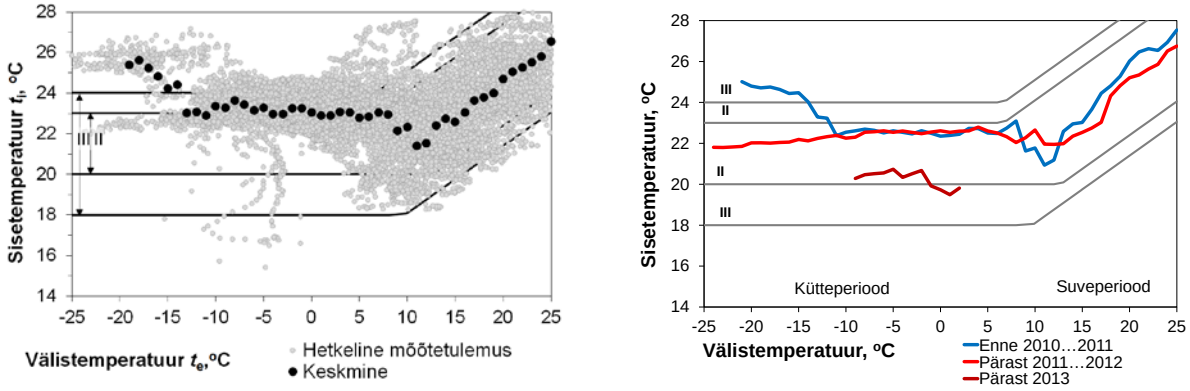
Temperatuuriindeksi piirsuuruseks on 0,8.

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). Korterites mõõdetud ööpäeva keskmised sisetemperatuuri ja välistemperatuuri vahelised sõltuvused enne ja pärast hoone renoveerimist on toodud Joonis 3.1 paremal.

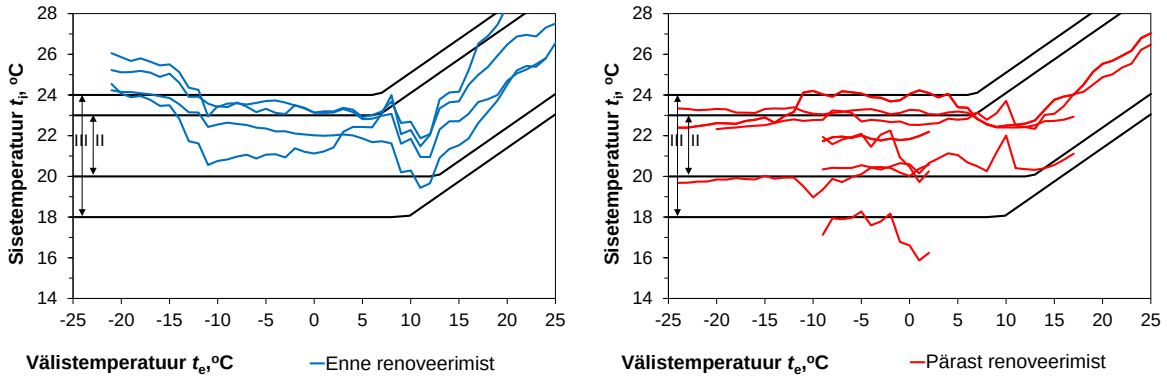


Joonis 3.1. Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris kogu mõõteperioodi jooksul (vasakul) ja keskmine sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist korterites enne ja pärast renoveerimist (paremal).

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 talvepäevadel. Selle põhjuseks saab olla

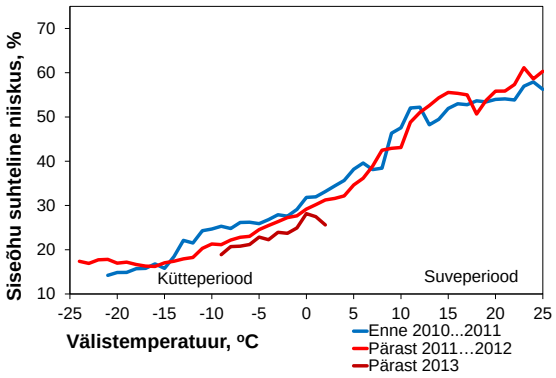
- asjaolu, et soojusregulaatori graafik ei ole korras. Kui korterites puuduvad radiaatoritel termostaadid, sõltub sisetemperatuur erinevatel välistemperatuuridel otseselt soojussõlme reguleerimisgraafikust (välistemperatuurist sõltuva küttevee temperatuuri sõltuvuse tõusunurk ja graafiku tase). Kui soojusregulaatori 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.

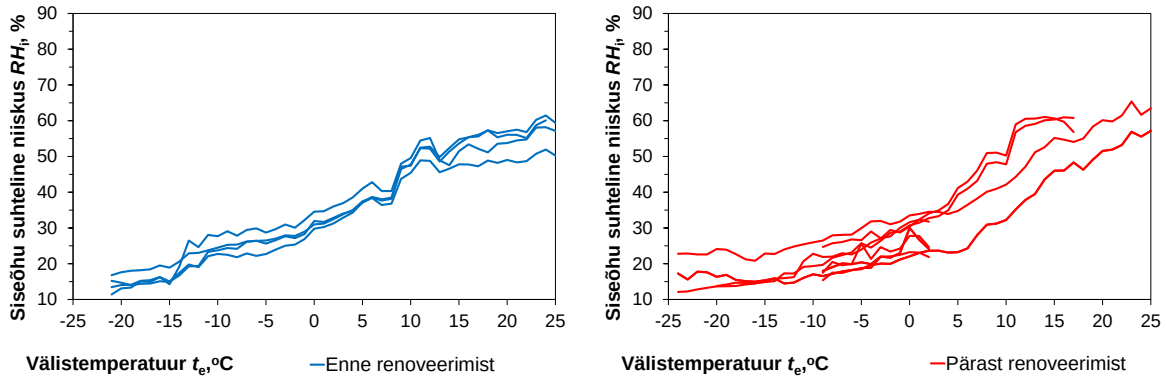


Joonis 3.2. Sisetemperatuuri sõltuvus välistemperatuurist korterites enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

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



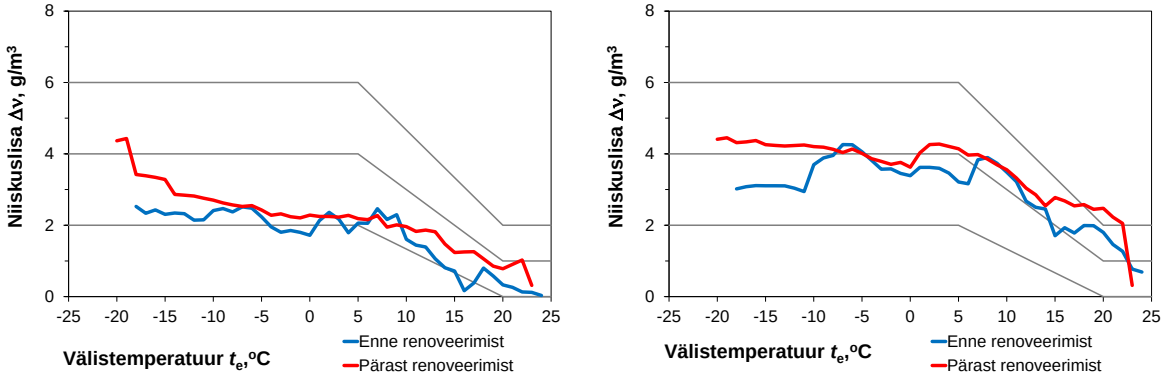
Joonis 3.3. Keskmine siseõhu suhtelise niiskuse sõltuvus välistemperatuurist enne ja pärast renoveerimist.



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

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

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

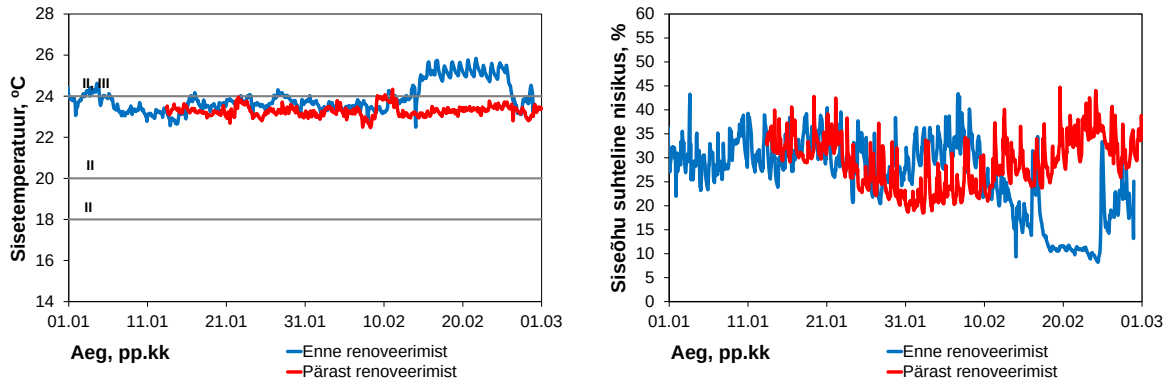


Joonis 3.5. Niiskuslisa sõltuvus välistemperatuurist ühes korteris (vasakul) ja kõikides korterites (paremal).

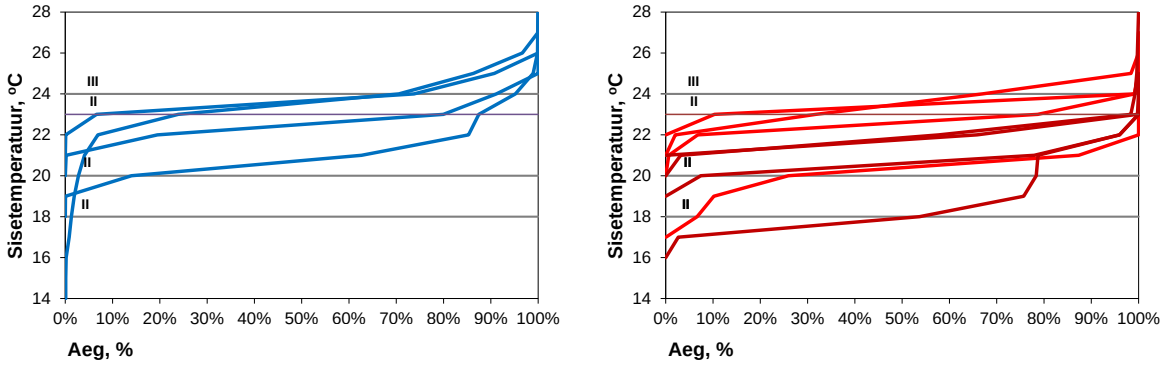
Võrreldes renoveerimiseelset ja renoveerimisjärgset niiskuskoormust korterites tuleb tõdeda, et see ei ole vähenenud. Seega tuleb põhjust otsida ventilatsiooni toimimisest, mis soojuslikku mugavust mitte tagades võib kaasa tuua selle, et elanikud vähendavad ventilatsiooniõhuhulka.

3.1.2 Sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvekuudel

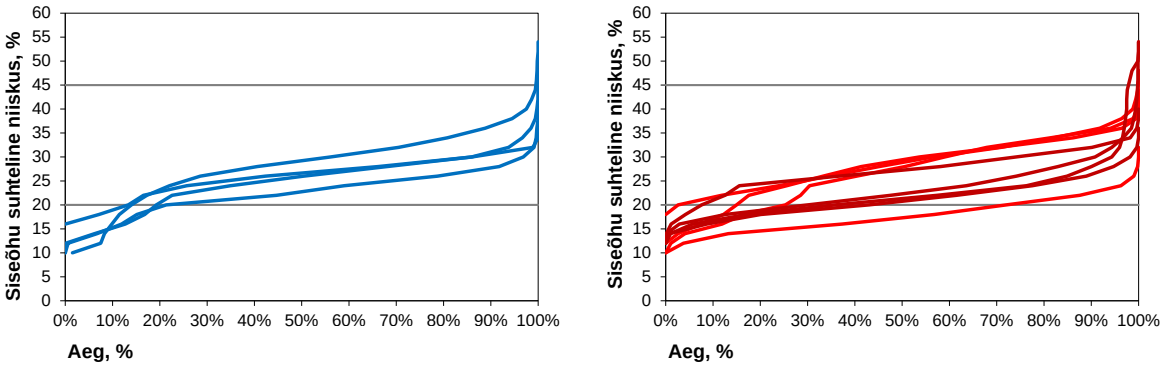
Hindamaks sisetemperatuuri ja suhtelist niiskust EVS-EN 15251 standardi piirsuurustele on mõõtetulemusi analüüsitud talvekuudel (detsember, jaanuar, veebruar). Ühe korteri sisetemperatuur ja suhteline niiskus talvel enne ja pärast renoveerimist on toodud Joonis 3.6. Mõõtmistulemustest on näha, kuidas külmal perioodil (veebruari lõpp, keskmine temp –17 ºC) soojusliku mugavuse suurendamiseks tehtud sisetemperatuuri tõus on langetanud õhu suhtelise niiskuse väga madalale (~10%RH). Soojematel perioodidel (> –10 ºC) 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. Korteri sisetemperatuur (vasakul) ja suhteline niiskus (paremal) talvel enne ja pärast hoone renoveerimist.



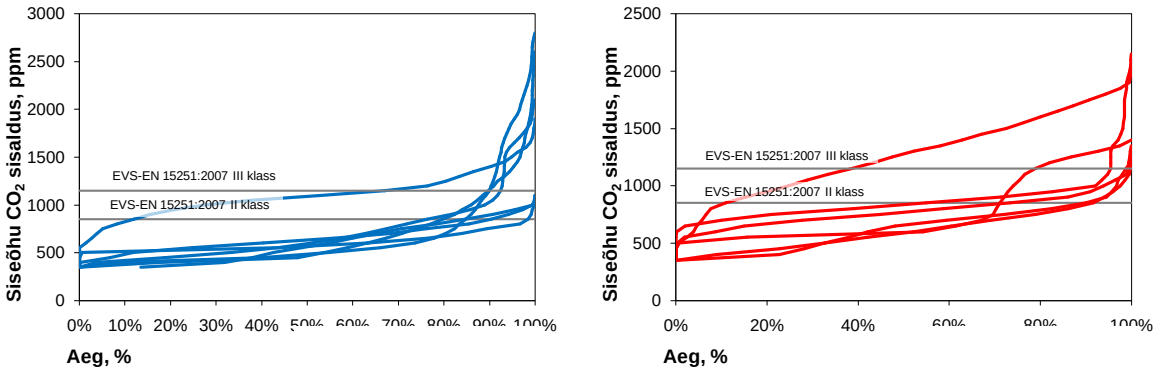
Joonis 3.7. Kõikide korterite sisetemperatuuride jaotus talvekuudel enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



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

3.1.3 Magamistubade siseõhu CO_2-sisalduse mõõtetulemused

Siseõhu kvaliteeti hinnati õhu süsihappegaasisisalduse alusel. Joonis 3.8 on toodud erinevate korterite magamistubade siseõhu CO_2-sisalduse kumulatiivsed jaotused enne ja pärast hoone renoveerimist. Enne hoone renoveerimist mõõdetud siseõhu minimaalne CO_2-sisaldus oli 241 ppm, maksimaalne 2828 ppm ning keskmine 1068 ppm. Pärast renoveerimist oli minimaalne CO_2-sisaldus õhus 352 ppm, maksimaalne 2153 ppm ja mõõtmistulemuste keskmine oli 818 ppm.

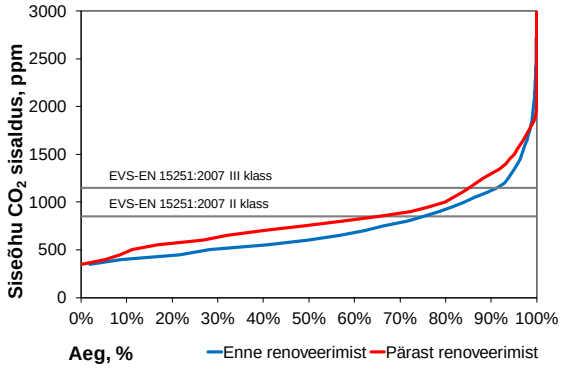


Joonis 3.9. Magamistubade CO_2-sisaldus enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

3.1.4 Siseõhu CO_2-sisalduse vastavus EVS:EN 15251 sihtarvudele

Hindamaks siseõhu CO_2-sisaldust standardi EVS-EN 15251 lähteparameetritele on analüüsitud hoone renoveerimise eelset ja renoveerimise järgset siseõhu kvaliteeti. Enne renoveerimist vastas siseõhu CO_2-sisaldus sisekliima II klassi väärtusele 75% mõõteperioodi ajast ja III klassi väärtusele 91% ajast. Pärast renoveerimist vastas siseõhu CO_2-sisaldus sisekliima II klassi väärtusele 65% mõõteperioodi ajast ja III klassi väärtusele 85% ajast.

Arvestades asjaoluga, et standardis EVS-EN 15251 on lubatud piirsuuruste ületamine 5% hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas, siis enne renoveerimist vastas sisekliima III klassi nõuetele 43% uuritud tubadest. Pärast renoveerimist vastas sisekliima III klassi nõuetele 67% uuritud tubadest.



Joonis 3.10. Siseõhu CO_2-sisalduse kumulatiivne jaotus enne ja pärast renoveerimist.

Võrreldes renoveerimiseelset ja renoveerimisjärgset CO_2-sisaldust siseõhus saab järeldada, et ainevahetusliku CO_2 keskmine tase hoone magamistubadeson mõningal määral langenud. . Siseõhu CO_2 kontsentratsioonide mõõtmise järgi ei saa otseselt õhuvahetuse intensiivistumise kohta järeldusi teha, kuid magamistubades tehtud mõõtmiste põhjal võib kaudselt välja tuua, et III sisekliima klassi kuuluvate tubade arv on varasemaga võrreldes 24% võrra suurenenud. Pärast renoveerimist teostatud CO_2 mõõtmistulemuste üldist positiivset fooni mõjub negatiivselt üks teistest oluliselt kõrgema siseõhu CO_2 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 suur õhuvahetuse erinevus peitub paljuski selles, et ventilatsioonisüsteem ei ole tasakaalus . . Positiivse poole pealt võib välja tuua asjaolu, et loomuliku ventilatsiooni asendamine tsentraalse mehaanilise väljatõmbeventilatsiooniga on muutnud õhuvahetuse aasta vältel stabiilsemaks.

Peamised põhjused, miks mõõdetud saasteainete kontsentratsioon ei vasta pärast renoveerimist kõikides korterites 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;
- värskeõhuradiaatorite filtrite mustumine;
- süsteemide puudulik ekspluatatsiooniaegne 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-plokk	Näitaja	Renoveerimiseelne periood			2012	Ühik	Märkus (2012)
		2007	2008	2009			
Üldine tarve/ toodang	Mõõdetud 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 mõõdetud
- MA – mitu tarbijat on mõõdetud koos ning tarbimine on leitud arvutuslikul teel tarbimise jaotumise järgi
- A – arvutatud varem mõõdetud või välja arvutatud 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 mõõdetud 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	A
	Tegeliku aasta KP	3 386	3 176	3 618	3 248	°C d	
	Normaalaasta KP		3 829		3 164	°C d	
Normaalaasta energiaandmed	NA KK-soojus KV-ks	399	333	315	181	MWh/a	A
	NA SP soojustoodang KV-ks	0	0	0	101	MWh/a	
	NA SP elektritarbimine KV-ks	*0*	*0*	*0*	*33*	MWh/a	
	NA kogu soojustarbimine KV-ks	399	333	315	282	MWh/a	
	NA kogu soojustarbimine	571	512	501	454	MWh/a	
Normaalaasta eritarbimised	KV soojuse erivajadus	134	112	106	95	kWh/(m^{2}a)	A
	SV soojuse erivajadus	58	60	63	58	kWh/(m^{2}a)	
	Kogu soojuse erivajadus	192	172	169	153	kWh/(m^{2}a)	
	KV-ks tarnitud energia eritarbimine	134	112	106	72	kWh/(m^{2}a)	Köe-tava pinna kohta
	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 – arvutatud varem mõõdetud või välja arvutatud 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 (jJoonis 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).

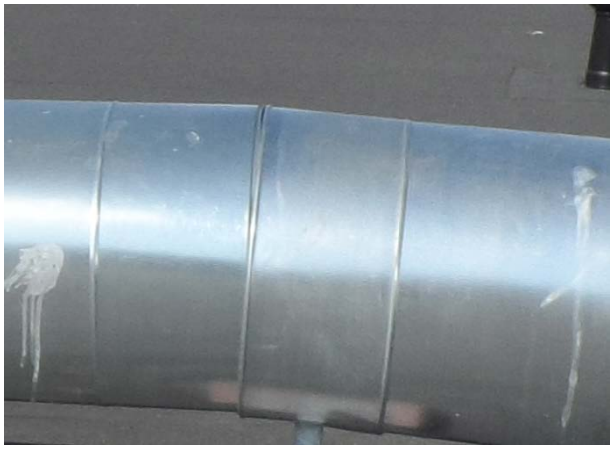
Joonis 3.12. Soojussõlm enne (vasakul) ja pärast renoveerimist (paremal).

Loomulik ventilatsioon asendati sundväljatõmbe-ventilatsiooniga, kusjuures väljatõmmatavas õhus sisalduv soojus tagastatakse osaliselt hoone keldris asuvate soojuspumpadega (Joonis 3.13) hoone soojaveevarustuse 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 kondensaat 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 m^3/s, mis teeb õhuvahetuse kordsuseks 0,13 h^{-1}. Pärast renoveerimist mõõdetud õhuvooluhulk on 1,43 m^3/s, mis teeb õhuvahetuse kordsuseks 0,75 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 kasutuskoormusest tekkiva niiskuse eemaldamine sanitaarruumidest ja köökidest. Ühetoaliste korterite õhuvahetuse kordsus on seega 1,2 h^{-1}. Sissepuhkeõhu koguste määramise aluseks on EVS-EN15251:2007 lisa B tabelis B.5 II klassile vastav sissepuhkeõhu piirväärtus elu- ja magamistubades 1,0 $l/(s\ m^2)$. Seega on hoone kui terviku projekteeritud õhuvahetuse kordsus 1,0 h^{-1}.

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

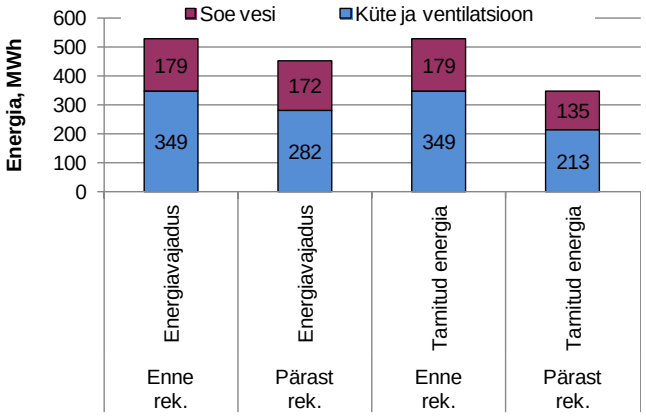
Ruumide kütteks ja ventilatsiooniks kulunud soojust vaadeldakse koos, kuna küttesüsteemiga ruumidesse antava soojuse abil soojendatakse läbi värskeõhuavade ruumi sisenevat õhku.

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

Kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojusega varustamiseks tarnitava energia kogus köetava pinna kohta on langenud seega tasemeni 72 $kWh/(m^2a)$, st varasemate aastate keskmise tasemega (118 $kWh/(m^2a)$) võrreldes on hinnanguline vähenemine 46 $kWh/(m^2a)$ 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/(m^{2}a), mis on 17 kWh/(m^{2}a) võrra ehk 17% suurem projektiga seatud eesmärgist – 100 kWh/(m^{2}a).

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

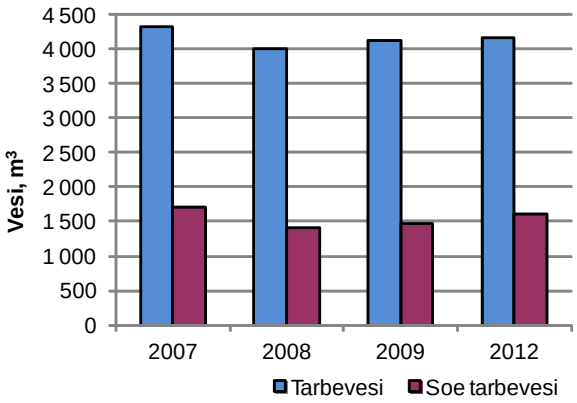
Tarbevee eritarbimine köetava pinna kohta on iseloomulik Tallinna analoogsetele korterelamutele (Tabel 3.4). Varasemate tööde põhjal võib öelda, et viimastel aastatel on Tallinna korterelamute vee eritarbimine köetava pinna kohta keskmiselt vahemikus 1…1,5 m^3/(m^2 a).

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 pikaaegne statistiline keskmine – 35…40 kWh/(m^{2}a). Kuna toiduvalmistamiseks kasutatakse osaliselt ka maagaasi, siis on olmeelektri tarbimine selle võrra väiksem.

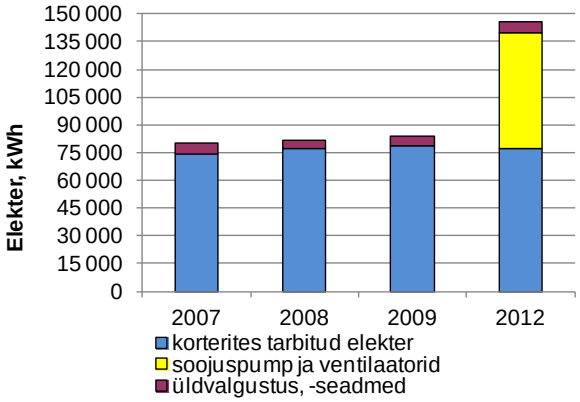
Üldelektri eritarbimine on iseloomulik liftideta korterelamutele (1…2,5 kWh/(m^{2}a)).

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 köetava 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 köetava 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 n-ö paratamatus, et tagada soovitav sisekliima.[1] Loomuliku ventilatsiooniga ei ole võimalik üldjuhul mõistlike kulutustega soovitavat 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

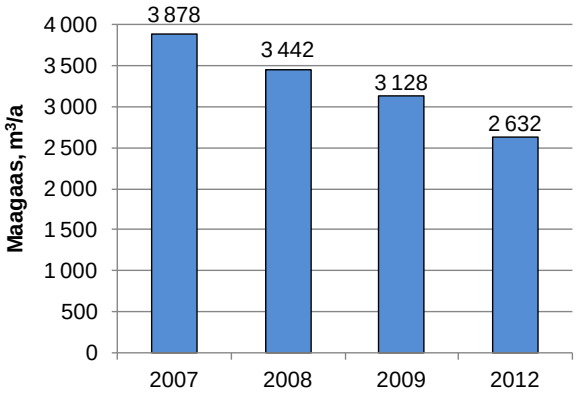
Maagaasi (Tabel 3.6) tarbitakse toiduvalmistamiseks ning gaasikogused sõltuvalt sellest, kas elanikud kasutavad gaasi- või elektripliiti ning tarbimisharjumustest.

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	$m^3/(m^2a)$
Maagaasi eritarbimine	12,15	10,79	9,80	8,25	$kWh/(m^2a)$

*eritarbimine on antud köetava 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.

3.2.1.5 Soojuspumpsüsteemi töö ning soojustagastuse analüüs ja hinnang

Pärast renoveerimist on normaalaasta järgi kogu soojusvajaduse 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.

Soojuspumpade töö analüüs käsitletakse töö järgmises etapis.

3.2.2 Piirdetarindid

Soojuskadu läbi välispiirete enne hoone renoveerimist oli 308 MWh/a (Tabel 3.7).

Tabel 3.7. Piirded enne hoone renoveerimist.

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

Hinnanguline soojuskadu läbi välispiirete pärast hoone renoveerimist on 130 MWh/a (Tabel 3.8), st soojuskadu läbi välispiirete on vähenenud 178 MWh võrra ehk 58%.

Tabel 3.8. Piirded pärast hoone renoveerimist.

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

Erinevatest külmasildadest enne ja pärast hoone renoveerimist annab ülevaate Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Külmasillad enne ja pärast hoone renoveerimist.

Külmasild	Pikkus	Joonsoojusläbivus		Soojuserikadu	
		enne renoveerimist	pärast renoveerimist	enne renoveerimist	pärast renoveerimist
	m	W/(mK)	W/(mK)	W/K	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

3.2.3 Soojusbilanss

Hoonele on koostatud soojusbilanss enne ja pärast renoveerimist (Tabel 3.10 ja Tabel 3.11). Mõlemal juhul on ära näidatud nii soojusallikad kui ka soojuskao komponendid.

Tabel 3.10. Soojusallikad enne ja pärast hoone renoveerimist.

	Ühik	Utiliseeritud vabasoojused				Soojus ja elekter							
		Inimesed	Seadmed ja valgustus	Maagaas	Päike	SV ringluskaod kütteks (kaugküte)	KV (kaug-küte)	KV (soojus-pumba elekter)	SV (kaug-küte)	SV (soojus-pumba elekter, sh ventilaatorid)	Tagastatud soojus*	Utiliseeritud SV soojus kütteks	Kokku
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 analüüstud uuringu II etapis.

Tabel 3.11. Soojuskadu enne ja pärast renoveerimist.

	Ühik	Seinad	Katus	Kelder	Aknad/rõduuksed	Välisuksed	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

3.2.4 Primaarenergia ja CO_2-heide

Primaarenergia vajadus ja CO_2-heide on arvutatud olukorrale pärast hoone renoveerimist. Vaadeldakse erinevaid alternatiivseid soojusvarustuse ja ventilatsioonisüsteemi lahendusi (Tabel 3.12):

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

Selline võrdlus aitab hinnata CO_2 ja primaarenergia vajadusi erinevate kütte-ventilatsiooni ja sooja tarbevee lahenduste puhul, kusjuures hoone välispiirete konfiguratsioon on mõlemal juhul sama.

Tabel 3.12. Primaarenergia ja CO_2-heite võrdlus.

Teemaplokk	Näitaja	Ühik	100% kaugküte	Kaugküte+SP
Kaugküte	Kaugkütte tarbimine	MWh/a	454	288
	Kaugküttevõrgu suhtelised kaod	%	16	16
	Katlamaja aastakeskmine 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
	CO_2-heide	t/a	16	67
Kokku	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 CO_2-heide soojuspumpade kasutamisel suurem. Siiski tuleneb see Eesti Vabariigi energiatootmise omapärast ning CO_2-heide sõltub oluliselt elektritootmiseks kasutatavatest energiakandjatest (kütustest) ja riigiti on see erinev.

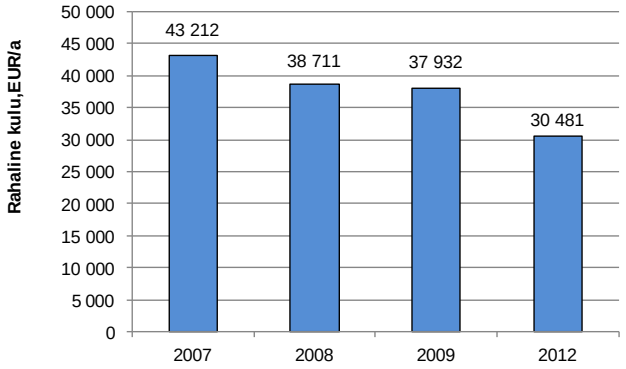
3.2.5 Majandusarvutused

Tabel 3.13 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 3.22).

Tabel 3.13. 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 3.22. Kulutused soojusele normaalaasta järgi praeguste energiahindade alusel.

Renoveerimistööde maksumuse ning energiatarbe järgi on tehtud majandusarvutused 2013. a kehtivate hindadega hindamaks renoveerimise majanduslikku tasuvust. Lähteandmetest annab ülevaate Tabel 3.14.

Tabel 3.14. 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 3.15). Majandusarvutused võtavad arvesse ka ventilaatorite poolt tarbitava elektri koguse.

Tabel 3.15. 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.

3.2.6 Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass

Kaalutud energiaerikasutus ja energiaerikasutuse klass on leitud vastavalt projekti eesmärkide seadmise ajal kehtinud seadustele (Tabel 3.16) ning ka käesoleva analüüsi tegemise ajal kehtivatele seadustele (Tabel 3.17).

Tabel 3.16. 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/(m^{2}a). 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/(m^{2}a) 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 3.17. 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/(m^{2}a) 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 välispinnagaga 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 3.18 on mõõtetulemused kokkuvõtvalt enne ja pärast hoone renoveerimist. Tulemuste varieeruvus tuleneb ehituskvaliteedi ja -materjalide muutlikkusest, sõlmlahenduste varieeruvusest, võimalikest õhuleketest, keskkonnatingimustest (näiteks kiirgus) ning mõõtetäpsusest.

Tabel 3.18. Mõõdetud temperatuuriindeksid erinevates liitekohtades enne ja pärast hoone renoveerimist.

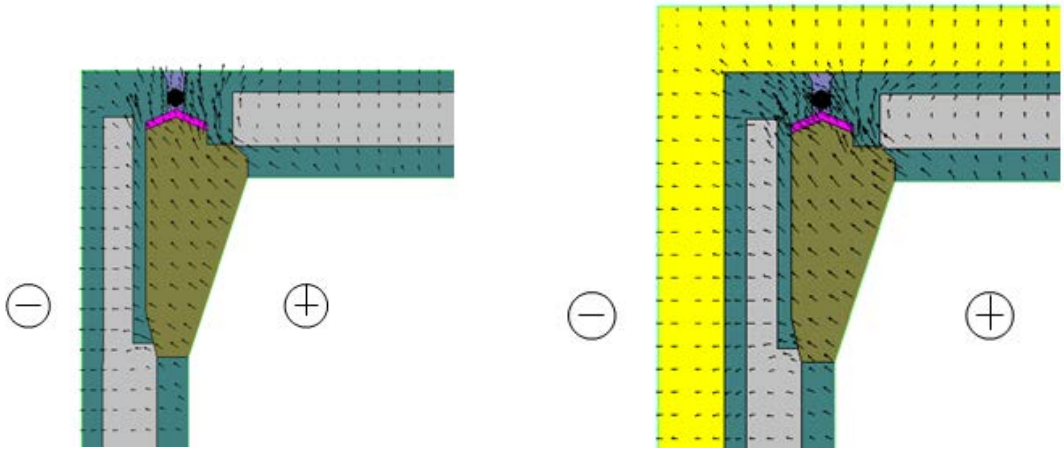
Liitekoht	Temperatuuriindeksi f_{Rsi}, - vahemik	
	enne renoveerimist	pärast renoveerimist
Välisseinte välisnurk	0,60…0,73	0,77…0,91
Välissein/sisesein		0,91…0,95
Välissein/vahelagi	0,68…0,80	0,80…0,96
Välissein/keldri lagi soklis	0,43…0,62	0,65…0,79
Välissein/aken	0,66…0,70	0,74…0,89
Välissein/rõdu		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 3.24…Joonis 3.29. Joonistel on iga materjal tähistatud erineva värviga (värvide tähendus Tabel 3.19). Joonis 3.23 ja Joonis 3.24 roosaga tähistatud vana mineraalvatt oli pergamiini mässitud nn villavorst, mille paksus võis olla väga erinev tulenevalt monolitiseerimisbetooni hüdraulilisest rõhust.

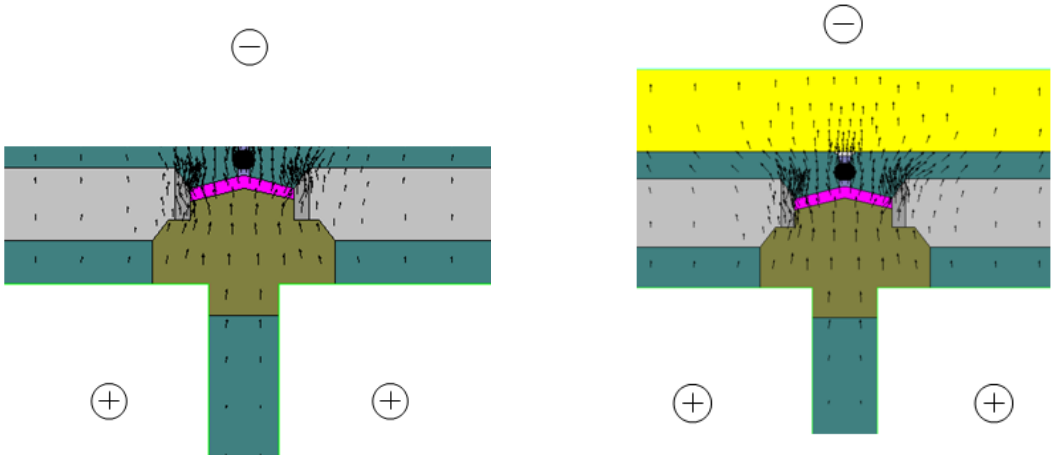
Tabel 3.19. Joonistel kasutatud materjalidele vastavad värvid ning sise- ja väliskeskkond.

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



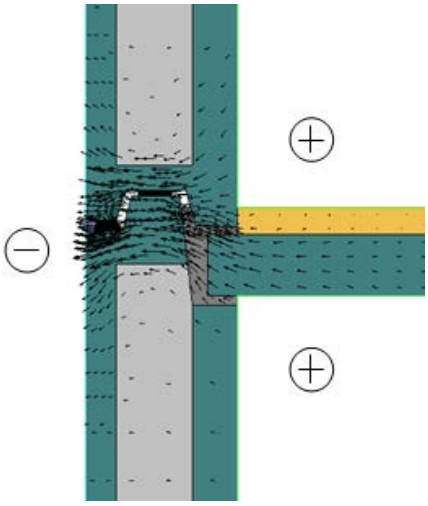
Välisseina välisnurk Ψ = 0,70 W/(mK) Välisseina välisnurk Ψ = 0,15 W/(mK)

Joonis 3.23. Välisseina välisnurga liitekoha joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

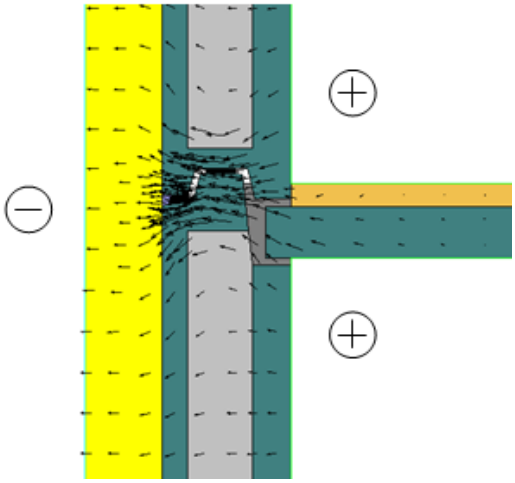


Välissein/sisesein Ψ = 0,30 W/(mK) Välissein/sisesein Ψ = 0,01 W/(mK)

Joonis 3.24. Välisseina ja siseseina liitekoha joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

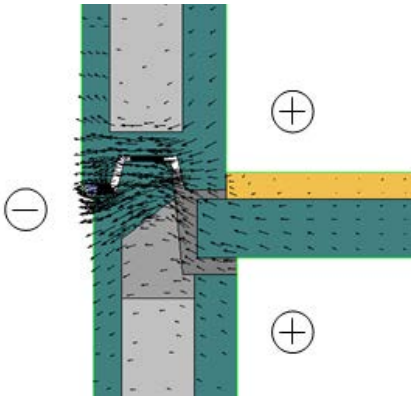


Välissein/vahelagi Ψ = 0,50 W/(mK)

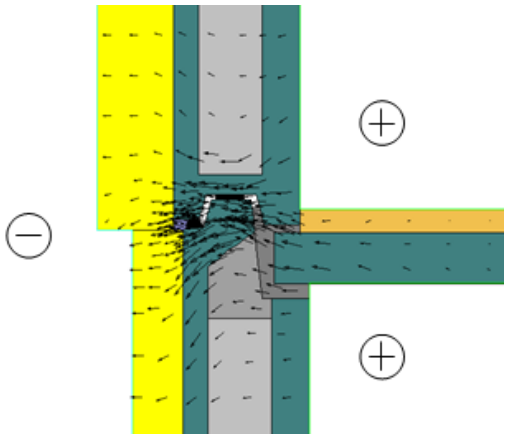


Välissein/vahelagi Ψ = 0,01 W/(mK)

Joonis 3.25. Välisseina ja vahelae liitekoha joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

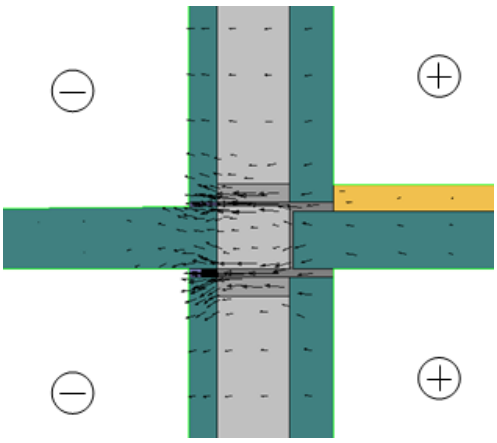


Välissein/keldri lagi (soklis) Ψ = 0,50 W/(mK)

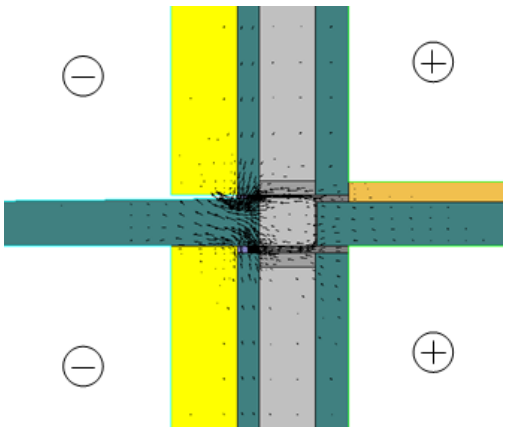


Välissein/keldri lagi (soklis) Ψ = 0,06 W/(mK)

Joonis 3.26. Välisseina ja keldri vahelae liitekoha soklis joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.

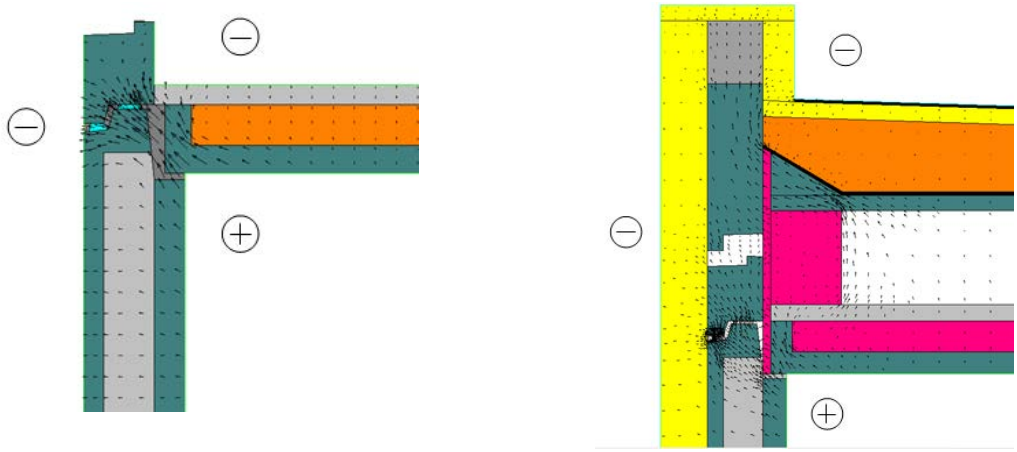


Välissein/rõdu Ψ = 0,20 W/(mK)



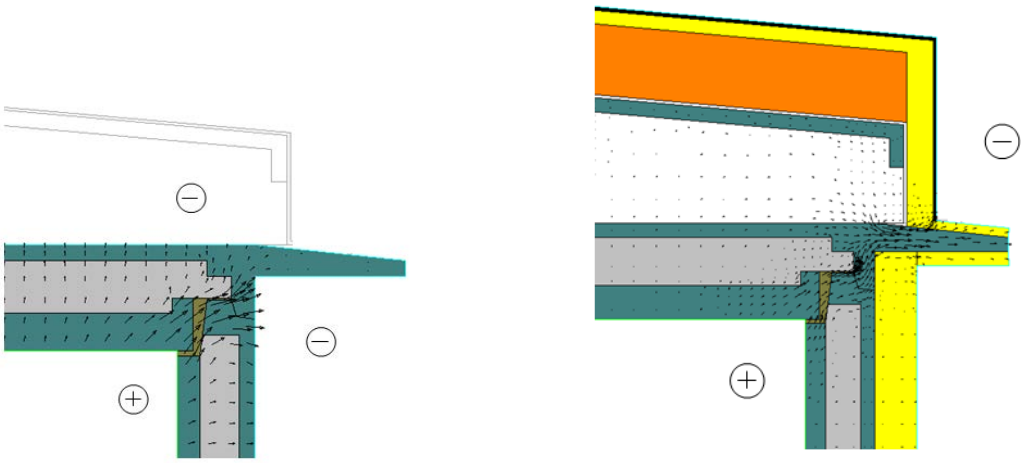
Välissein/rõdu Ψ = 0,45 W/(mK)

Joonis 3.27. Välisseina ja rõdu liitekoha joonsoojusläbivused enne ja pärast hoone renoveerimist.



Välissein/katus parapetiga Ψ = 0,25 W/(mK) Välissein/katus parapetiga Ψ = 0,17 W/(mK)

Joonis 3.28. Välis-otsaseina ja katuslae liitekoha joonsoojusläbivused enne (vasakul) ja pärast (paremal) hoone renoveerimist.



Välissein/katus räästapaneeliga Ψ = 0,55 W/(mK) Välissein/katus räästapaneeliga Ψ = 0,20 W/(mK)

Joonis 3.29. Välis-pikiseina ja katuslae liitekoha 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 3.29).

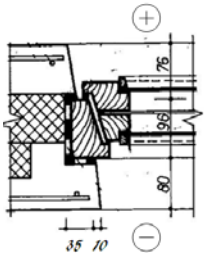
Lisaks analüüsiti, kuidas mõjutab akna paigaldus seina liitekohas külmasilda. Joonis 3.30 on näidatud kaks lahendust pärast lisasoojustamist, kui aken paikneb senises asukohas (joonisel keskmine rida keskel ja paremal), ning kolm lahendust, kui aken on paigaldatud lisasoojustuse tasapinda (joonisel alumine 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 liitekoha joonsoojusläbivus suureneb märkimisväärselt seina lisasoojustamise tagajärjel: joonsoojusläbivus Ψ on enne (joonisel keskmises reas vasakul) 0,13 W/(m·K) ning pärast (keskmises reas keskel) 0,35 W/(m·K), juhul kui palet ei ole võimalik soojustada. Aknapalede väline soojustamine on reaalselt võimatu või on võimalus väga väike. **Seega tuleks edasistes renoveerimishangetes alati kaaluda akende paigaldamist lisasoojustuse tasapinda.**

Kuna välisseina/avatäite liitekoha pikkus moodustab enam kui poole kõikide joonkülmasilla pikkusest (Tabel 3.9), on soojuskadude vähendamine läbi

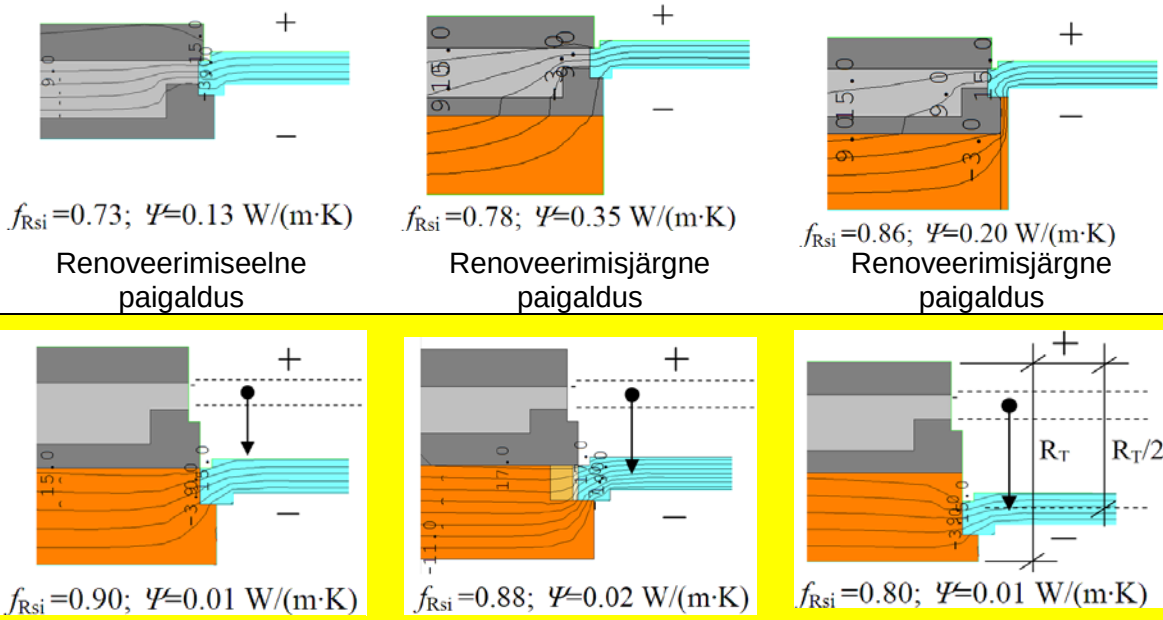
välisseina/avatäite liitekoha väga oluline. Selle külmasilla liitekoha mõju on sedavõrd suur, et seda ei ole võimalik kompenseerida paksema soojustusega, kuna soojuskaod läbi seina, võrreldes akende ja külmasildadega, on juba väikesed. Ümber akna lengi toimuva soojuskao vähendamiseks on oluline paigaldada aknad olemasolevast asukohast lisasoojustuse kihti. Akna paigaldamine lisasoojustuse sisse/tasapinda vähendab joonsoojusläbivust oluliselt (Joonis 3.30 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 ~0,9);
- on ehitustehniliselt hõlpsasti teostatav mehaanilise kinnituse tõttu (võrreldes akna paigaldamisega seinast eemale);
- võimaldab lengi ja seina vahet hästi tihendada nii soojusläbivuse kui õhulekete minimeerimiseks;
- säilitab ligikaudselt akna tagasiaste fassaadist



Akna ja välisseina liitekoha joonis



Joonis 3.30. Arvutatud joonsoojusläbivused 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 uksed) 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;
- 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. Variantidele 1 ja 4 saadi lisaks energiaauditi ligikaudsetele hindadele mitu hinnapakkumist ning variandile 3 üks hinnapakkumine, mille esitas projektijuht. Samuti on variantide 1 ja 4 puhul kasutatud võrdlevalt Tallinnas, Sõpruse pst 202 asuva telliskorterelamu hinnapakkumisi aastast 2012, kus positiivse eeskujuna otsustati vahetada kõik aknad ning paigaldada need lisasoojustuse tasapinda. Ühikhindade võrdlus konverteerituna eurodeks on esitatud Tabel 3.20.

Tabel 3.20. Akende vahetuse variantide võrdluse ehitusmaksumused.

	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	17…48	156…220

Projekti juhtrühm soovitas vahetada kõik aknad ja paigaldada need lisasoojustuse tasapinda, 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 soojusläbivusega kui kaasaegsed (kolmekordsed, kahe selektiivkihiga, termokatkestusega klaasiliist).

Selline lahendus kooskõlastati ka korterühistu üldkoosolekul. Hilisemal koosolekul, ilma pädevate erialainimeste kaasamiseta, aga otsust muudeti. Elanike tugeval survel 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 3.20 nähtub, on variantide 1 ja 4 puhul tööde ühikulised maksumused sarnased kuid variandi 3 puhul Sõpruse 244 hind 114 €/m^2 enam kui 2 korda ülehinnatud. Renoveerimisprojekti teostamise ajal oli akende väljatõstmine projektijuhile veel nii uus teema, et ei õnnestunud saada adekvaatseid hinnapakkumisi. Seega tuleb möönda, et variant 3 jäi kõrvale tuginedes valedele otsustamise alustele ning olemasolevate akende tõstmine lisasoojustusse olnuks õigete lähteandmete ja eduka tehnilise teostatavuse korral ka majanduslikult mõistlik.

Variantide 1 ja 3 lihttasuvusaja arvutustulemustest johtub, et hinnapakkumistel põhinev lihttasuvusaeg on variandi 1 puhul ca 7 aastat ning oleks olnud variandi 3 korral vaid ca 5 aastat hiljem korrigeeritud, täpsustunud hinna alusel. Soojus kallinemisel nt kahekordseks on vastavad tasuvusajad ca 4 ja vähem kui 3 aastat.

Variantide 1 ja 4 lihttasuvusajad tänase soojus 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 soojus kallinemisel nt kahekordseks on vastavad tasuvusajad 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 soojusläbivuse U_c. Kuna välissein/avatäide külmasilla joonsoojusläbivus välispiirete lisasoojustamisel suurenes, moodustavad soojuskaod läbi välissein/avatäide liitekoha variant 1 korral märkimisväärse osa:

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

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

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

Nägu nähtub, on 150 mm vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud välisseina soojusläbivus esialgse 0,17 W/(m^2·K) asemel korrigeerituna vastavalt 0,56 W/(m^2·K), 0,44 W/(m^2·K) ja 0,29 W/(m^2·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 potensiaali.

4 Järeldused

4.1 Sisekliima

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 ülekütmine külmadel talvepäevadel on renoveerimisjärgselt lõppenud. Renoveerimisjärgselt on korterites 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. Suhteline niiskus korterites on pärast hoone renoveerimist samas suurusjärgus nagu enne renoveerimist.

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

Hindamaks sisetemperatuuri ja suhtelist niiskust EVS-EN 15251 standardi piirsuurustele on mõõtetulemusi analüüsitud talvekuudel (detsember, jaanuar, veebruar). Soojematel perioodidel (>–10 ºC) on ruumitemperatuur püsinud enamasti pidevalt sisekliima III ja ka II klassi piirides.

Arvestades asjaoluga, et standardis EVS-EN 15251 on lubatud piirsuuruste ületamine 5% hoone kasutamise ajast päevas, nädalas, kuus või aastas, siis enne renoveerimist vastas sisekliima III klassi nõuetele 43% uuritud tubadest. Pärast renoveerimist vastas sisekliima III klassi nõuetele 67% uuritud tubadest.

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

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

Lisaks õhuvooluhulkadele mõõdeti ka saasteainete kontsentratsiooni, mis näitas, et peamised põhjused, miks saasteainete kontsentratsioon ei vasta 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 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;
- värskeõhuradiaatorite filtrite mustumine;
- süsteemide puudulik ekspluatatsiooniaegne hooldus (filtrite vahetus, süsteemide jälgimine, probleemide kõrvaldamine);

- ventilatsioonisüsteem ei ole tasakaalus;
- ehituslikud väljatõmbešahtid ei ole õhutihedad.

4.2 Energiatõhusus

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 soojusisolatsioonimaterjali kihiga. Renoveerimise ajaks veel asendamata ehitusaegsed puitaknad vahetati välja uute kolmekordse klaasiga plastraamidega akende vastu. Keldriaknad, välisuksed 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 soojavee-varustuse ja küttesüsteemi. Värske õhu sissevool eluruumidesse on ette nähtud läbi värskeõhuavade selliselt, et sisenev värske õhk liigub läbi vastava konstruktsiooniga terasplekkradiaatorite.

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/(m^{2}a), millest 23 kWh/(m^{2}a) tagastatakse hoonesse ventilatsiooniõhust soojuspumpade abil.

Pärast renoveerimist on kütte- ja ventilatsioonisüsteemi soojusega varustamiseks vajaminev energia kogus köetava pinna kohta langenud tasemeni 72 kWh/(m^{2}a), st varasemate aastate keskmisega (118 kWh/(m^{2}a)) võrreldes on hinnanguline langus 46 kWh/(m^{2}a) 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/(m^{2}a), mis on 17 kWh/(m^{2}a) võrra ehk 17% suurem projektiga seatud eesmärgist – 100 kWh/(m^{2}a).

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/(m^2a). Kuna toidu valmistamiseks kasutatakse osaliselt ka maagaasi, siis on olmeelektri tarbimine selle võrra väiksem.

Üldelektri eritarbimine on iseloomulik liftideta korterelamutele (1…2,5 kWh/(m^2a)), kuid on ka maju, kus see näitarv 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 CO_2-heide soojuspumpade kasutamisel suurem. Siiski tuleneb see Eesti energiatootmise omapärast ning CO_2-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 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.

Projekti eesmärgiks oli saavutada väiksem energiatõhususarv kui 150 kWh/(m^2a). Energiatõhususarv arvutatakse nn standardtingimustel ja kaalutud energiaerikasutus arvutatakse tegelike tarbimisandmete põhjal, mistõttu ei ole need arvud üksüheselt võrreldavad. Eesmärgiks seatud energiatõhusarv ja tegelik kaalutud energiaerikasutus erinevad 19 kWh/(m^2a) 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). Ventilaatorite ja soojuspumba elektri tarbimine on soovitav mõõta eraldi.

4.3 Külmasillad

Mõõte- ning arvutustulemuste põhjal võib järeldada, et renoveerimata raudbetoonist suurpaneelelamus on külmasillad tõsine probleem. Enne hoone renoveerimist esineb lubamatult madalaid temperatuuriindekseid 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 soojuskaod akna ja välisseina liitekohast ligemale kolm korda (joonsoojusläbivus enne 0,13 ja soojustamata pale korral pärast 0,35 W/(mK)), kusjuures ka 15 mm soojustatud pale korral suurenevad mõnevõrra kaod – 0,20 W/(mK). Antud juhul põhines otsuse tegemine ühel, hiljem ebakorrektseks osutunud ehitustöö hinnapakkumisel. 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 7 aastat soojus hinna kahekordistumisel. See tasuvusaeg on lühem akna kestvusest ja sobiv kasutamiseks renoveerimise tüüplahendusena.

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

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 soojendamine	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 soojendamine	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 soojendamine	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

	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
Kaugkütte 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
Kaugkütte 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

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

Vesi

Lisa 2 Tabel 3 Vee tarbimise andmed

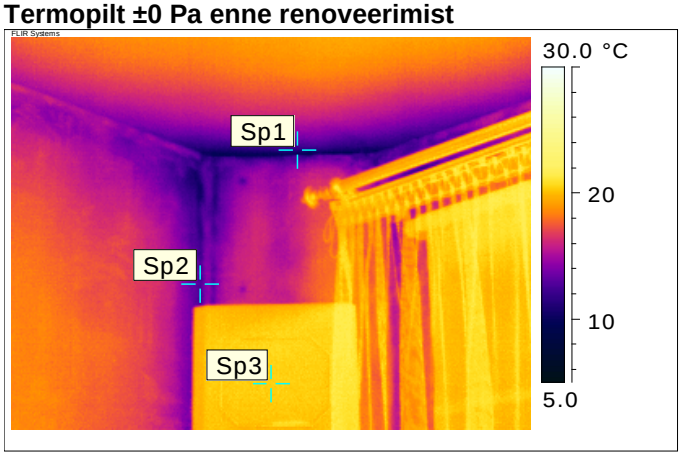
	Ühik	Jaan	Veebr	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dets	Kokku
2007														
Külm vesi	m^3	225	202	232	179	237	202	200	209	222	256	232	219	2 615
Soe vesi	m^3	164	152	148	177	142	141	121	122	127	124	138	151	1 707
Kokku	m^3	389	354	380	356	379	343	321	331	349	380	370	370	4 322
2008														
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 metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

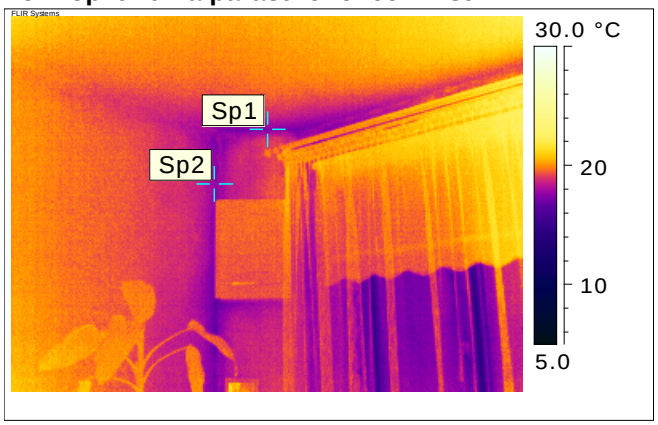
Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°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



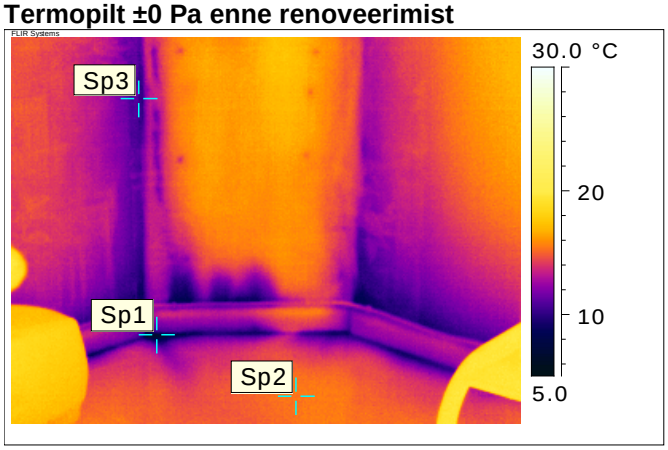
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	Value
Sp1	17.4 °C
Sp2	17.6 °C
fRsi1	0.90
fRsi2	0.91

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

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 2

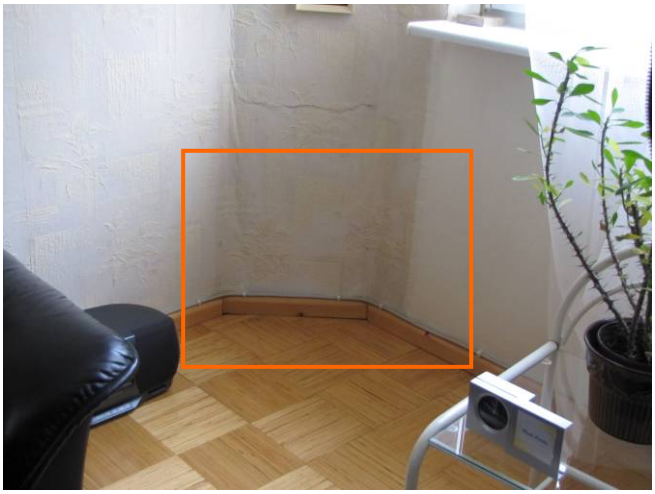
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

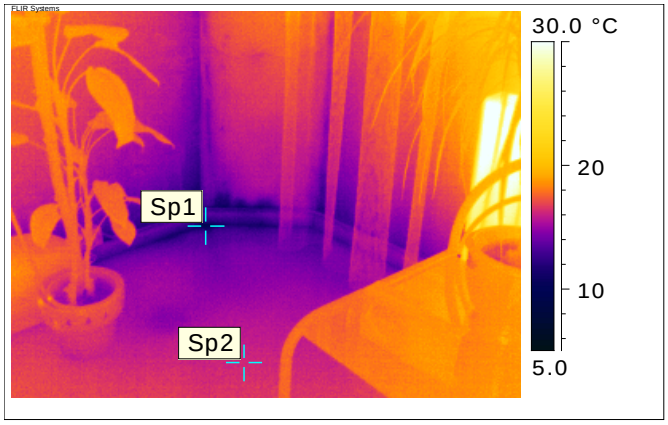
Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°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





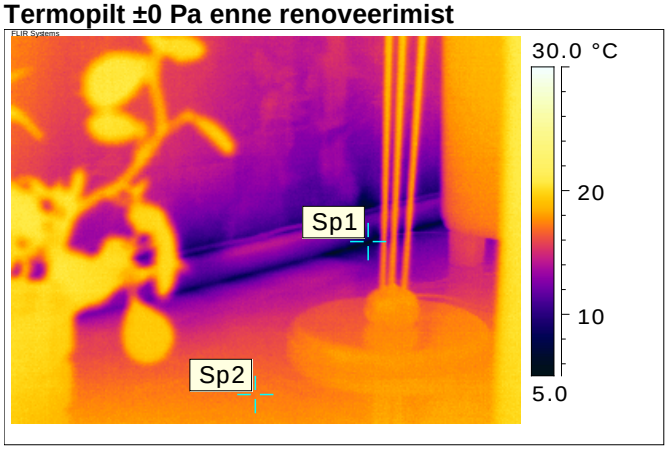
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	9.9 °C
Sp2	16.1 °C
fRsi1	0.60
fRsi2	0.84

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** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 3

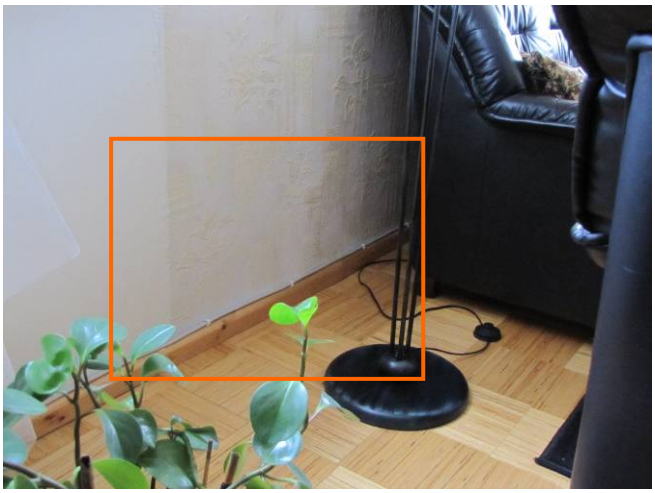
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

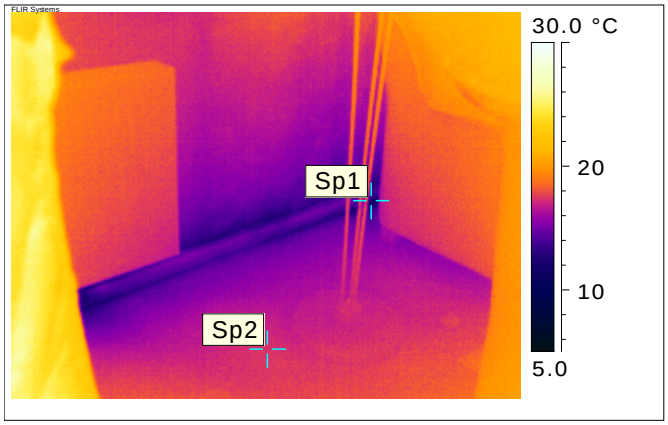
Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	5.6 °C
Sp2	17.2 °C
fRsi1	0.43
fRsi2	0.86

Foto





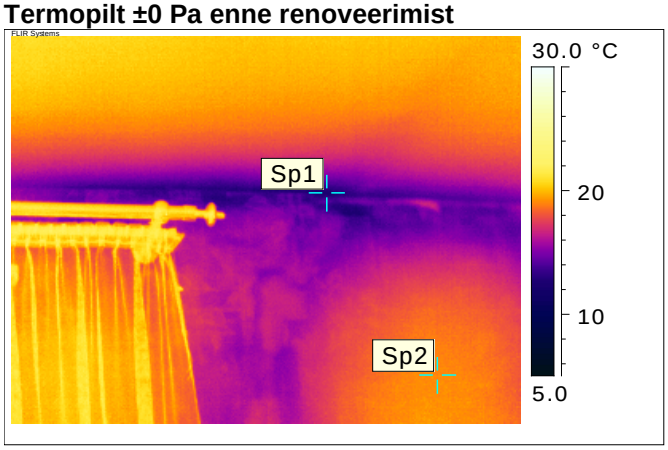
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	11.3 °C
Sp2	17.4 °C
fRsi1	0.65
fRsi2	0.89

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

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 4

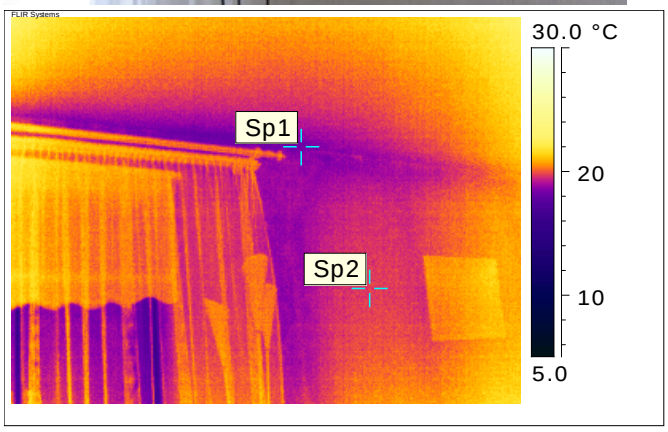
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	12.4 °C
Sp2	19.1 °C
fRsi1	0.68
fRsi2	0.93

Foto



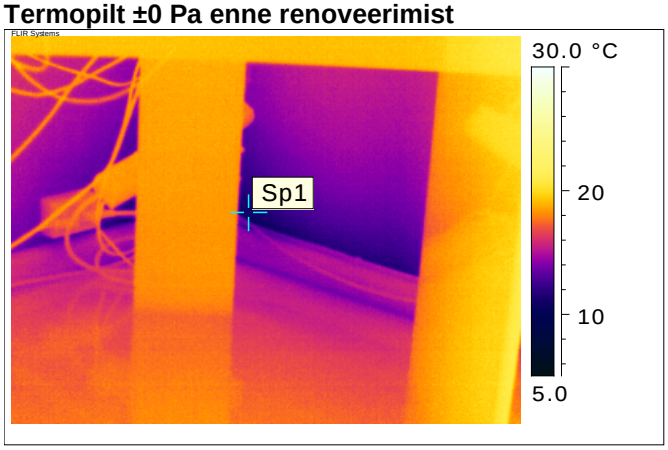
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	18.2 °C
Sp2	19.8 °C
fRsi1	0.93
fRsi2	0.93

Kommentaar:
Välissein/vahelagi. Seina väline lisasoojustamine on likvideerinud külmasilla.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 5

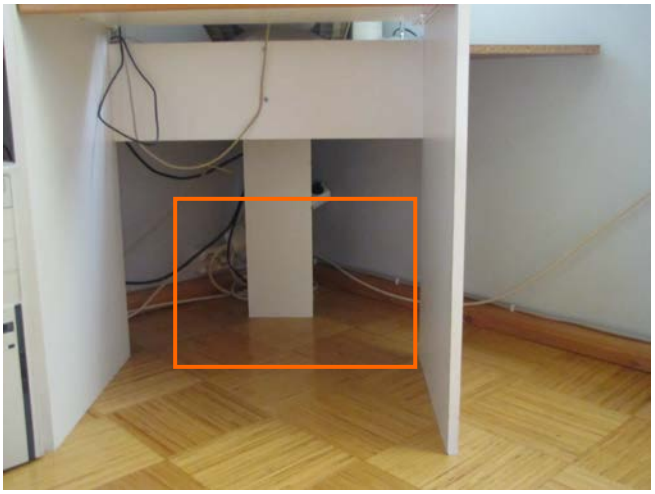
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

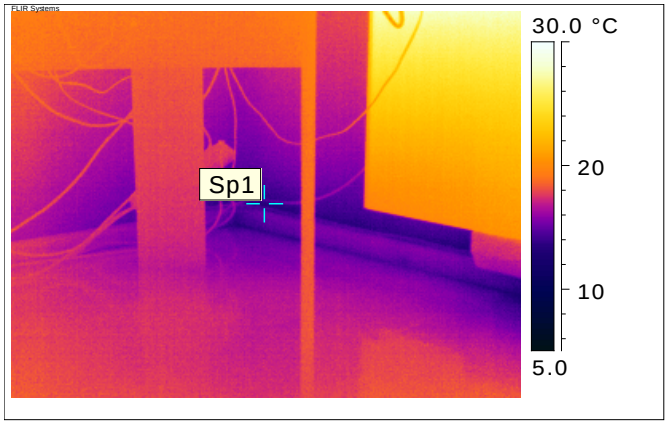
Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	10.7 °C
fRsi1	0.62

Foto





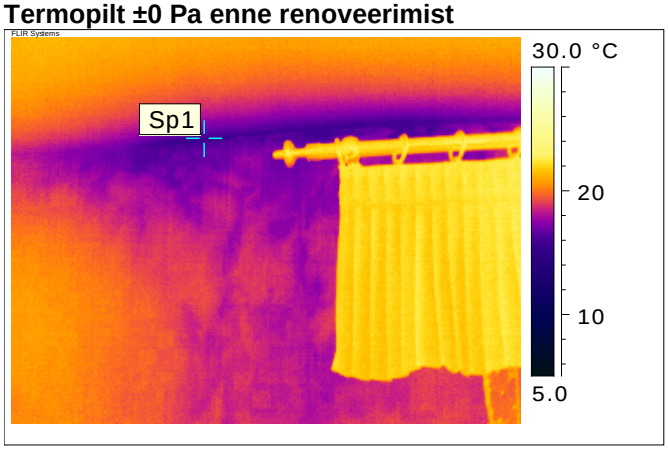
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	13.4 °C
fRsi1	0.74

Kommentaar:
Välissein/keldri vahelagi

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 6

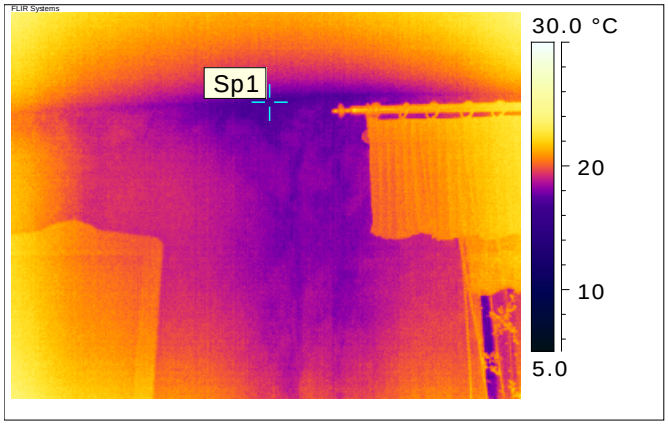
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	15.5 °C
fRsi1	0.79

Foto



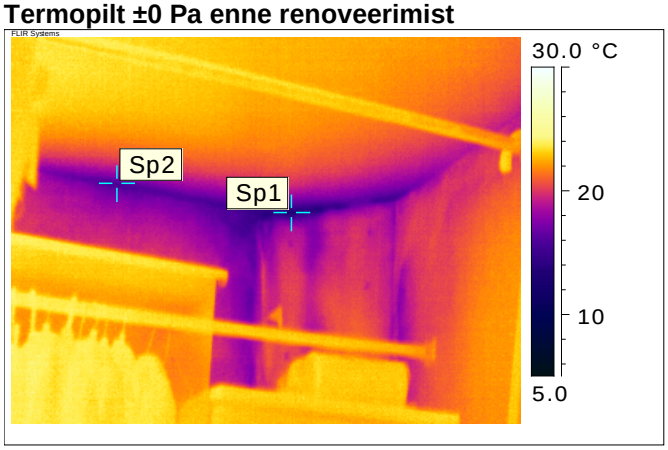
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	16.7 °C
fRsi1	0.87

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

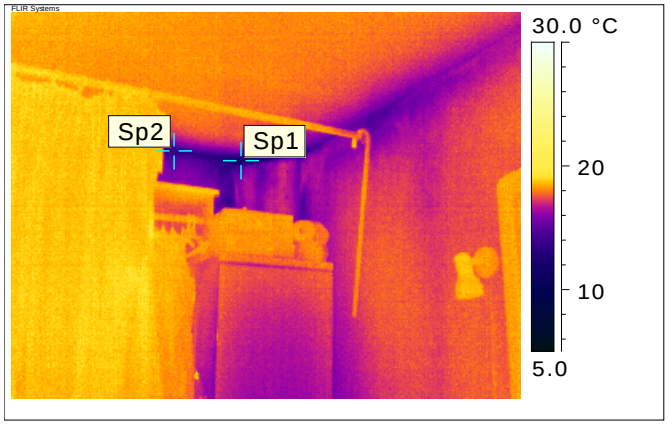
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	13.6 °C
Sp2	15.6 °C
fRsi1	0.73

Foto



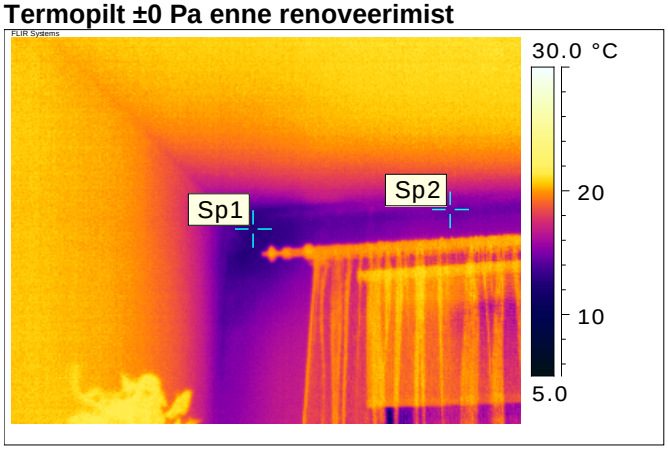
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	11.9 °C
Sp2	13.3 °C
fRsi1	0.68

Kommentaar:
Välissein/vahelagi/sisesein liitekohas naaberhoonega.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 46, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 8

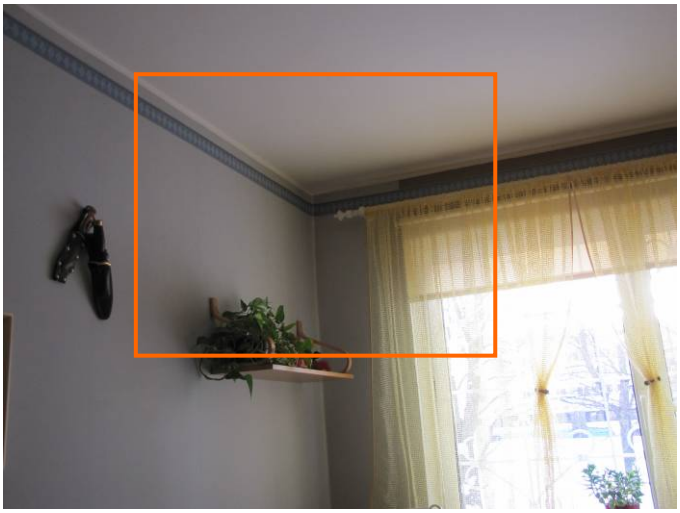
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

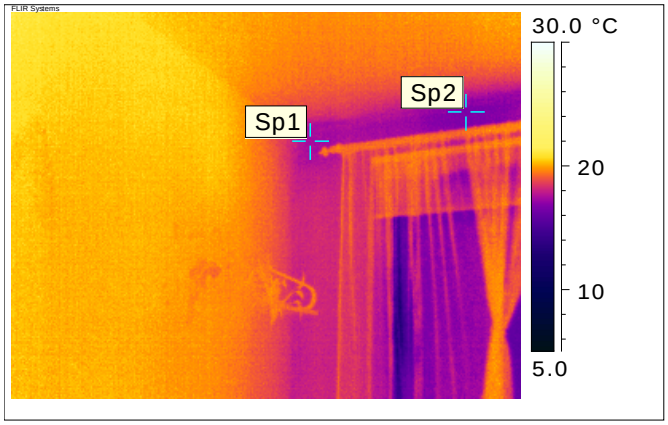
Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	12.7 °C
Sp2	14.4 °C
fRsi1	0.69
fRsi2	0.75

Foto





IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	22
Label	**Value**
Sp1	17.5 °C
Sp2	16.7 °C
fRsi1	0.83
fRsi2	0.80

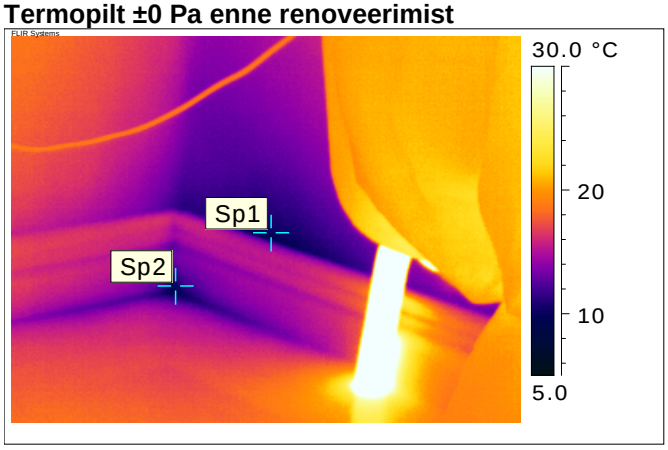
Kommentaar:
Välissein/vahelagi/sisesein

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

Leht 9

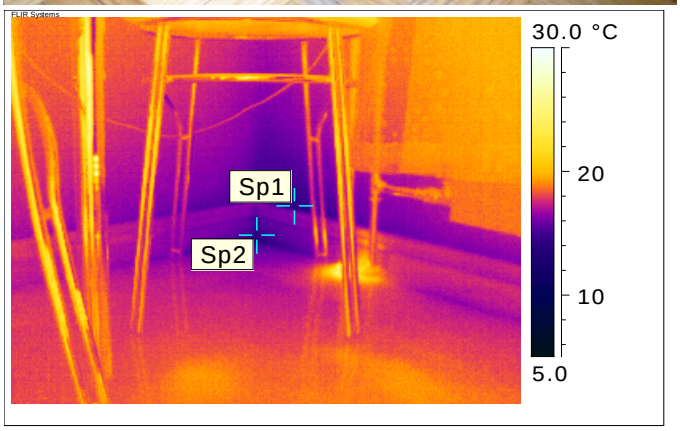
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	10.1 °C
Sp2	10.0 °C
fRsi1	0.60
fRsi2	0.59

Foto



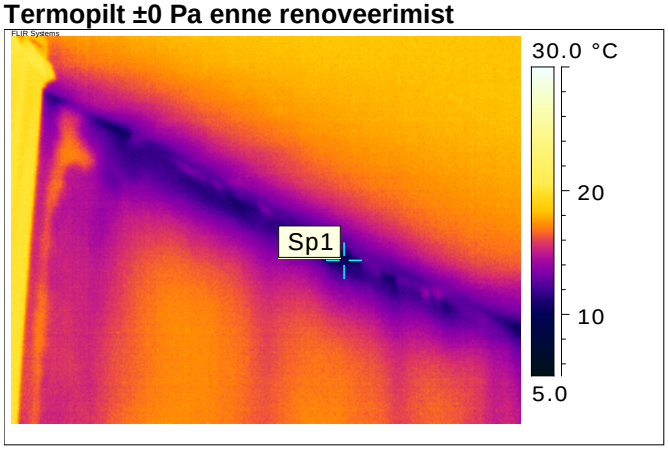
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	14.2 °C
Sp2	14.2 °C
fRsi1	0.77
fRsi2	0.77

Kommentaar:
Välissein/keldri vahelagi

Koht	Sõpruse pst 244, korter nr 55/58, Tallinn	Mõõtmise ajad	30.11.2010/13.03.2013
Leht	10		

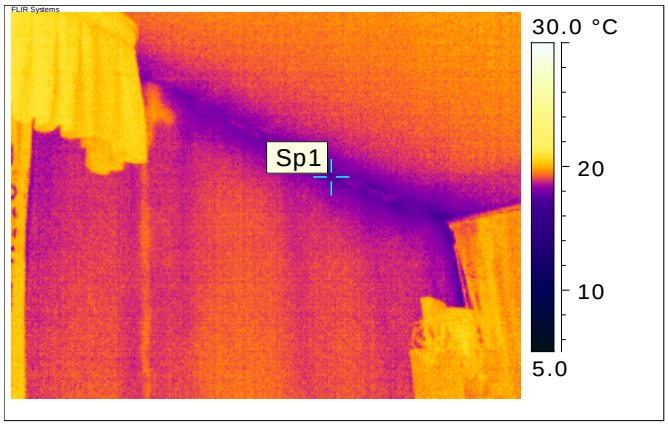
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



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

Foto



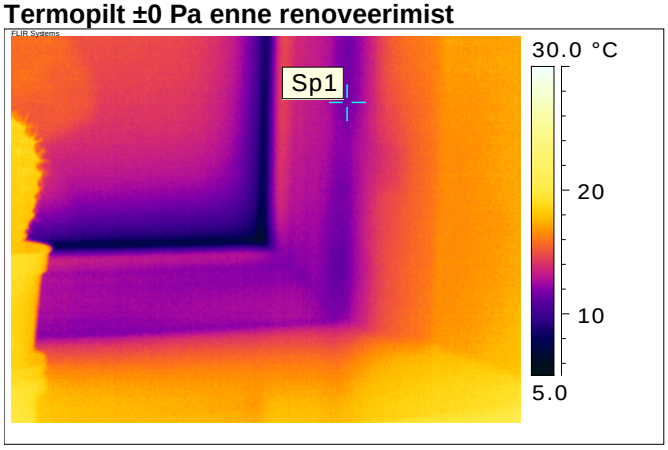
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	5
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	Value
Sp1	17.4 °C
fRsi1	0.90

Kommentaar:
Välissein/katus parapetiga

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

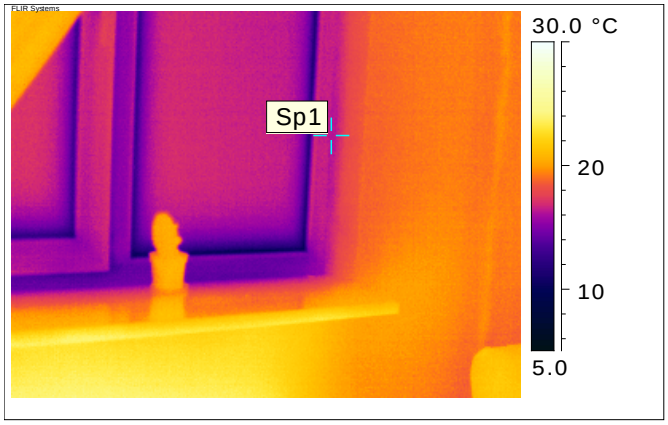
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	11.7 °C
fRsi1	0.68

Foto



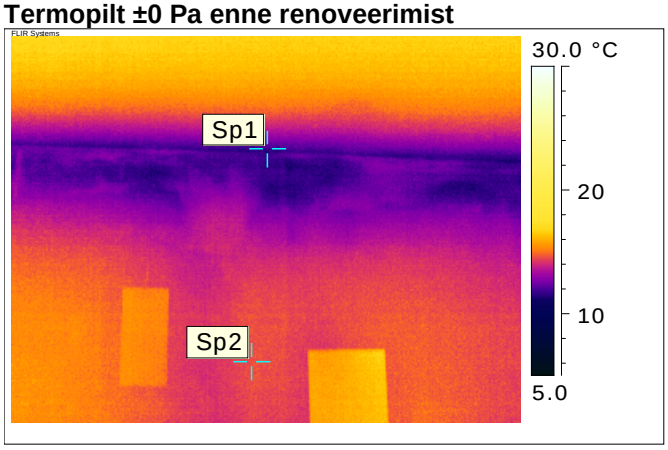
IR Text Comment	Value
Sisetemperatuur, +°C	20
Välistemperatuur, -°C	5
Label	**Value**
Sp1	16.1 °C
fRsi1	0.84

Kommentaar:
Välissein/aken

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn** Mõõtmise ajad **30.11.2010/13.03.2013**
Leht 12

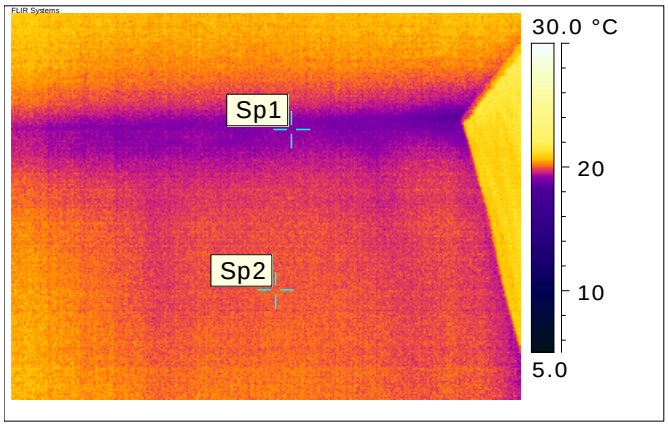
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	18
Label	**Value**
Sp1	11.6 °C
Sp2	14.7 °C
fRsi1	0.73
fRsi2	0.86

Foto



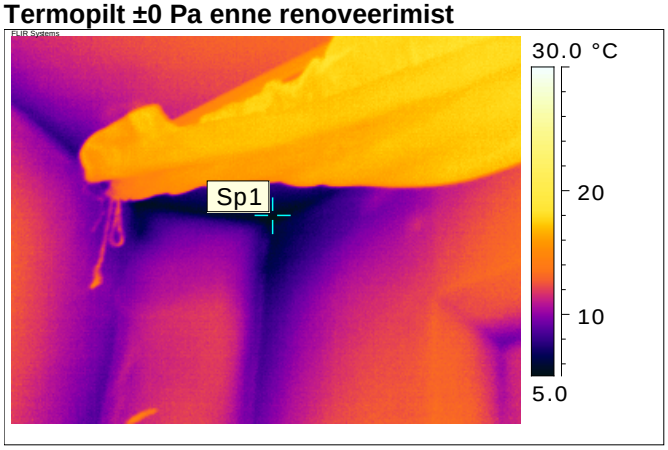
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	19.0 °C
Sp2	20.0 °C
fRsi1	0.93
fRsi2	0.96

Kommentaar:
Välissein/vahelagi

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**	Mõõtmise ajad	**30.11.2010/13.03.2013**
Leht	13		

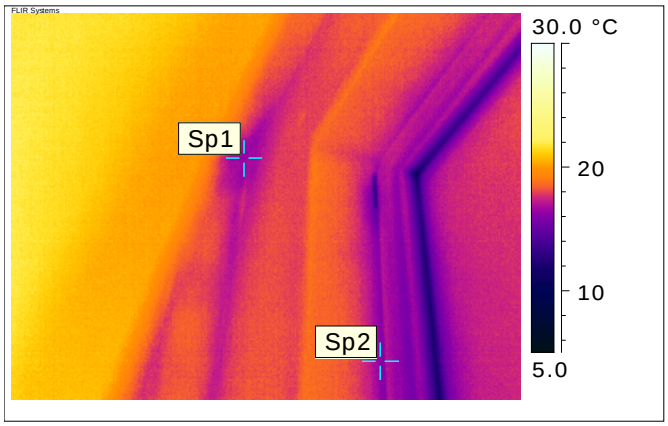
Uurimistöös kasutatud metoodika/standard: EVS-EN 13187:2001 "Thermal performance of buildings. Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes. Infrared method"

Termopilt ±0 Pa enne renoveerimist



IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	18
Label	**Value**
Sp1	5.3 °C
fRsi1	0.47

Foto



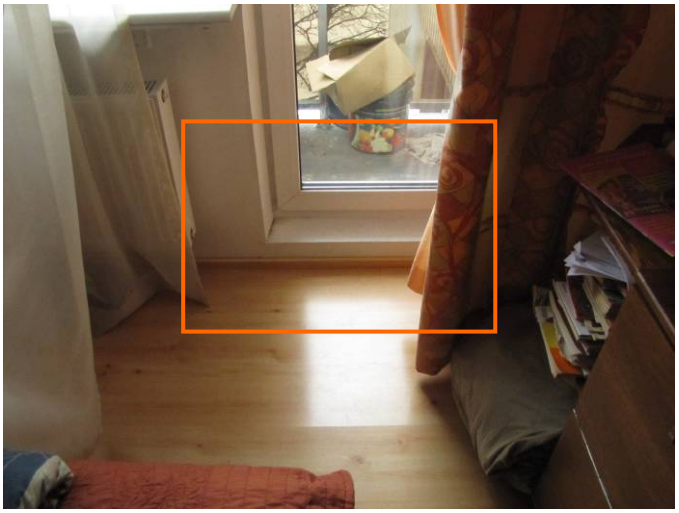
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	16.3 °C
Sp2	16.0 °C
fRsi1	0.83
fRsi2	0.81

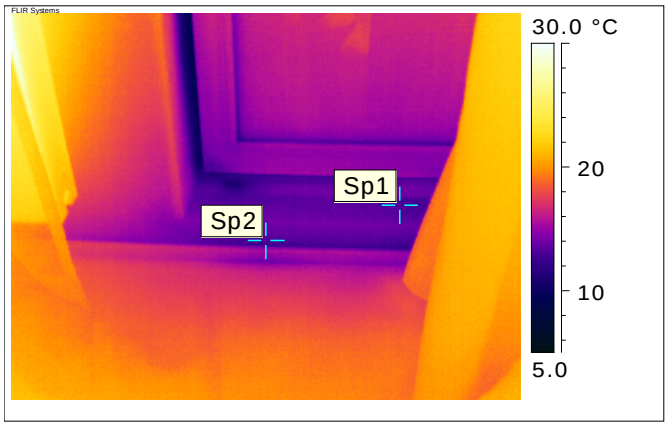
Kommentaar:
Välisseina välisnurk

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 55/58, Tallinn** Mõõtmise aeg **13.03.2013**
Leht 14

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

Foto





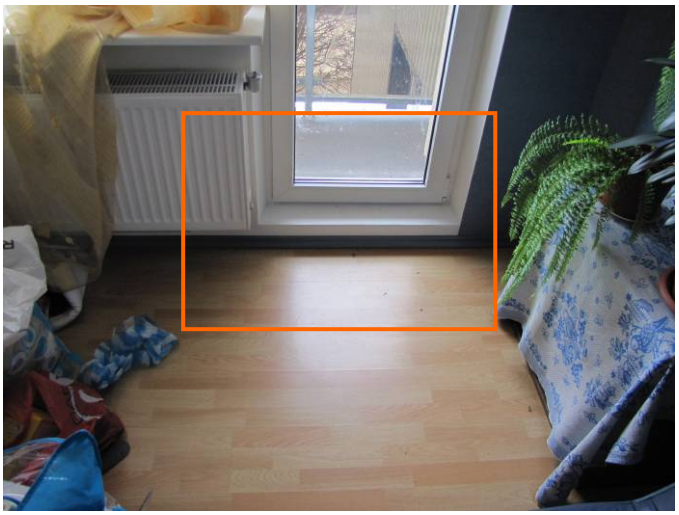
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	20
Label	**Value**
Sp1	13.2 °C
Sp2	13.1 °C
fRsi1	0.74
fRsi2	0.73

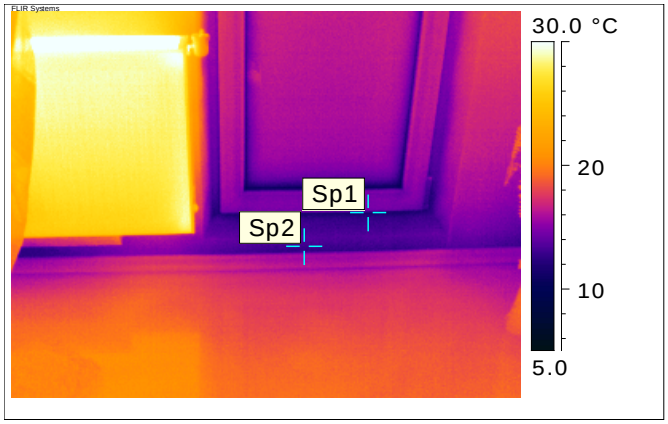
Kommentaar:
Välissein/rõdu. Kriitiline külmasild (temperatuuriindeks <0,8) on säilinud ka pärast renoveerimist, kuna rõduplaat on soojustamata. Mõningal määral võib tulemust mõjutada ukse tihendi õhuleke.

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn** Mõõtmise aeg **13.03.2013**
Leht 15

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

Foto





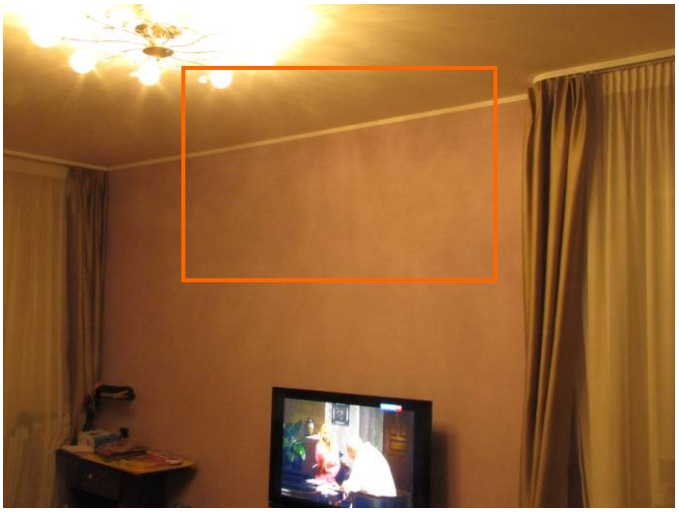
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	11.8 °C
Sp2	12.9 °C
fRsi1	0.66
fRsi2	0.70

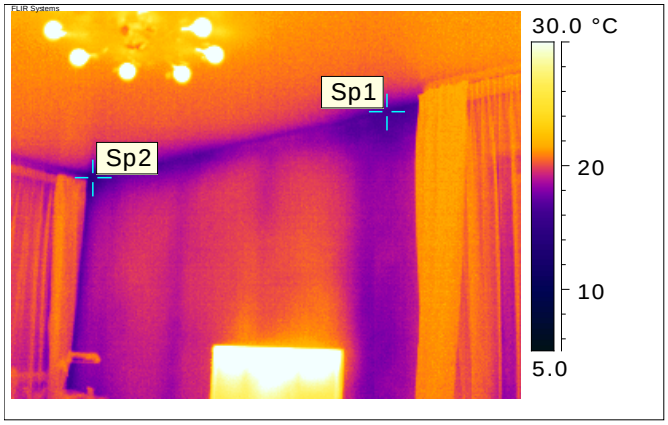
Kommentaar:
Välissein/rõdu

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn** Mõõtmise aeg **13.03.2013**
Leht 16

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

Foto





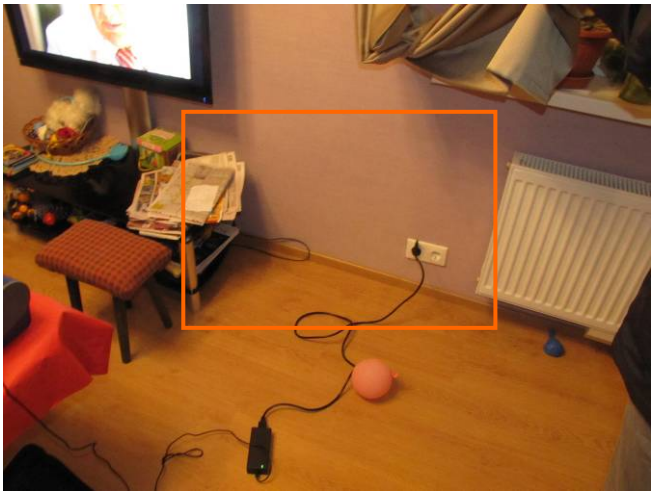
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	22
Label	**Value**
Sp1	15.9 °C
Sp2	14.4 °C
fRsi1	0.78
fRsi2	0.73

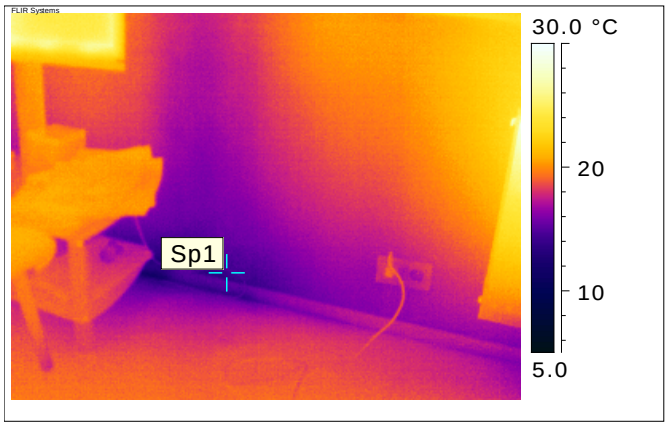
Kommentaar:
Välissein/vahelagi liitekohas naaberhoonega

Koht **Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn** Mõõtmise aeg **13.03.2013**
Leht 17

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

Foto





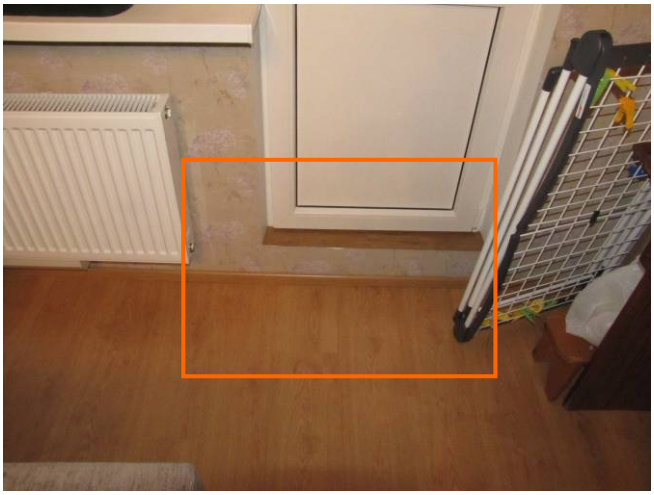
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	22
Label	**Value**
Sp1	14.0 °C
fRsi1	0.71

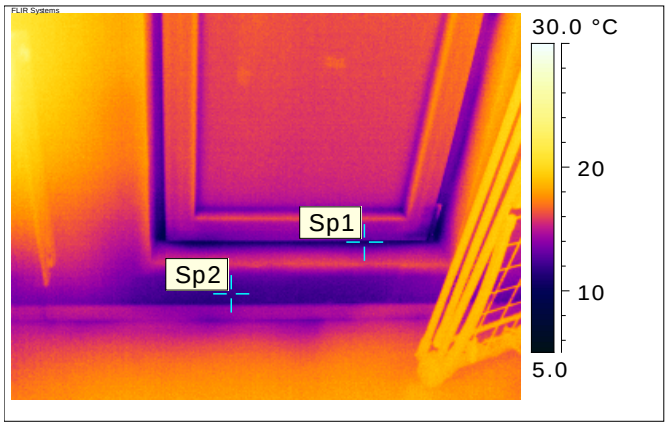
Kommentaar:
Välissein/vahelagi liitekohas naaberhoonega

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	18		

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

Foto





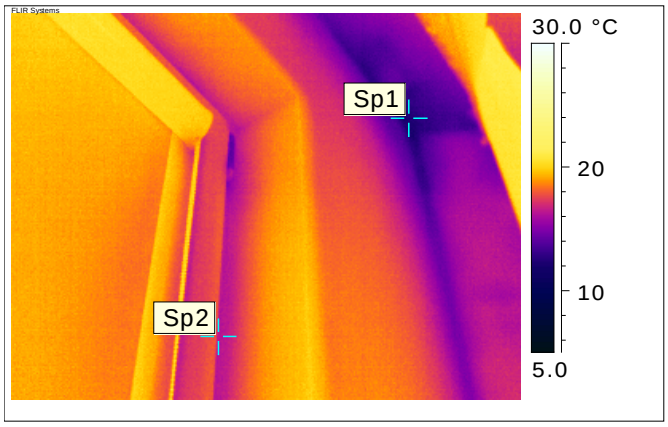
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	10.7 °C
Sp2	12.0 °C
fRsi1	0.62
fRsi2	0.67

Kommentaar:
Välissein/rõdu

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	19		

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

Foto



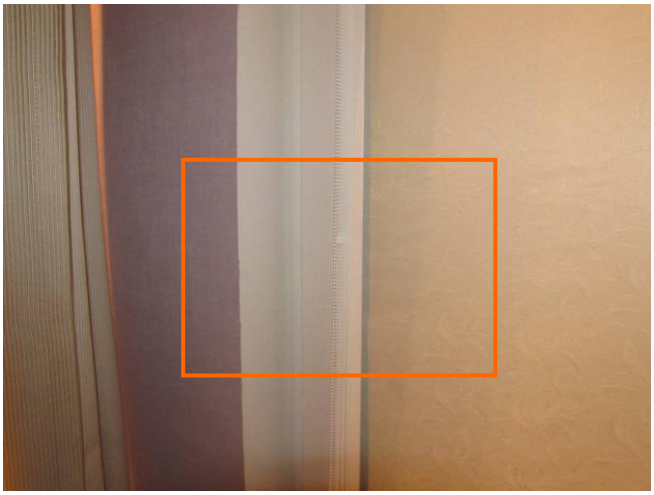
IR Text Comment	**Value**
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	12.2 °C
Sp2	16.4 °C
fRsi1	0.67
fRsi2	0.83

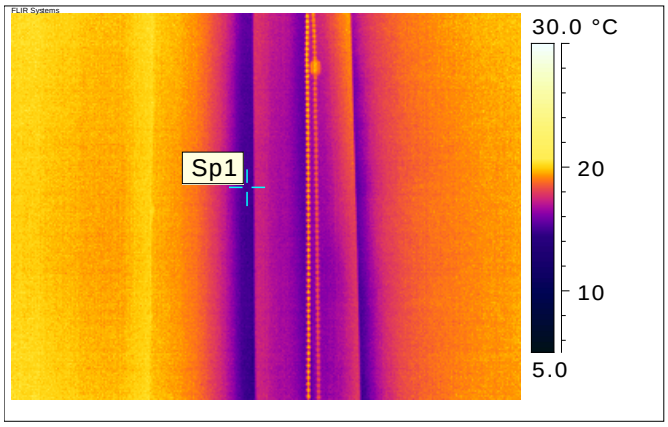
Kommentaar:
Välisseina välisnurk liitumisel naaberhoonega kolmemõõtmelises olukorras (Sp1)

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 52, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	20		

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

Foto





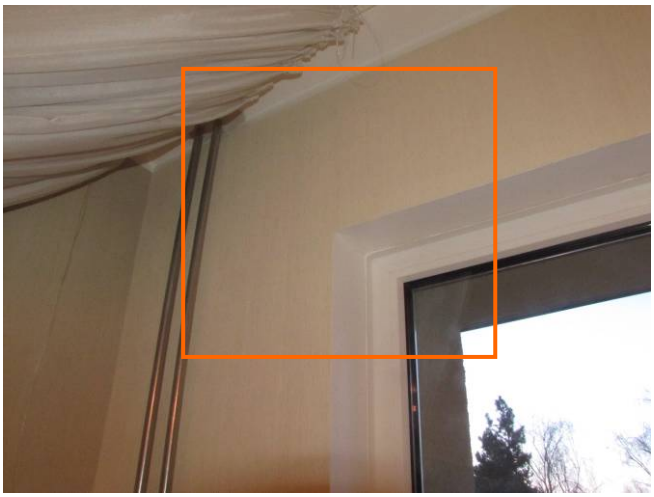
IR Text Comment	**Value**
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	21
Label	**Value**
Sp1	14.9 °C
fRsi1	0.78

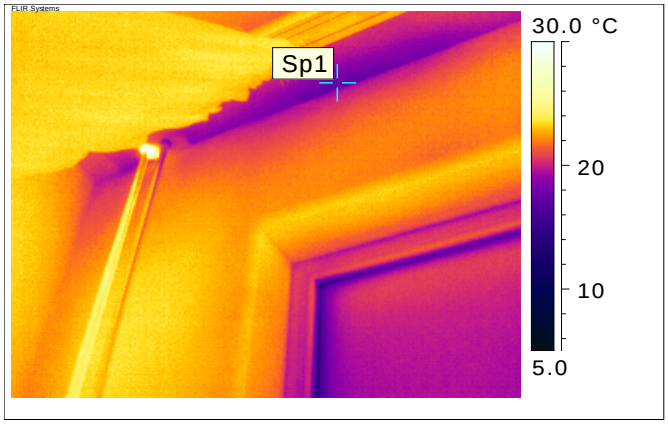
Kommentaar:
Välissein/aken. Madal pinnatemperatuur (temperatuuriindeks <0,8) akna lengi ja seina liitekohas

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	21		

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

Foto





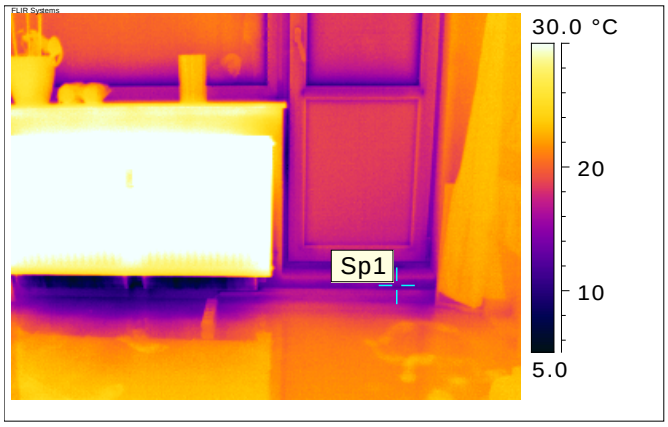
IR Text Comment	**Value**
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	23
Label	**Value**
Sp1	17.7 °C
fRsi1	0.82

Kommentaar:
Välissein/vahelagi

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	22		

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

Foto



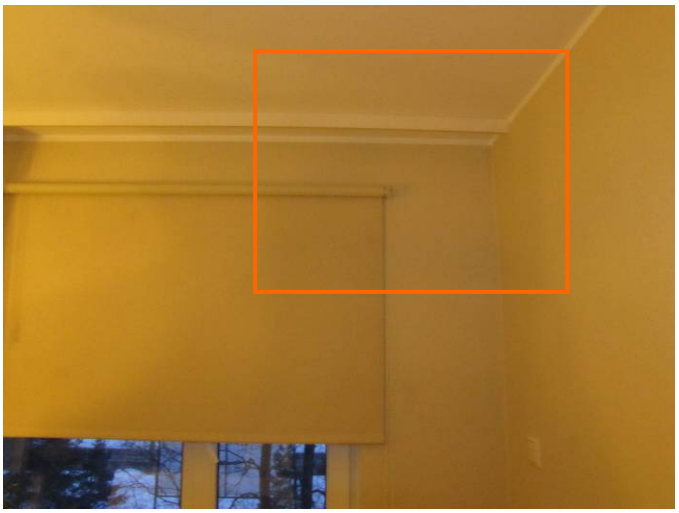
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	23
Label	**Value**
Sp1	12.8 °C
fRsi1	0.65

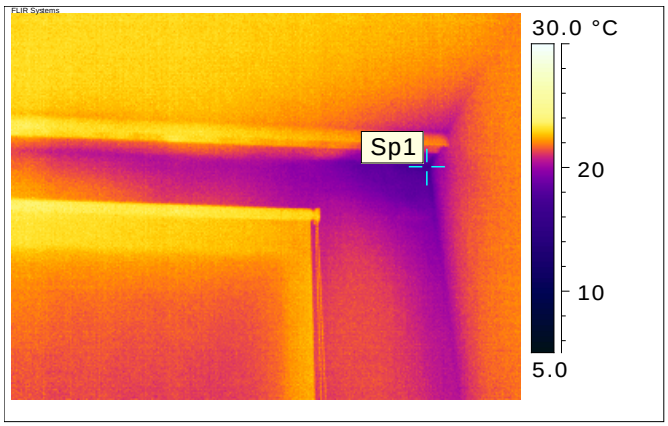
Kommentaar:
Välissein/rõdu. Pildi vasakul osas radiaatori all on näha madalad pinnatemperatuurid kompensatsiooniõhu lekkest ja/või kiirgusest ava läheduses.

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	23		

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

Foto





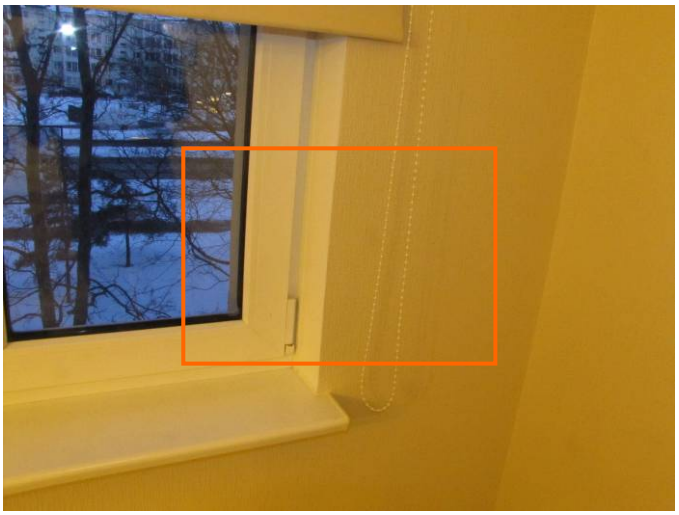
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	23
Label	**Value**
Sp1	16.6 °C
fRsi1	0.78

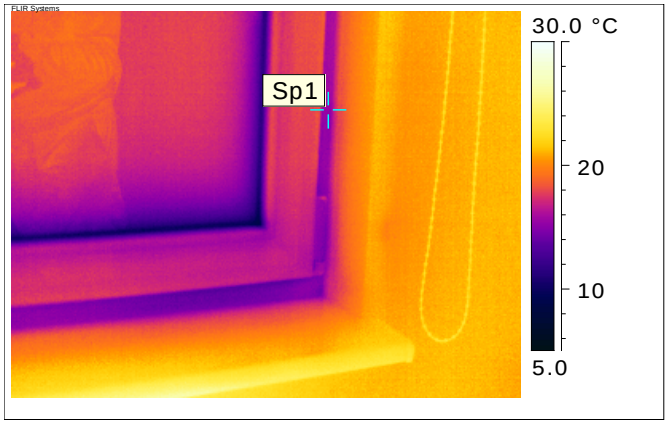
Kommentaar:
Välissein/vahelagi/sisesein

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 54, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	24		

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

Foto





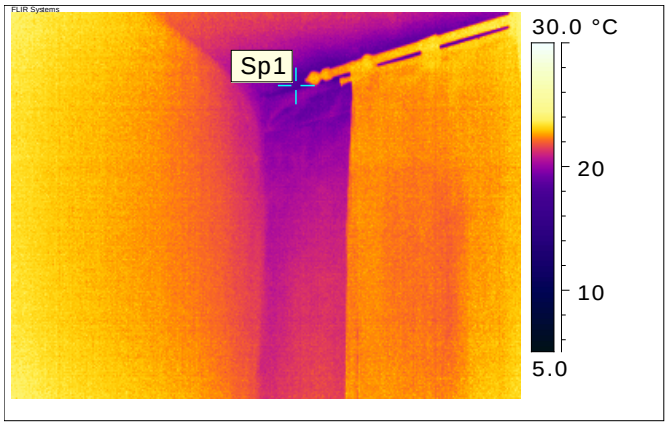
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	23
Label	**Value**
Sp1	15.5 °C
fRsi1	0.74

Kommentaar:
Välissein/aken

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 31, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	25		

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

Foto



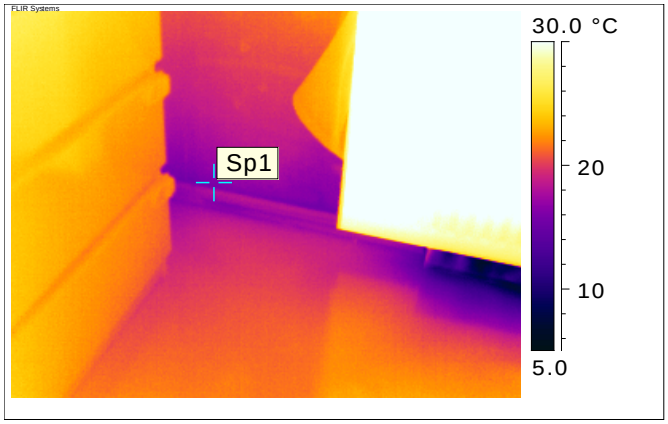
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	22
Label	**Value**
Sp1	18.1 °C
fRsi1	0.86

Kommentaar:
Välissein/vahelagi/sisesein

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 31, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	26		

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

Foto



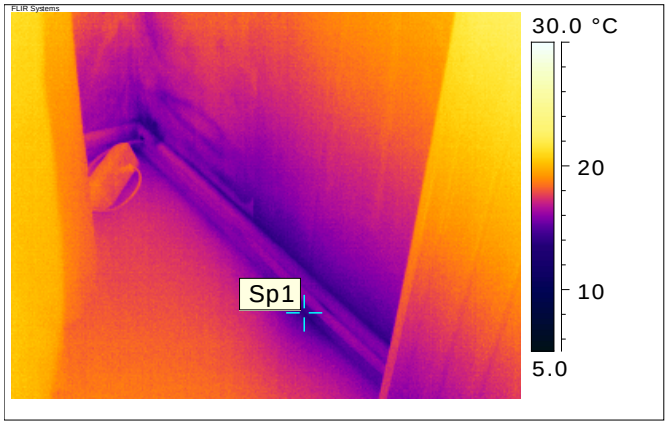
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	22
Label	**Value**
Sp1	16.1 °C
fRsi1	0.79

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

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 31, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	27		

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

Foto



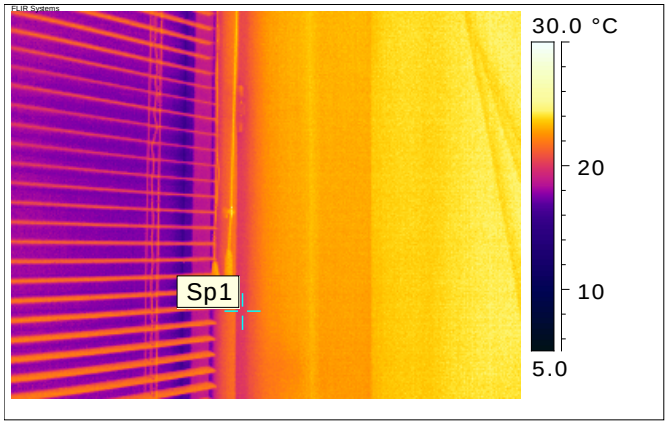
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	22
Label	**Value**
Sp1	13.7 °C
fRsi1	0.70

Kommentaar:
Välissein/keldri vahelagi

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	28		

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

Foto



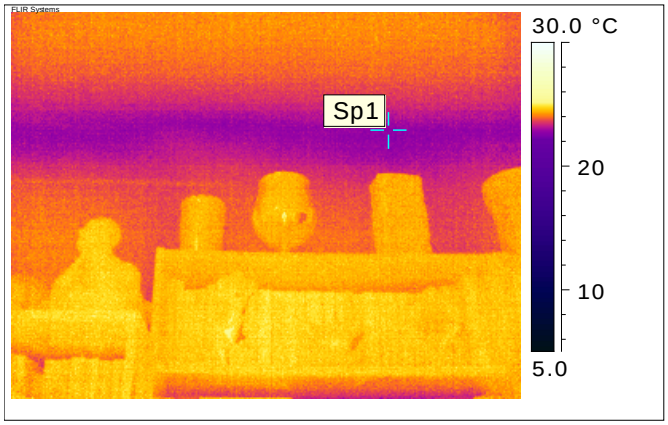
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	24
Label	**Value**
Sp1	19.9 °C
fRsi1	0.86

Kommentaar:
Välissein/aken

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	29		

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

Foto



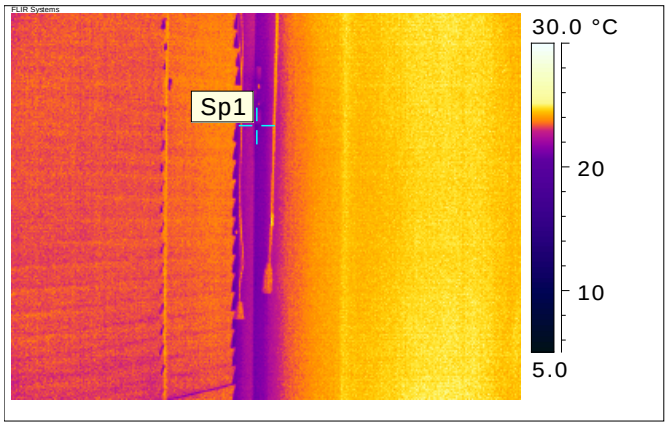
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	24
Label	**Value**
Sp1	22.8 °C
fRsi1	0.96

Kommentaar:
Välissein/katus parapetiga. Külmasild on likvideeritud.

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise ajad	**13.03.2013**
Leht	30		

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

Foto



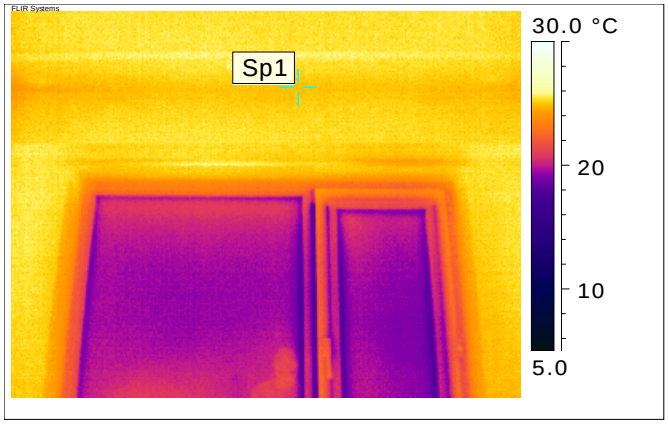
IR Text Comment	**Value**
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	24
Label	**Value**
Sp1	20.6 °C
fRsi1	0.89

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

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	31		

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

Foto



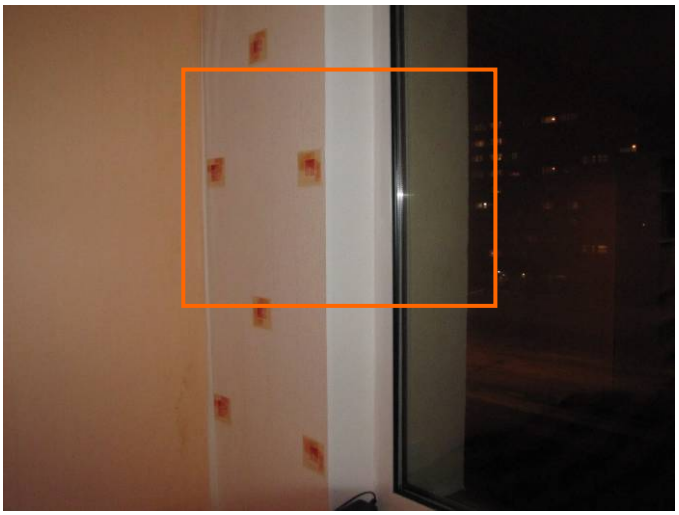
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	25
Label	**Value**
Sp1	24.8 °C
fRsi1	0.99

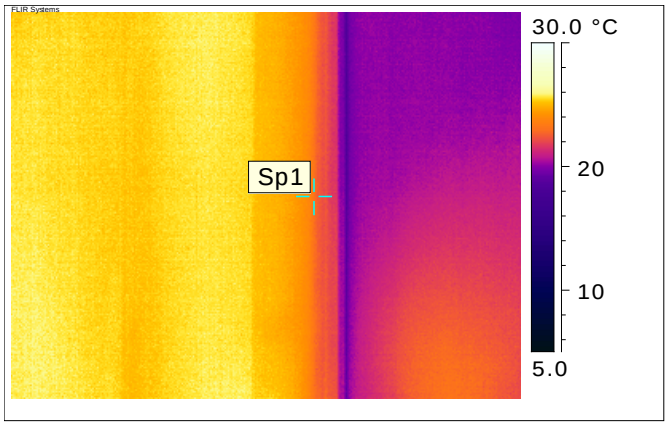
Kommentaar:
Välissein/katus räästaga. Külmasild on likvideeritud.

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	32		

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

Foto





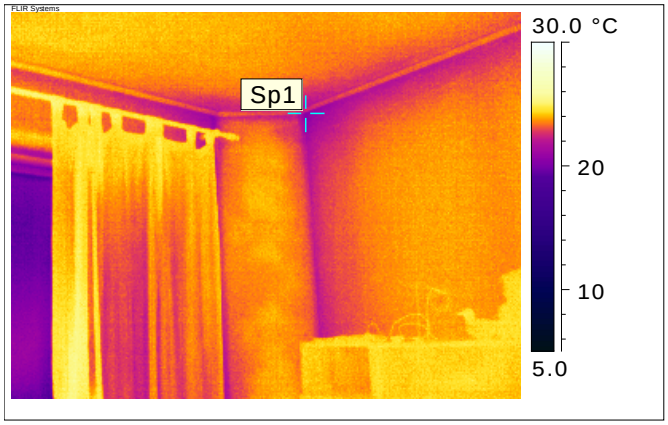
IR Text Comment	Value
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	25
Label	**Value**
Sp1	22.9 °C
fRsi1	0.93

Kommentaar:
Välissein/aken

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	33		

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

Foto



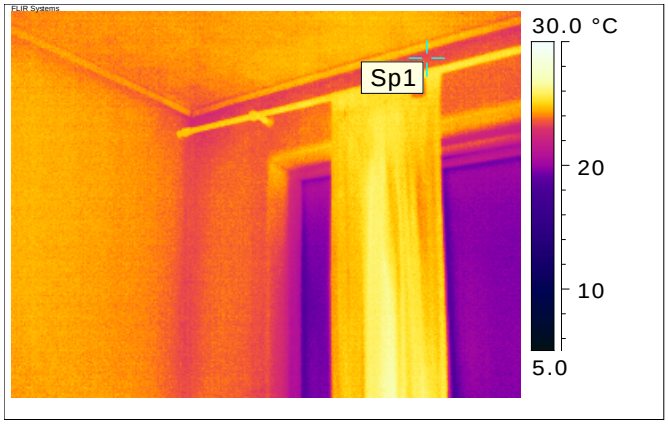
IR Text Comment	**Value**
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	25
Label	**Value**
Sp1	20.4 °C
fRsi1	0.85

Kommentaar:
Välisseina välisnurk viimasel korrusel (paremal parapetiga ning vasakul räästaga)

Koht	**Sõpruse pst 244, korter nr 15, Tallinn**	Mõõtmise aeg	**13.03.2013**
Leht	34		

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
Välistemperatuur, -°C	6
Sisetemperatuur, +°C	25
Label	**Value**
Sp1	23.5 °C
fRsi1	0.95

Kommentaar:
Välissein/katus räästaga