



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

HARJU SEINA JA SAEPURUTÄIDISEGA KARKASSIGA SEINTEGA VÄIKEELAMU ENERGIATÕHUSUSE PARANDAMINE

ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF A SMALL RESIDENTIAL BUILDING
WITH "HARJU" WALL AND FRAMEWORK WALLS WITH SAWDUST INSULATION

EAEI-02/-09 Tartu

Magistritöö
ehitiste restaureerimise peerialal

Üliõpilane: **Allan Rosenberg**

Juhendaja: **Aime Ruus**

Tartu, 2014

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt
pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood:

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

This master's thesis is written in one volume by Rosenberg A. Its subject is Energy efficiency improvement of a small residential building with "harju" wall and framework walls with sawdust insulation. The thesis is written in Estonian, in Tartu, 2014 and consists of 74 pages, 20 tables and 11 illustrations.

The aim of this study is to evaluate a small residential building in the field of technical condition and provide an energy efficiency improvement measures in accordance with existing thermal and humidity situation. Comprehensive solutions can bring about a significant reduction in the fixed costs of the upkeep of the building and ensure a better quality of living environment. The main measures of improving the energy efficiency of the building is analyzing pre-construction errors, analysis of the existing situation and afterwards offering new solutions for repair in accordance with regulations of the Republic of Estonia.

The solutions for repairing the energy efficiency of the building have been offered, keeping in mind that the improvements should be technically easy to perform and require minimal additional work. The description of planned work and calculation of cost-effectiveness of improvement measures has been carried out together with comprehensive analysis of the new situation.

Keywords: energy efficiency, technical condition, insulation, heat loss, thermal bridge, repair solution, diffusion, cost, payback period.

SISUKORD

ABSTRACT	2
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	10
3. HOONE KIRJELDUS.....	11
4. HOONEOSADE KIRJELDUS, KAHJUSTUSED, NENDE PÕHJUSED JA ETTEPANEKUD REMONTTÖÖDEKS.....	16
4.1. Vundamendid.....	16
4.2. Välisseinad.....	17
4.3. Katus	18
4.4. Muud konstruktsioonid	18
4.4.1. Aknad	19
4.4.2. Uksed	19
4.4.3. Terrass ja välistrepp.....	19
4.5. Järeldused.....	20
5. EHTISE TEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE METOODIKA.....	21
6. EHTISE TEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE ARVUTUS.....	23
7. HOONE SOOJAKADUDE HINDAMISE METOODIKA	26
7.1. Soojakadude hindamise meetoodika	26
7.1.1. Tarindi soojusjuhtivus	27
7.1.2. Kütmata ruumide soojustakistus.....	30
7.1.3. Soojuslevi pinnasesse	33
7.1.4. Piirdetarindi korrigeeritud soojusjuhtivus	34
7.1.5. Välisseina difusiooni arvutus	35
7.1.6. Hoones kasutatud ehitusmaterjalide soojus- ja niiskustehnilised omadused.....	37
7.1.7. Külmasillad hoones	37
7.1.8. Termovisiooni meetoodika.....	39
7.2. Väikeelamu energiatõhususe arvutamise meetoodika.....	40
8. HOONE SOOJAKADUDE HINDAMISE ARVUTUS JA NIISKUSTEHNILINE ARVUTUS HETKEOLUKORRAS.....	41
8.1. Piirdetarindi korrigeeritud soojusjuhtivuse arvutus.....	49

8.2. Külmasildade uuring.....	50
8.2.1. Termovisioon.....	54
8.3. Hoone soojakaod.....	56
8.4. Järeldused.....	58
9. PARANDUSMEETMETE VÕIMALUSED, SOOJAKADUDE ARVUTUS JA NIISKUSTEHNILINE ARVUTUS LISASOOJUSTAMISE KORRAL.....	60
9.1. Lisasoojustamise eeldatav maksumus	68
9.2. Kokkuhoid energiatarbimises ja tasuvusaeg	68
9.3. Järeldused.....	69
10. HOONE TERVIKLAHENDUSE VASTAVUS EESTI VABARIIGI ENERGIATÕHUSUSE MIINIMUMNÕUETELE	71
10.1. Järeldused.....	71
KOKKUVÕTE	72
KIRJANDUS	73
LISA 1	75
LISA 2	84
LISA 3	92
LISA 4	102
LISA 5	106
LISA 6	109

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärgiks on hinnata Põlvemaal Vastse-Kuuste vallas Õnne kinnistul asuva väikeelamu tehnilist seisukorda ja pakkuda välja energiatõhususe parandusmeetmed vastavalt olemasolevale soojus- ja niiskustehnilisele olukorrale. Kompleksselt planeeritud energiatõhususe paranduslahendused võivad tuua suures ulatuses hoone püsikulude vähenemist ja tagada ka parema elukeskkonna kvaliteedi. Põhiliseks meetmeks hoone energiatõhusamaks muutmisel on eelnevate ehitusvigade parandamine, olemasoleva olukorra analüüs ja seejärel paranduslahenduste välja pakkumine.

Kuna tegemist on olemasoleva hoonega, võib olla esialgseid projekteerimis- ja ehitusvigasid keeruline või koguni võimatu kõrvaldada. Erinevate vigade lihtsamaks ja optimaalsemaks kõrvaldamiseks teostatakse hoone tehnilise seisukorra hindamine, milles hinnatakse hoone erinevate osade kasutamisest ja välistegurite mõjust tingitud olukorda. Energiatõhususe paranduslahendused pakutakse välja lähtudes hoone minimaalsest välisilme muutmisest, kuluoptimaalsusest ja vastava parandusmeetme lihtsast ehitustehnoloogilisest teostatavusest ja ka vastavusest Eesti Vabariigi kehtivatele normidele ja õigusaktidele.

Töö esimene osa tutvustab maaelamute üldist seisukorda ja võimalikke renoveerimistegevusi ja -lahendusi.

Töö teises osas on toodud antud töö eesmärgid ja ülesanded.

Töö kolmas osa keskendub hoone üldkirjeldusele.

Töö neljandas osas kirjeldatakse hooneosasid ja nende olukorda detailsemalt, uuritakse kahjustusi ja nende tekkepõhjuseid.

Töö viies osa koosneb hoone tehnilise seisukorra hindamise meetodikast.

Töö kuuendas osas on läbi viidud ehitise tehnilise seisukorra hindamine.

Töö seitsmes osa näitab millise meetodika järgi on läbi viidud ehitise soojakadude hindamine, niiskustehniline ja energiatõhususe arvutus.

Töö kaheksandas osas teostatakse olemasoleva olukorra põhjalik soojus- ja niiskustehniline analüüs.

Töö üheksandas osas pakutakse välja parandusmeetmed, hinnatakse nende sobivust antud hoonesse ja teostatakse parandusi hõlmav soojus- ja niiskustehniline analüüs.

Töö kümnes osa käsitleb paranduslahendusega hoone energiatõhususe vastavuse kontrolli Eesti Vabariigi Energiatõhususe miinimumnõuetele.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

"Eluruumide arvult on Eesti suhteliselt hästi kindlustatud, kuid elamufondi kvaliteedilt ning energiakulukuselt võrreldes arenenud Euroopa Liidu liikmesriikidega vähemkvaliteetne – Eesti eluruumid on väiksemad, vanemad, mõnel juhul halvema tehnovarustusega ning korterite osakaal on suurem kui eramute hulk. Lisaks elamute konstruktsioonide ja tehnosüsteemide amortiseerumisele on vananenud ka elamufondi teenindav infrastruktuur ja kommunikatsioonid."..

.."Pärast Teist maailmasõda hakkas elamuehituse maht Eestis järk-järguliselt kiirenema; ajavahemikul 1946–1960 ehitati igal aastal keskmiselt juurde ca 4 380 uut eluruumi, tõeline kasv toimus aga 1960. aastatel. Eesti elamuehituse maht saavutas üldise suure tõusu aastatel 1961–1990, mil kolme aastakümne vältel ehitati igal aastal juurde keskmiselt 13 374 uut eluruumi (ehk ca 700 000–800 000 m² aastas), mida näitab eelkõige korterelamute linnaosade kiire kerkimine. Pärast taasiseseisvumist 90. aastate alguses langesid Eesti ehitusmahud terveks kümnendiks rohkem kui viisteist korda. Põhjuseid ehitusmahtude vähenemiseks oli mitmeid, alustades üleminekuperioodiga seotud ebakindlustest ja ehituse finantseerimiskuludest ning lõpetades erastamis- ja kinnistamisprotsesside aegluse ning erastamisega seotud omandivaidlustega. Madalseisak jätkus ka 2000-ndate aastate alguses." [1, lk 24]

Kuna elamureformi tulemusena kuulub ligikaudu 95% eluruumidest erasektorile, on alanud energiasäästu teine etapp. Pearõhk on suunatud elamute tehnilise seisundi ja elanike elukeskkonna ja sisekliima parandamisele, aga samuti varasemalt tehtud projekteerimis- ja ehitusvigade likvideerimisele. Suurim viga, mis on tehtud nii energiasäästu propagandas kui ka tegelikus teostuses – on eluruumide piirete maksimaalne ja mõtlematu tihendamine. Selle probleemi juurde kuulub kaudsel ka vanade akende väljavahetamine tihedalt sulgivate plastakende vastu ja lengitaguste korralik tihendamine, millega samal ajal kadus välisõhu sissepääs hoonesse. Eluruumides ei tohi olla tuuletõmmet ja välispiirded peavad olema piisavalt õhutihedad, kuid inimene vajab elamiseks värsket õhku. Enamike majaomanike, samuti elamu- ja korteriühistute majanduslikud ressursid on piiratud, mistõttu hoone

korrastamisele asudes tuleb seda enam tegutseda õiges ja loogilises järjekorras. Üldine tegevusskeem võiks olla järgmine:

1. Alustada tuleb elamu tehnilise seisukorra hindamisest koos senise energiakulu analüüsiga.
2. Koostada remondiprogramm ja esialgse tööde maksumuse hindamine. Energiasäästu abinõude planeerimisel tuleb kindlasti arvestada ka ligikaudse tasuvusajaga.
3. Olemasolevate ja hangitavate ressursside kalkuleerimine ning nende ebapiisavuse korral tööde planeerimine nende tähtsuse või vajalikkuse järgi.
4. Projekti koostamine, millele võib vajaduse korral eelneda projekteerimistingimuste taotlemine kohalikust omavalitsusest ja hiljem, pärast vajalikke kooskõlastusi erinevate ametkondadega (päästamet, tervisekaitseinspeksioon jne), projekti kinnitamine kohaliku omavalitsuse ehitusosakonnas. Ehitusosakonna poole tuleb pöörduda juhtudel, kui kavatsus on muuta eluruumi kasutusotstarvet, ehitada olemasolevale külge, peale või alla, muuta fassaade.
5. Töövõtja leidmine, mis tööde suure mahu korral tuleks teha konkursi teel. Üldine reegel on, et kõige odavam pakkumine ei ole veel optimaalseim pakkumine. Sellele järgneb lepingu sõlmimine. Suur viga on töövõtja poolt koostatud lepingule allakirjutamine enne kompetentse ja usaldatava ehitusejärelevalve spetsialisti kaasamist töösse. Korrektselt ja üheselt tõlgendatava lepingu sõlmimine on tähtis moment kogu kavandatava töö õnnestumiseks, seejuures vajaliku kvaliteedi saavutamiseks.
6. Omaniku tehniline järelevalve. Kui omal puudub ehitusalane kogemus, on õige pöörduda spetsialisti poole. Tehniline järelevalve aitab vältida võimalikke vigu tööde teostamisel ja selle olemasolu on hädavajalik kvaliteetse lõpptulemuse saavutamiseks.
7. Tööde vastuvõtmisel tuleks kindlasti teostada eelnevalt vajalikud mõõdistamised (küte, ventilatsioon).

Eluaseme remondiga ja energiasäästuga seotud probleemide lahendamise saavutatakse peale eluasemele minevate otsuste kulutuste vähenemise ka kvaliteetsem elukeskkond, pikeneb eluaseme kasutusiga ja suureneb elamu turuväärtus. [2]

"Maaelamute renoveerimisel tuleb tähelepanu pöörata kõigile ehitisele esitatavatele olulistele nõuetele:

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

Renoveerimisel on esmatähtis hoone ohutuse (kandevõime, tule-, kasutus-, keskkonnaohutus jne.) ja tervisliku sisekliima (piisav õhuvahetus, niiskuskahjustuste vältimine, sobiv temperatuur ja niiskus jne.) tagamine ehk esimesed neli ja osaliselt ka viies oluline nõue."

.."Kahjustunud tarindi või mittetoimiva süsteemi renoveerimise juures on esmatähtis probleemi põhjuse likvideerimine ja alles seejärel tagajärgedega võitlemine. Kuna ressursse pole kunagi piisavalt, tuleb renoveerimistööd viia läbi säästlikult. Suurim sääst seisneb õigesti tegemises ja mitu korda ümbertegemata jätmises."[3, lk 97]

Kuna vanemate hoonete projekteerimisel ja ehitamisel olid kasutusel tänapäevaks juba aegunud meetodid ja tehnoloogiad, tuleb vastavaid hooneid juba ainuüksi energiatõhususe seisukohast lähtuvalt renoveerida.

Ülaltoodud nõuannete ja soovituste järgimine lihtsustab ettevõetavaid renoveerimistöid tunduvalt ja annab tööde tellijale ülevaate konkreetsete lahenduste toimivusest, teostatavusest ja maksumusest juba enne reaalsete tööde alustamist.

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Lõputöö eesmärgiks on analüüsida väikeelamu tehnilist seisukorda, energiatõhususe parandamist ja selle tasuvust 1960. alguspoolel ehitatud eramaja näitel.

Püstitatud ülesanded on järgmised:

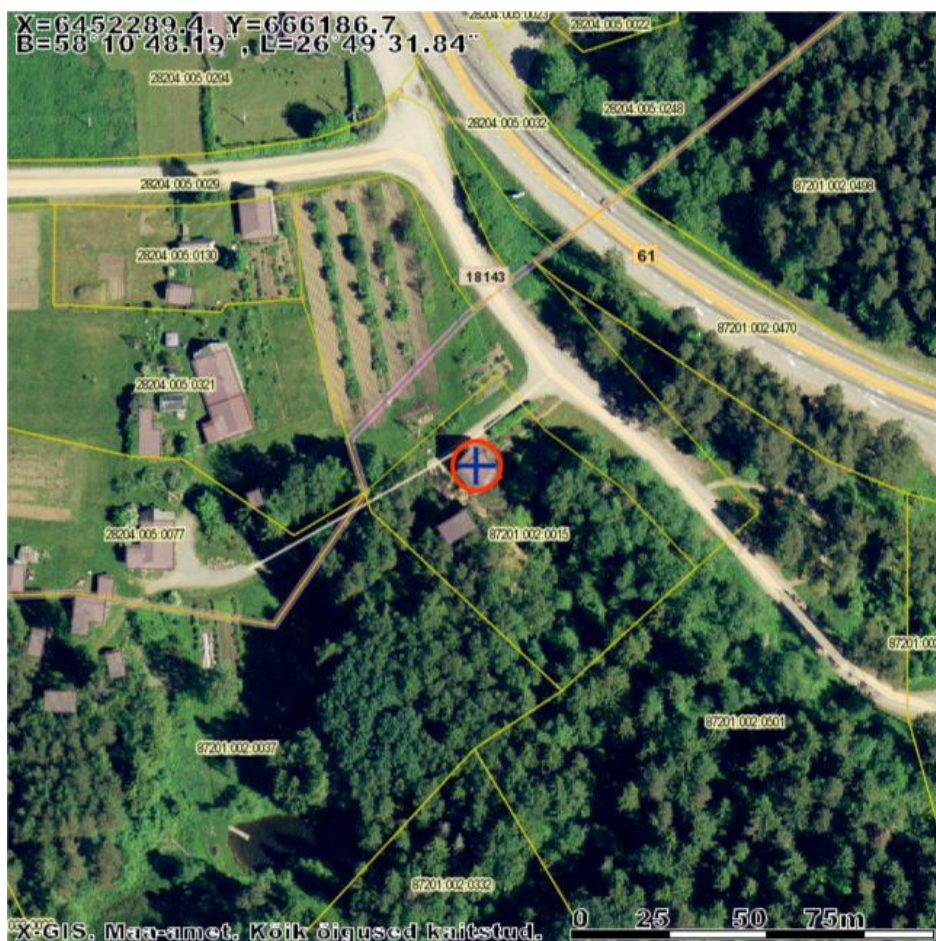
1. Viia läbi hoone tehnilise seisukorra hindamine
2. Analüüsida hoone hetkeolukorda energiatõhususe seisukohalt
3. Pakkuda välja lisasoojustamise võimalused niiskustehnilise toimivuse ja majandusliku tasuvuse seisukohalt
4. Kontrollida hoone terviklahenduse vastavust Eesti Vabariigi energiatõhususe miinimumnõuetele

3. HOONE KIRJELDUS

Töö esimene etapp on lähtematerjali kogumine. Elamu üldtehnilised andmed pärinevad Ehitisregistrist [4]. Hoone konstruktsioonide kirjeldused põhinevad paikvaatlustel ja arhiivimaterjalidel [5].

Aadress:	Õnne kinnistu, Vooreküla küla, Vastse-Kuuste vald
Katastriüksuse tunnus:	87201:002:0015 (pindala 3364 m ²)
Ehitisregistri kood:	110019206
Ehitusaasta:	1960. alguspool
Kasutusotstarve:	üksikelamu
Ehitusalune pind:	72 m ²
Suletud netopind:	92,9 m ²
Maht:	383 m ³
Korruselisus:	2-korruseline, keldri ja väljaehitamata pööningukorrusega.
Püsielanike arv:	2
Keldri olemasolu:	jah

Joonisel 1 asub hoone asukoha skeem väljavõttena Maa-ameti kaardilt. [6]



Joonis 1. Hoone asukoha skeem.

Hoone ajaloost ei ole palju teada. Hoone on arvatavasti ehitatud 1960. alguspoolel kahepereelamuna, mille üks ruum oli mõeldud toimima sidejaoskonnana.

Käsitlev hoone (joonis 2) on kahekorruseline, koos osalise keldri ja väljaehitamata soojustamata pööningukorrusega. Vundament on krohvitud, betoneeritud looduskivi lintvundament. Hoone lõunanurgas asub kelder. Hoone kandekonstruktsioonideks on I korrusel "Harju sein" tüüpi telliskivitädissein ja II korrusel saepuru tädisega puitkarkassiga sein ja puittaladel saepurusoojustusega vahelaed. Fassaad on kaetud lubikrohviga ja katuseviilul horisontaalse laudisega. Katusekatteks on laudroovitel eterniit, katus on soojustamata. Hoone põrandad on pinnasest kõrgemal ning põranda ja pinnase vahel on õhkvahe.

Maja on ruudukujulise põhiplaaniga, sissepääsuga kirdepoolset küljelt. Sissepääsu ees on 1,5x3,9m, välisseinte gabariitidesse jääv avatud terrass. Katust ilmestab pisem kirdeküljele ja massiivne edelaküljele jääv katuseuuk. Katuse kaldenurk on 55 kraadi, suurema katuseuugi kalle on ligikaudu 40 kraadi.

Töö koostamisel ei olnud võimalik leida hoone esialgset projekti, Valga Maa-arhiivi arhiivimaterjalides leidis 1996. aastal koostatud postisidehoone hindamisakt koos hoone korruste plaanide ja lõikejoonisega (joonis 3; 4). [5]

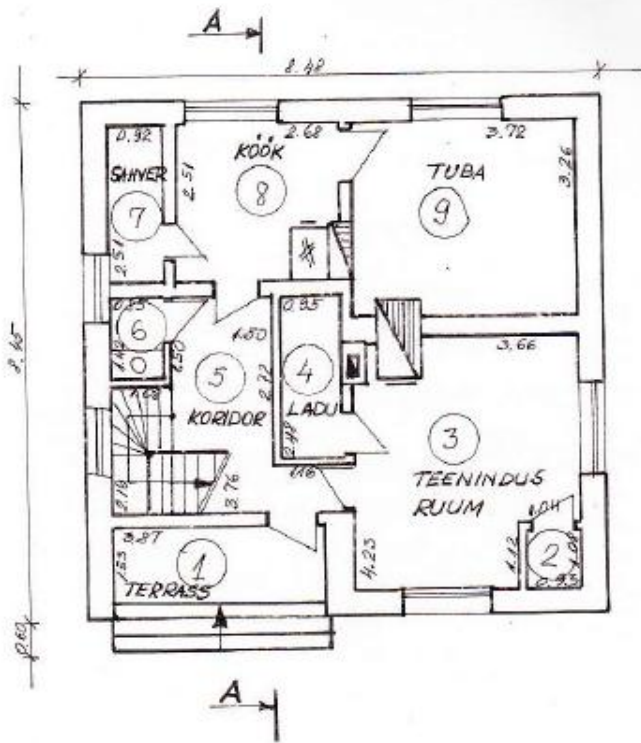
Praeguseks hetkeks on esimese korruse ruumiplaani vähesel määral muudetud (joonis 3). Lao asemele (4) on välja ehitatud vannituba ja WC, samuti on endise lao uks kinni ehitatud ja uus ukseava sisse lõigatud koridori (5) sein. Endine WC (6) on lammutatud ja vaheseina eemaldamise teel ühendatud sahvriga (7). Sahvrst toimub ka pääs keldrisse. Samuti on kinni ehitatud ka köögi (8) ja sahvri (7) vaheline uks.

Hoone I korruse vannitoas ja köögis on manuaalselt kontrollitav väljatõmbeventilaator, mida ei arvestata energiaarvutustes.

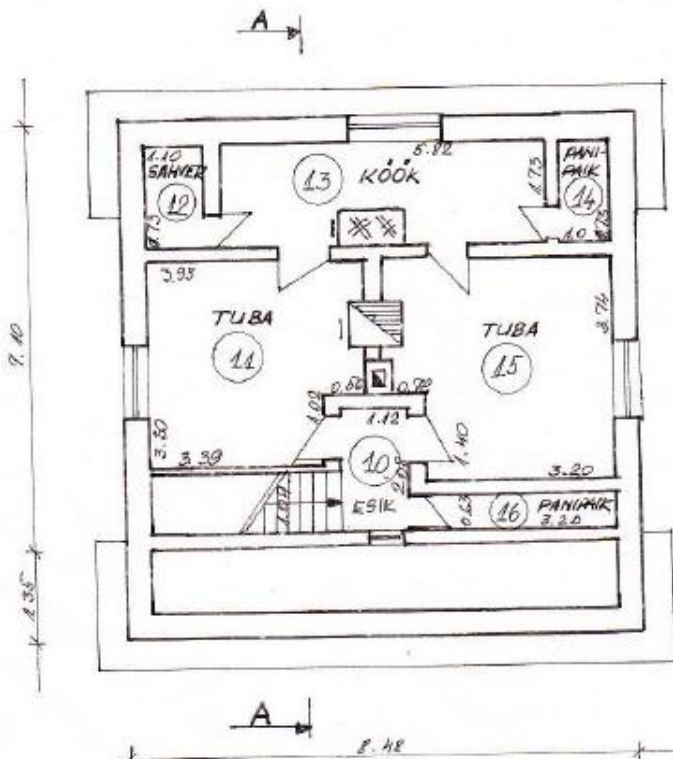


Joonis 2. Vaade hoonele põhjast

HOONE N°1 PÕHIPLAAN

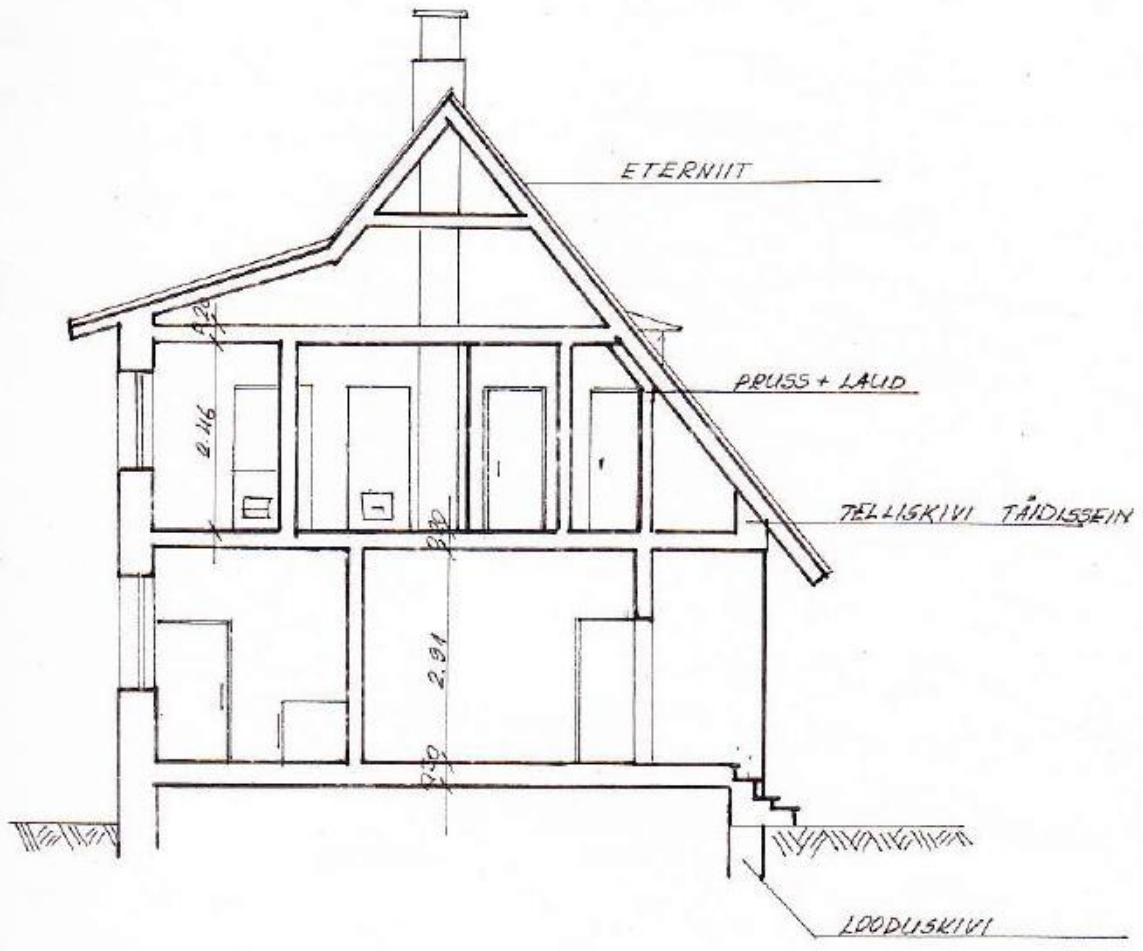


HOONE N°1 ÄRKLIKORRUSE PÕHIPLAAN



Joonis 3. Hoone korruste plaanid [5]

LÖIGE A-A



Joonis 4. Lõige A-A [5]

4. HOONEOSADE KIRJELDUS, KAHJUSTUSED, NENDE PÕHJUSED JA ETTEPANEKUD REMONTTÖÖDEKS

Käesoleva hoone põhikonstruktsioonide ja viimistluse ülevaatus on koostatud käsitletava hoone hetkeseisukorra hindamiseks ja vajalike parandustööde ja lisasoojustusvõimaluste väljaselgitamiseks ning nende tasuvuse hindamiseks.

Hoone ülevaatus on läbi viidud visuaalselt, tarindeid avamata. Kirjeldatud on vastavat hoone osa, ülevaatus tulemused on vormistatud tabeli kujul ja hõlmavad endas kahjustuste kirjeldusi, nende põhjuseid ja ettepanekuid parandustöödeks. Tabelis on ka viide pildimaterjalile, mis asub lõputöö lisas 1. Lisas 1 asub ka hoone vaadete skeem joonis L1.1.

4.1. Vundamendid

Hoone vundament on krohvitud, betoneeritud looduskivi lintvundament. Sokli ja välisseina vahele on paigaldatud bituumenpapp. Esialgne vundament on täiesti säilinud, esineb vaid mõningaid iluvigu. Hoone vundamendi sügavus maapinnast on 500 mm, keldri juures 1280 mm.

Vundamendi kahjustuste kirjeldused koos viitega fotomaterjalile on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Vundamendi kahjustused

Vundament			
Kahjustus	Põhjus	Parandus	Foto
Peened mõrad sokliosas	Hoone ebäühtlane vajumine	Paranduskrohvimine	Foto L1.1
Krohvikahjustused, sammaldumine	Puudulik vihmaveesüsteem	Rajada vihmaveesüsteem ja korrigeerida maapinna kaldeid juhtimaks sadevesi hoonest eemale	Foto L1.1

4.2. Välisseinad

Kandvaks osaks on pritskrohvitud silikaattellismüür I korruse ulatuses ja puitsõrestiksein II korruse ulatuses. Soojustusmaterjaliks on mõlemal juhul kasutatud saepuru. I korruse ulatuses oleval tellisseinal asub soojustus ebatraditsiooniliselt kandekonstruktsioonist seespool: sellist seinat nimetatakse harju seinaks.

"Harju sein on kivist väliskihiga ja puit- või TEP plaat-sisevoodriga täidissein, mida kasutatakse peamiselt ühekorruseliste individuaalelamute püstitamisel. Kuna seinat kandev osa on kivist, siis kuulub harju sein kivist kergseinte liiki."..

.. "Harju sein ehitatakse lapiti laotud tellistest poole kivi (120 mm) paksuse seinana, mille tugevdamiseks iga kolmanda kivi järel laotakse ühe või poole kivi laiune piilar.".. "Peale seinat tugevdamise on piilarite ülesandeks veel puidust püstpostide hoidmine, mille külge omakorda naelutatakse siselaudis." [7 lk 136; 138]

Antud hoone harju seinat konstruktsioone uurides ei olnud võimalik visuaalselt tuvastada tellispiilarite olemasolu. Siselaudise hoidmiseks mõeldud püstpostid on välispiirde tellisosast eraldiseisvad ja arvatavasti seotud vundamendi ja vahelaega. Välisseinte kahjustuste kirjeldused on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Välisseinte kahjustused

Välisseinad			
Kahjustus	Põhjus	Parandus	Foto
Peened mõrad I korruse seintes	Arvatavasti hoone ebatühtlane vajumine	Paranduskrohvimine	Foto L1.2; L1.3
Krohvikahjustused II korruse edelaküljel	Arvatavasti vibratsioon lähedal asuva maantee tõttu. Puitvälissein II korrusel on vibratsioonile vastuvõtlikum kui tellismüür	Teostada paranduskrohvimine. Eemaldada tsementpritskrohviparandused ja asendada lubikrohviga.	Foto L1.4; L1.5
Hallitus hoone põhjanurgas asuvas endise postiside-ruumi sisenurgas	Puudulik soojustus	Äravajunud saepurule lisada uut saepuru. Hallitus puhastada.	Foto L1.6; L1.7
Värvikahjustused	Hoone fassaadi on kohati ebakorrapäraselt värvitud	Vana värv eemaldada mehhaaniliselt, teostada krohviparandused.	Foto L1.8
Määrduvad krohv	Puudulikud aknaplekid	Lisada aknaplekid I korrusel	Foto L1.9

4.3. Katus

Elamul on eterniidiga kaetud suures osas soojustamata viilkatus. Soojustatud katuslagi paikneb vaid II korrusel asuvate panipaikade kohal. Serva- ja harjaplekkideks on tavaline tsinkplekk. Nii hoone kirde- kui ka edelaküljes on erineva suurusega katuseuugid. Korstnapits on laotud silikaattelistest, katuseviilul on horisontaalne laudis.

Katuse kahjustuste kirjeldused on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Katuse kahjustused

Katus			
Kahjustus	Põhjus	Parandus	Foto
Roostetanud harja- ja servaplekid.	Tsingikihi kulumine aja jooksul.	Vahetada kõik katuseplekid välja uute vastu.	Foto L1.10
Mõranenud eterniitplaadid	Liigne lumekoormus talvel, plaadi vananemine.	Vahetada katkised plaadid välja	Foto L1.11
Määrdund ja vähesel määral mõranenud korstnapits.	Vananemine, niiskuskahjustused.	Ehitada uus korstnapits, niiskuskahjustuste vältimiseks lisada pitsi peale katteplekk.	Foto L1.12
Värvikahjustused eterniidil ja katuseviilul.	Vananemine, vale värvimistehnoloogia.	Katus ja katuseviil puhastada vanast värvist, eterniit immutada ja värvida, katuseviil kruntida/immutada ja värvida.	Foto L1.8
Saepuru niiskumine pööningu põrandal.	Lokaalsed veelekked katuselt. Ilma veemütsita antennipost.	Otsida üles ja vahetada välja lekkivad eterniidiplaadid. Antennipostile lisada veemüts. Kuivatada saepuru ja kindlaks teha kahjustused konstruktsioonis, võimalusel parandada või asendada tarindi osa.	Foto L1.13; L1.14

4.4. Muud konstruktsioonid

Hoone muudeks konstruktsioonideks on aknad, ukсед, varikatused ja välistrepid.

4.4.1. Aknad

Hoone suured kahekordsed puitaknad on ruudukujulised ja jaotatud pooleks. Edelapoolsed, I korrusel asetsevad aknad on jaotatud vastavalt 1/3 ja 2/3. Väiksemad aknad on esialgsete halva seisukorra tõttu välja vahetatud originaali meenutavate avatavate PVC plastakende vastu.

Akende kahjustuste kirjeldused on toodud tabelis 4.

Tabel 4. Akende kahjustused

Aknad			
Kahjustus	Põhjus	Parandus	Foto
Koorunud pinnavärv	UV kiirgus, vale värv.	Aknaraamid ja lendid puhastada ja üle värvida.	Foto L1.2

4.4.2. Uksed

Hoone esialgne välisuks on välja vahetatud aastal 2006. mõõtudega 830x2230 mm, väikese aknaavaga ukse vastu. Põhjuseks oli ebaesteetiline välimus ja esialgse ukseplaadi kõverdumine ning ukse mittetäielik sulgumine, mis tekitas soovimatuid soojakadusid.

4.4.3. Terrass ja välistrepp

Hoone sissepääsu ees on 1,53x 3,87 m betoonist valatud terrass koos välistreppiga.

Hoone terrassi ja välistrepi kahjustuste kirjeldused asuvad tabelis 5.

Tabel 5. Terrassi ja välistrepi kahjustused

Terrass ja välistrepp			
Kahjustus	Põhjus	Parandus	Foto
Sammaldunud betoon	Puudulik vihmaveesüsteem.	Betoon puhastada samblast ja rajada vihmaveesüsteem.	Foto L1.1

4.5. Järeldused

Hoone ülevaatus tulemusena selgus, et hoone edasiste kahjustuste vältimiseks on vaja teostada hooldusremonti praktiliselt kõigis hoone osades. Suuremat tähelepanu tuleb pöörata niiskuskahjustuste vältimiseks, parandada lokaalsed lekked katusest, paigaldada aknaplekid ja rajada korralik vihmaveesüsteem. Hoone sisekliima tagamiseks on vajalik korrastada olemasolev soojustusmaterjal. Elamu välispiiretes kasutatud materjali edasiseks kaitsmiseks välistegurite mõju eest tuleb läbi viia paranduskrohvimine krohvseintel ja kordusvärvimine nii eterniitkatusel, kui ka katuseviilu ja tuulekasti laudisel, säilitades hoone esialgse välisilme.

5. EHITISE TEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE METOODIKA

Hoone tehnilise seisukorra hindamisel on kasutatud Tõnu Keskküla numbrilist meetodit mitmekorruselise elamu hindamiseks [8 lk 42-43]. Hetkeolukorras on tõese tulemuse saamiseks keskmise üldhinde valemist (1) välja jäetud HL e. liftide keskmine hinne, kuna majas ei ole lifti ette nähtud.

Hoone keskmine üldhinne:

$$H = (HP + 0,04HTe + 0,2HT):1,24 \quad (1)$$

kus:

<i>HP</i>	hoone põhikonstruktsioonide keskmine hinne;
<i>HTe</i>	teiste ehituslike süsteemide keskmine hinne;
<i>HT</i>	hoone tehniliste süsteemide keskmine hinne.

Põhikonstruktsioonide keskmine hinne:

$$HP = (HV + HSs + HSv + HVa + HTr + HK):6 \quad (2)$$

kus:

<i>HV</i>	vundamentide keskmine hinne;
<i>HSs</i>	siseseinte keskmine hinne;
<i>HSv</i>	välisseinte keskmine hinne;
<i>HVa</i>	vahelagede keskmine hinne;
<i>HTr</i>	treppide keskmine hinne;
<i>HK</i>	katuse keskmine hinne.

Teiste ehituslike süsteemide keskmine hinne:

$$HTe = (HUA + HR):2 \quad (3)$$

kus:

<i>HUA</i>	uste ja akende keskmine hinne;
<i>HR</i>	ühiskondlike ruumide hinne.

Hoone tehniliste süsteemide keskmine hinne:

$$HT = (HKU + HVE + HKA + HE) : 4 \quad (4)$$

kus:

<i>HKU</i>	küttesüsteemi keskmine hinne;
<i>HVE</i>	veevarustuse keskmine hinne;
<i>HKA</i>	kanalisatsioonisüsteemi keskmine hinne;
<i>HE</i>	elektrisüsteemi keskmine hinne.

Numbrilise meetodi hinded

<u>Hinne</u>	<u>Olukorrajeldus</u>
3	Heas seisundis, täiesti korras;
2	Osaliselt kulunud;
1	Märgatavalt kulunud, kohati avariiline;
0	Täielikult kulunud, avariiohulik (ka puuduvad tarindid, nt veevarustuse puudumine vanas majas).

6. EHITISE TEHNILISE SEISUKORRA HINDAMISE ARVUTUS

Hoone põhikonstruktsioonide keskmine hinne

- HV – vundamentide keskmine hinne – 3

Vundament koos sokliga on üldiselt heas seisukorras. Kui välja arvata mõningased krohvikahjustused ja peenikesed mōrad on vundament väga heas korras. Vaata lisaks tabel 1.

- HSs – siseinte keskmine hinne – 3

Hiljutise remondi käigus muudeti I korrusel mõnede ukseavade asukohtasid, mille tulemusena oli näha, et kandekonstruktsioon koos isolatsioonimaterjaliga oli väga heas seisukorras. Esineb vaid mõningaid krohvikahjustusi.

- HSv – väliseinte keskmine hinne – 2

Esineb peenikesi mōrasid ja krohvikahjustusi. Mõnedes kohtades on puudulik soojustus. Vaata lisaks tabel 2.

- HVa – vahelagede keskmine hinne – 2

Vahelaed on heas olukorras, läbipaindeid ei ole, krohvikahjustused on minimaalsed. Esineb lokaalset soojustusmaterjali läbimärgumist pōõningu pōrandal, tulenevalt minimaalsetest katuseleketest.

- HTr – treppide keskmine hinne – 3

Välisreppil esineb betooni sammaldumist. Sisemisel puidust reppil esineb paatina, kuid repp ise on ideaalses seisukorras.

- HK – katuse keskmine hinne – 2

Kui välja arvata pindmise roostega katuseplekid ja minimaalsed lekkes ning värvikahjustused, on katus heas seisukorras. Vaata lisaks tabel 3.

Valemist (2):

$$HP = \frac{HV + HSs + HSv + HVa + HTr + HK}{6} = \frac{3 + 3 + 2 + 2 + 3 + 2}{6} = \frac{15}{6} = 2,5$$

Teiste ehituslike süsteemide keskmine hinne

- HUA – uste ja akende keskmine hinne – 3

Uksed ja aknad on kokkuvõttes heas seisukorras. Klaasid on terved, raamid on sirged. Mõnes kohas esineb kooruvat värvi. Vaata lisaks tabel 4.

- HR – ühiskondlike ruumide hinne – 2

Trepikoda vajab remonttöid, krohv kohati lagunenu.

Valemist (3):

$$HTe = (HUA + HR)/2 = (3 + 2)/2 = 5/2 = 2,5$$

Hoone tehniliste süsteemide kirjeldus ja keskmine hinne

- HKU – küttesüsteemi keskmine hinne - 3

Majas on puuküte, 2 ahju ja 2 soojamüüri pliiti. Küttekolded on ideaalses seisukorras välja arvata mõned peenikesed mõrad II korruse ahju kahhelkivides.

- HVE – veevarustuse keskmine hinne - 3

Majja on aastal 2012 paigaldatud hüdrofori ja filtreerimisseadmega veesüsteem. Vesi tuleb elamusse lokaalsest kaevust maja õuel. Vett soojendab 100L elektriboiler.

- HKA – kanalisatsioonisüsteemi keskmine hinne - 3

Kanaliseerimisüsteemiks on 3m³ plastseptik koos imbalaga, mis on paigaldatud aastal 2012.

- HE – elektrisüsteemi keskmine hinne – 2

Hoone on ühendatud Eesti Energia AS elektrivõrguga, ühe liitumispunkti peakaitse on 1x20A ja pinge 230V. Majas on kokku kolm liitumispunkti. Elektrisüsteemist on aastal 2012 välja vahetatud uue vastu ligikaudu 50% sealjuures ka majja tulev peakaabel.

Valemist (4):

$$HT = (HKU + HVE + HKA + HE)/4 = (3 + 3 + 3 + 2)/4 = 11/4 = 2,75$$

Hoone keskmine üldhinne

- HP – hoone põhikonstruktsioonide keskmine hinne – 2,5
- HTe – teiste ehituslike süsteemide keskmine hinne – 2,5
- HT - hoone tehniliste süsteemide keskmine hinne - 2,75

Valemist (1):

$$H = (HP + 0,04HTe + 0,2HT)/1,24 = (2,5 + 0,04 * 2,5 + 0,2 * 2,75)/1,24 = 2,54$$

Hoone keskmiseks üldhindeks kujunes 2,54. Numbrilise meetodi hindamiskriteeriumite järgi on see hea tulemus, kuigi näitab, et hoone vajab hooldusremonti.

7. HOONE SOOJAKADUDE HINDAMISE METOODIKA

Töös kasutatud arvutusmetoodikad ja arvsuurused on pärit standarditest EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire [9], EVS-EN ISO 6946:2008 Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod [10], EVS-EN ISO 13370:2008 Hoonete soojuslik toimivus Soojuslevi pinnasesse Arvutusmeetodid [11], EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja -toted Soojus- ja niiskustehnilised omadused Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid [12]. Välisseina difusiooni arvutuse meetodika pärineb ET-kartoteegist ET-2 0404-0764 Välisseina difusiooni arvutus ja tugineb normile DIN 4108[13].

Töö teostamisel on kasutatud järgnevaid programme: MS Office Word 2007, MS Office Excel 2007, AutoCAD Architecture 2011, LBNL Therm 7.2, MathCAD 14, FLIR Tools, Adobe Reader XI.

Käesolevas töös on kasutatud järgmisi seadmeid: FLIR Systems E6 termokaamerat No. 63910214 (mõõtevahemik $-20\text{ °C} \dots +250\text{ °C}$, tundlikkus: $0,06\text{ °C}$, mõõtmistäpsus: $\pm 2\%$, sensor: 160×120 pikslit); laser termomeetrit FLUKE 566; välisõhu termomeetrit Vernier LabQuest + Stainless steel temperature probe TMP-BTA.

7.1. Soojakadude hindamise meetodika

"Hoonete välispiirded peavad olema pikaajaliselt õhkupidavad ja piisavalt soojustatud. Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumide soojuslikust mugavusest ja hallituse ning kondensaadi vältimisest külmasildadel, sisepindadel ja tarindites. Piirete soojusjuhtivus arvutatakse standardi EVS-EN ISO 6946: 2008 [10] järgi.

Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtted on järgmised:

- arvutatakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeense kihi soojustakistus;

- määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus;
- arvutatakse piirde soojusjuhtivus, mida korrigeeritakse, arvestades mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katustele, soojustuse õhujuhtivuse mõju ja külmasildade mõju." [9] lk 20

Hoone piirete soojusjuhtivus korrutatakse läbi vastava piirde pindalaga, juurde lisatakse külmasildadest tulenevad soojakaod. Aastase soojakao Q leidmiseks korrutatakse leitud kogusoojakadu läbi antud piirkonna kraadtundide arvuga.

Kuna hoone soojakaod sõltuvad suurel määral ka tarindi niiskusrežiimist, on antud töös käsitletud soojakadude hindamise meetodikas ka niiskustehnlise arvutuse meetodikat.

7.1.1. Tarindi soojusjuhtivus

Tarindi soojusjuhtivus [9 lk 20] U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga (5) ümardatuna kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{R_T}, W/(m^2 \cdot K) \quad (5)$$

kus:

R_T piirde kogusoojustakistus $(m^2 \cdot K)/W$.

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus [9 lk 21] R_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga (6):

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad (6)$$

kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. tabel 6;
 R_1, R_2 iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$;
 R_{se} piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. tabel 6.

Tabel 6. Piirde pindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel [9 lk 21]

Soojusvoolu suund			
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein)*	Alla (põrand)
$R_{si}, (m^2 \cdot K)/W$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}, (m^2 \cdot K)/W$	0,04	0,04	0,04

*Juhul kui soojusjuhtivuse suurus on nõutud olenemata soojusvoo suunast, on soovitatav kasutada horisontaalsele soojusvoole vastavaid väärtusi.

*Ehitise sisetarindite, nagu vaheseinad, vahelaed, või sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahelise tarindi kogusoojatakistuse arvutamisel võetakse mõlema pinna soojustakistuseks R_{si} .

Soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus [9 lk 21], $R, (m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga (7);

$$R = \frac{d}{\lambda}, (m^2 \cdot K)/W \quad (7)$$

kus:

d materjalikihi paksus, m;

λ materjali arvutuslik soojuserijuhtivus, $W/(m \cdot K)$.

Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega tarindi kogusoojustakistus [9 lk 23-24],

$R_T, (m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga (8):

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (8)$$

kus:

R'_T mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;

R''_T mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(m^2 \cdot K)/W$.

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusjuhtivuste summa abil vastavalt valemile (9):

$$R_T' = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}} \quad (9)$$

kus:

- A_a, \dots, A_n piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud);
 R_{Ta}, \dots, R_{Tn} piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile (6).

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana vastavalt valemile (10):

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (10)$$

kus:

- R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$;
 R_1, R_x, R_n iga kihi soojustakistus, mida arvutatakse vastavalt valemile (7) (soojuslikult homogeenne kiht) või vastavalt valemile (11) (soojuslikult mittehomogeenne kiht), $(m^2 \cdot K)/W$;
 R_{se} piirde välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}} \quad (11)$$

kus:

- A_{xa}, \dots, A_{xn} mittehomogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud), m^2 ;
 R_{xa}, \dots, R_{xn} mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile (7).

Maksimaalne suhteline arvutusviga e , % arvutatakse valemiga (12)

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \cdot 100\% \quad (12)$$

kus:

- R_T' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;

R''_T mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(m^2 \cdot K)/W$.

Eeltoodud mittehomogeensete materjalikihtidega piirde soojustakistuse arvutusmeetod on lihtsustatud meetod. See meetod ei sobi:

1. külmasildadest põhjustatud pinnatemperatuuride arvutamiseks;
2. kui mittehomogeense tarindi materjalide soojuserijuhtivused erinevad üle viie korra;
3. kui arvutusviga e on suurem kui 20%.

7.1.2. Kütmata ruumide soojustakistus

"Pööningu mõju võib soojusjuhtivuse arvutustes arvesse võtta, käsitledes pööningut kui soojuslikult homogeenset kihti, mille soojustakistused võib võtta tabelist 7. Tabelis toodud väärtused sisaldavad ventileeritud ruumi ja (kald)katuse soojustakistusi. Need ei sisalda piirde välispinna soojustakistust, R_{se} .

Tabel 7. Pööningu soojustakistus

Katuse iseloomustus	$R_g, (m^2 \cdot K)/W$
Ilma aluskatteta kivikatus	0,06
Lehtmaterjalist (plekk, bituumenplaadid jne) katus või aluskattega kivikatus	0,2
Kahekordse aluskihiga katus või väikese pinnaemissiooniga materjalist aluskattega katus	0,3

Väikeste kütmata ruumide, nagu garaažide, laorumide või kasvuhoonete mõju võib arvesse võtta, käsitledes ruumi koos selle välispiirdetarinditega kui täiendavat homogeenset kihti, mille soojustakistus R_u leitakse vastavalt valemile (13):

$$R_u = 0,09 + 0,4 \frac{A_l}{A_u}, m^2 \cdot K/W \text{ (tingimus: } R_u \leq 0,5 m^2 \cdot K/W) \quad (13)$$

kus:

- A_i on kõikide sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahel asuvate komponentide üldpind;
- A_u on kõikide kütmata ruumi ja väliskeskkonna vahel asuvate komponentide üldpind." [9 lk 22-23]

Kütmata keldri puhul leitakse sise- ja väliskeskkonna vaheline soojusjuhtivus U vastavalt standardile EVS-EN ISO 13370:2008 [11 lk 9; 11; 16-18] valemi (14) põhjal:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V)} \quad (14)$$

kus:

- U_f on põranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus $W/(m^2 \cdot K)$ (hoone siseruumi ja õhkvahe vahel);
- A põranda pindala, m^2 ;
- U_{bf} keldripõranda soojusjuhtivus $W/(m^2 \cdot K)$;
- z keldri sügavus maapinna suhtes, m ;
- P põranda avatud perimeeter, m ;
- U_{bw} keldriseinte soojusjuhtivus $W/(m^2 \cdot K)$;
- h põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes, m ;
- U_w on õhkvahe seinte soojusjuhtivus välise maapinna kohal, $W/(m^2 \cdot K)$, arvutatud vastavalt standardile EVS-EN ISO 6946:2008 [7];
- n on keldri õhuvahetuskordsus tunni kohta;
- V keldri sisekubatuur, m^3 .

Täpsustava informatsiooni puudumise korral võib õhuvahetuskordsuseks kasutada suurust $n = 0,3 h^{-1}$

Kuna keldripõrand on soojustamata eeldatakse, et $(d_t + 0,5z) < B'$, seega leitakse keldripõranda soojusjuhtivus U_{bf} , $W/(m^2 \cdot K)$ valemiga (15):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right) \quad (15)$$

kus:

B' põranda tunnusmõõtmed, m ;
 d_t võrdväärne kogupaksus- pinnasel asuv põrand, m .

Soojustatud keldripõranda puhul $(d_t + 0,5z) > B'$ ja keldripõranda soojusjuhtivus U_{bf} , $W/(m^2 \cdot K)$ leitakse kasutades valemit (16):

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z} \quad (16)$$

Keldriseina soojusjuhtivuse leidmiseks kasutatakse valemit (17);

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (17)$$

kus:

d_w võrdväärne kogupaksus- keldrisein, m .

Pinnasel asuva põranda kogupaksuse d_t leidmiseks rakendatakse valemit (18);

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (18)$$

kus:

w maapinnast kõrgemal asuvate seinte kogupaksus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid;
 λ pinnase soojuserijuhtivus (külmumata pinnasel);
 R_f põrandaplaadi soojustakistus, kõik kogu selle pindala hõlmavad soojustuskihid põrandaplaadi peal, all ja vahel ning põrandakattematerjal kaasa arvatud, $(m^2 \cdot K)/W$.

Tihedate betoonplaatide soojustakistuse ja õhukesed põrandakattematerjalid võib jätta arvestamata. Plaadi all asuva täitematerjali soojusjuhtivus loetakse pinnase omaga samaväärseks ning selle soojustakistust ei arvestata.

Kuna keldripõrand koosneb kiviplaatidest pinnasel, on põranda soojustakistus lubatud jätta arvestamata ja $R_f = 0 (m^2 \cdot K)/W$.

Keldriseinte kogupaksus d_w leitakse valemist (19);

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (19)$$

kus:

R_w keldriseinte soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.

Põranda tunnismõõtmed, B' , leitakse valemi (20) abil:

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (20)$$

Hoone all asuva pinnase kategooria on 2 (liiv, kruus), mille soojuseri juhtivus on $\lambda = 2,0 W/(m \cdot K)$

7.1.3. Soojuslevi pinnasesse

Hoone põrand on soojustamata ja on toetatud pinnasele kasutades puittalasid, hoone osalise mahu all on ka mittekõetav kelder (vt. 7.1.2). Põranda all asuv õhkvahe on tuulutusetu. Standardi EVS-EN ISO 13370:2008 [11 lk 31] järgi on tuulutusetu õhkvahe puhul põranda soojuslähivuse valem (21) järgmine:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + 2hU_w/B'} \quad (21)$$

kus:

U_g on soojusjuhtivus, mis tuleneb pinnasesse suunduvast soojusvoost, $W/(m^2 \cdot K)$.

Pinnasesse suunduvat soojusvoogu iseloomustab valem (22):

$$U_g = \frac{1}{R_g}, W/(m^2 \cdot K) \quad (22)$$

kus:

R_g on maapinna võrdväärne soojustakistus $(m^2 \cdot K)/W$.

Maapinna võrdväärne soojustakistus leitakse valemiga (23):

$$R_g = \frac{0,457 \cdot B'}{\lambda} \quad (23)$$

7.1.4. Piirdetarindi korrigeeritud soojusjuhtivus

Et võtta arvesse soojustuses olevaid tühimikke (paigalduse vead), soojustuskihti läbivaid kinniteid, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumist soojustuses, tuleb soojusjuhtivust korrigeerida. Korrigeeritud soojusjuhtivus, U_c , saadakse arvutatud soojusjuhtivusele, U , paranduse ΔU lisamisega, valem (24) [9 lk 25].

$$U_c = U + \Delta U, W/(m^2 \cdot K) \quad (24)$$

Kuna piirdekonstruktsioonides ei ole soojustust läbivaid kinniteid, hoones puudub pööratud katus ja joonkülmasildade lisa-soojusjuhtivus on eraldi arvutatud on jäetud need esialgsest ΔU valemist välja.

Parandus, $\Delta U, W/(m^2 \cdot K)$, saadakse valemist (25):

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_a, W/(m^2 \cdot K) \quad (25)$$

kus:

ΔU_g õhupiludest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;

ΔU_a soojustuse õhujuhtivusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$.

Õhupiludest tingitud parandus saadakse valemist (26):

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_I}{R_T}\right)^2, W/(m^2 \cdot K) \quad (26)$$

kus:

$\Delta U''$ tegur [9 tabel 4.9];

R_I pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus;

R_T piirdetarindi kogusoojustakistus.

Soojustuse õhujuhtivusest tingitud parandus saadakse valemist (27):

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' \cdot \left(\frac{R_I}{R_T}\right)^2, W/(m^2 \cdot K) \quad (27)$$

kus:

$\Delta U_a''$ tegur [9 tabel 4.11];

R_I õhkujuhtivat materjali sisaldava kihi soojustakistus.

7.1.5. Välisseina difusiooniarvutus

Lea Täheväli Stroh on oma raamatus "Maja ja niiskus" [14] kirjutanud, et difusioon on nähtus, kus veeaur, nagu teisedki gaasid, liigub suuremalt rõhult väiksema rõhu poole, kuni rõhk ühtlustub. Veeauru difusioon toimub ka läbi materjalide ja konstruktsioonide ning selle ulatus sõltub materjali poorsusest - mida poorsem on materjal, seda rohkem laseb see veeauru läbi. Veeauru rõhu määrab temperatuur ja see ei saa ületada küllastusrõhku (maksimaalset osarõhku). Difusioon võib toimuda piirdetarindis nii seest väljapoole, kui ka vastupidi.

Difundeeruv niiskus kondenseerub piirdekonstruktsioonis juhul, kui selle osarõhk jõuab küllastusrõhuni, ehk tekib 100% õhuniiskus. Sellisel juhul märgub vastav materjali kiht konstruktsioonis, tuues endaga kaasa rida niiskuskahjustusi: bioloogiline lagunemine, külmakahjustused, soolakahjustused, keemiline lagunemine, füüsiline lagunemine, määrdumine, suurenenud energiakulu ja terviseriskid.

Difusiooniarvutuse teostamiseks ET-kartoteegi järgi [13] vastavalt standardile DIN 4108-3 on vaja kõigepealt paika panna raamtingimused ja seejärel leida valemi (28) järgi materjalikihi aurutakistus:

Raamtingimused, mis kondenseerumisperioodil (talvel) tuleks arvesse võtta arvutuste tegemiseks on DIN 4108-3 järgi:

väliskliima: -10 °C , relatiivne niiskus 80%;

sisekliima: $+20\text{ °C}$, relatiivne niiskus 50%.

$$S_d = \mu \cdot d, m \tag{28}$$

kus:

μ ehitusmaterjali difusioonitakistustegur, mis näitab, kui palju on materjali difusioonitakistus suurem, võrreldes sama paksu õhukihiga samal temperatuuril.

Seejärel tuleb leida materjalikihi temperatuurierinevus Δt valemiga (29):

$$\Delta t = \frac{R}{100} \cdot (t_v - t_s), K \quad (29)$$

kus:

t_v piirde välistemperatuur °C;

t_s piirde sisetemperatuur °C.

Vastava materjalikihi pinnatemperatuur t on võimalik välja arvutada liites sellele kihile eelnenud kihi pinnatemperatuurile vastava materjalikihi temperatuurierinevuse.

Nüüd saab välja arvutada valemi (30) või (31) järgi maksimaalse veeauru osarõhu p_{max} :

a) temperatuuridel 0 kuni +30 °C kehtib:

$$p_{max} = 288,68 \cdot \left(1,098 + \frac{t}{100}\right)^{8,02} \quad (30)$$

b) temperatuuridel -20 kuni 0 °C kehtib:

$$p_{max} = 4,689 \cdot \left(1,486 + \frac{t}{100}\right)^{12,30} \quad (31)$$

Pärast seda tuleb leida ka veeauru osarõhuerinevus Δp valemiga (32):

$$\Delta p = (p_{teg,s} - p_{teg,v}) \cdot \frac{S_d}{\Sigma S_d}, Pa \quad (32)$$

kus:

$p_{teg,s}$ tegelik veeauru osarõhk hoones sees;

$p_{teg,v}$ tegelik veeauru osarõhk hoonest väljas.

Tegeliku veeauru osarõhu p sein materjalikihil saab välja arvutada liites sellele eelnenud kihi osarõhule vastava materjalikihi veeauru osarõhuerinevuse.

Veeauru tegeliku ja maksimaalse osarõhu väärtused sein kihtide kaupa võib informatiivsuse mõttes esitada graafikuna, kus y-teljel on osarõhkude skaala ja x-teljel S_d väärtused. Kohtades, kus graafikud omavahel puutuvad (tegelik veeauru osarõhk on suurem kui maksimaalne) tekib kondenseerumine.

7.1.6. Hoones kasutatud ehitusmaterjalide soojus- ja niiskustehnilised omadused

Tabelis 8 toodud ehitusmaterjalide omadused pärinevad standardist EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja -tooted Soojus- ja niiskustehnilised omadused Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid [12], uuringust Maaelamute sisekliima ja energiasääst I [3], ehituskonstruktori käsiraamatust [15] ja raamatust "Elamuehitus I"[16]. Viide allikale on toodud tabeli vastavas veerus.

Tabel 8. Hoones kasutatud materjalide omadused

Materjal	Arvutuslik soojuseri juhtivus		Veeauru difusioonitakistustegur	
	λ		μ	kuiv
	$W/(m \cdot K)$			
Lubikrohv	0,8	[12]	10	[12]
Silikaattellismüüritis	0,95	[15]	20	[12]
Saepuru	0,08	[3]	3,1	[16]
Okaspuut	0,12	[15]	50	[12]
Bituumenpapp	0,17	[15]	4500	[16]
Liiv	2,00	[12]	50	[12]
Keskmise tihedusega betoon	1,15	[12]	100	[12]

7.1.7. Külmasillad hoones

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

Külmasilla juures on tarindi sisepinna temperatuur madalam ja välispinna temperatuur kõrgem. Lisaks külmasildadele võivad sisepinna temperatuuri lokaalset alanemist põhjustada ka vead

soojustuse paigalduses, soojustuse puudumine, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhutõkke lekked ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus.

Külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis mitmel põhjusel:

- Külmasilla suuremast soojusjuhtivusest põhjustatud madalam sisepinnatemperatuur ja sellest tulenev kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal mikroorganismide kasvu, seina määrdumist või viia veeauru kondenseerumiseni. Veeaur kondenseerub, kui temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri, kui suhteline niiskus on 100%. Hallituse kasvuks sobiv suhteline niiskus toatemperatuuril algab 75...80% juurest.
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust, tulenevalt eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest.
- Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures on hoone soojuskadude külmasildade suhteline osakaal kasvanud." [3 lk 66]

Joonkülmasildade lisakonduktantside leidmiseks on kasutatud temperatuurivälja arvutusprogrammi THERM 7.2. Arvutustulemuste saamiseks on programmis määratud igale materjalikihile vastav soojuseri juhtivus, sise- ja väliskliima raamtingimused (vt. jaotis 7.1.5) ja sise- ja välispinna soojustakistused. Seejärel on graafiliselt koostatud tarindite liitekohtade mudelid.

Mudeli koostamisel tuleb jälgida programmi eripärast tulenevaid geomeetrilisi ääretingimusi:

- Mudeli osa pikkus on minimaalselt 1000 mm või kolmekordne vaadeldava konstruktsiooni paksus.
- Sokliosa arvutamiseks kasutatakse põranda laiusmõõtu b , m , millest lähtuvalt peab horisontaalne kaugus vertikaalsest tasapinnast seespool ehitist olema vähemalt $0,5b$ ja väljaspool ehitist vähemalt $2,5b$. Vertikaalne kaugus maapinnast ja põranda tasapinnast (juhul kui põrandapind asub rohkem kui 2 meetrit maapinnast madalamal) allapoole on vähemalt $2,5b$.

Ebasümmeetrilise põranda puhul võrdsustatakse põranda laius b põranda tunnusmõõtmega B' (valem 20).

Pärast arvutustulemuste leidmist saab standardi EVS-EN ISO 10211:2008 [17 lk 23] järgi valemist (33) välja arvutada konkreetse joonkülmasilla lisakonduktantsi Ψ , $W/(m \cdot K)$.

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \quad (33)$$

kus:

L_{2D}	külmasilla soojuserikadu sise- ja väliskeskkonna temperatuurierinevuste kohta, mis läbib neid kahte keskkonda ühendavat tarindit ning mis on leitud kahte vaadeldavat keskkonda eraldava kahemõotmelise temperatuurivälja arvutuste põhjal, $W/(m \cdot K)$;
U_j	kahte vaadeldavat keskkonda eraldava tarindi soojusjuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$;
l_j	pikkus, mille ulatuses kohaldatakse väärtust U_j , m ;
N_j	Kahte vaadeldavat keskkonda eraldavate tarindite arv.

Külmasilla soojuserikadu L_{2D} on programmist THERM 7.2 saadud mudeli soojusjuhtivus.

Programmi graafilised tulemused on esitatud koos samatemperatuurijoontega.

Soojakadu läbi külmasildade saadakse kui külmasilla lisakonduktantsi väärtus ψ , $W/(m \cdot K)$ korrutatakse läbi vastava külmasilla pikkusega l , m .

7.1.8. Termovisiooni meetoodika

Termovisiooni infrapunakaameraga mõõtmine baseerub kehadelt kiirguva soojusenergia mõõtmisel. Keha, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, s.o. $-273,15$ °C, kiirgab soojusenergiat. Termovisiooni infrapunakaamera abil mõõdetakse kehalt või esemelt kiirgunud või peegeldunud soojusenergiat ja teades keskkonnatingimusi ning kiirgava pinna omadusi, saab arvutada selle pinna temperatuuri. Termograafia abil on võimalik ehitustehnikas teha mitmeid uuringuid ilma tarindeid avamata. [3 lk 66]

Termovisioon on antud hoones teostatud hindamaks hoone hetkeseisukorda, õhulekkeid ja üldist ehituskvaliteeti. Termovisiooni abil on määratud üldised külmasillad.

7.2. Väikeelamu energiatõhususe arvutamise meetodika

Antud väikeelamu puhul on kasutatud lihtsustatud energitõhususarvu piirväärtuse tõendamismeetodit, kus on vaja arvutada:

- Soojusjuhtivus läbi tasapindsete hoonepiirete $U \cdot A$, (W/K);
- Külmasildade lisasoojusjuhtivus $\psi_j \cdot l_j$, (W/K);
- Välispiirete ebatihedus (infiltratsioon) q_i , (l/s);
- Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta aastas, ($W/m^2 \cdot K$).

Energiatõhususarv, arvestamata elektrienergia kulu, on arvatatud vastavalt Hoone energiatõhususe arvutamise meetodikale. [18]

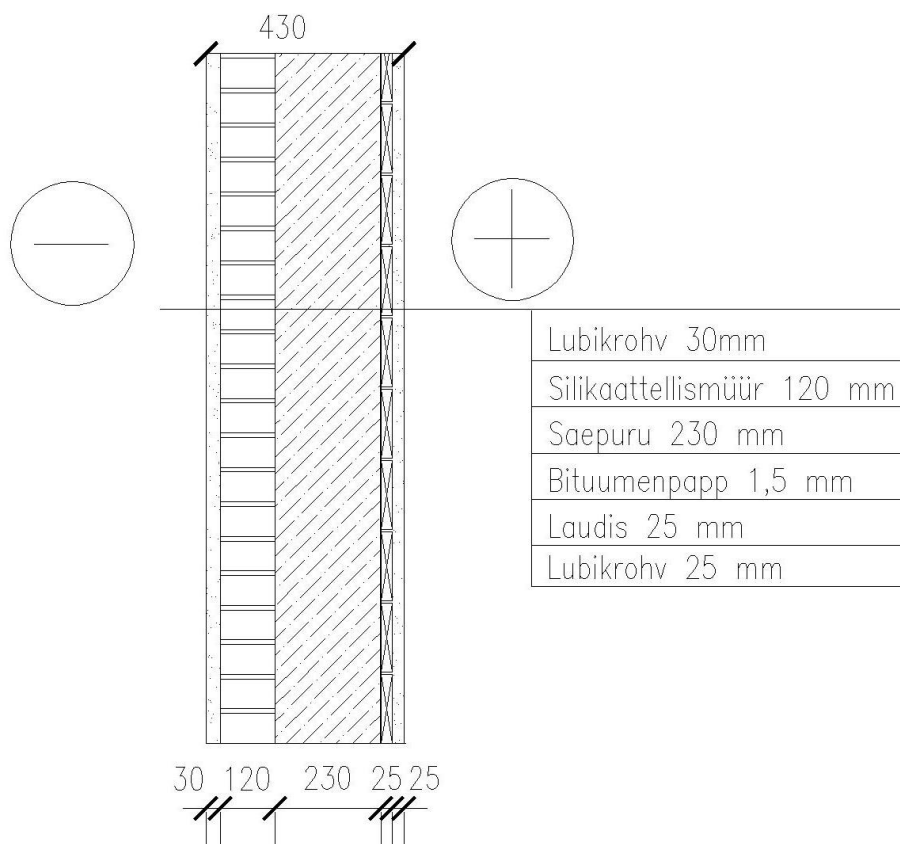
8. HOONE SOOJAKADUDE HINDAMISE ARVUTUS JA NIISKUSTEHNILINE ARVUTUS HETKEOLUKORRAS

Piirdetarindite soojakadude hindamise ja niiskustehnilise arvutuse tulemused on vormistatud tabeli kujul (tabel 9), selguse mõttes on igast piirdetarindist esitatud ka lõikejoonis (joonis 5). Tabelisse kantud väärtused on arvutatud vastavalt peatükkides 7.1.1; 7.1.2 ja 7.1.5 esitatud arvutusmetoodikale. Veeauru osarõhkude väärtused on esitatud graafilisel kujul vastavalt arvutustulemustele joonisel 6. Teiste piirdetarindite soojus- ja niiskustehnilised arvutused (lisa 2.1-2.4) ja graafiline materjal (joonis L2.1-2.4) on toodud lisa 2.

Soojuslevi pinnasesse, kütmata keldri soojusjuhtivus ja korrigeeritud soojusjuhtivus arvutatakse käsitsi vastavalt peatükkides 7.1.2; 7.1.3 ja 7.1.4 esitatud arvutusmetoodikale.

Piirdeseinade puitkarkassi U-arv on ligilähedane soojustuseks kasutatud saepuru omaga ja selle ruumiline osakaal tarindis võrreldes saepuruga on ligikaudu 10%, seega antud töös ei arvestata puitkarkassi olemasolu soojusarvutuste läbiviimisel.

Katuslae ja põranda arvutustes on välispinna soojustakistus R , $m^2 \cdot K/W$ arvestatud võrdseks sisepinna soojustakistusega, kuna lainelise eterniidi ja põrandalaudise all on tuulutatav õhkvahe [9 lk 22].



Joonis 5. Harju sein lõige

Lõikejoonistel on plussmärgiga märgitud hoone sisemine pool ja miinusmärgiga välja jääv pool. Joonisele on kantud erinevate kihtide nimetused ja paksused väljastpoolt sissepoole.

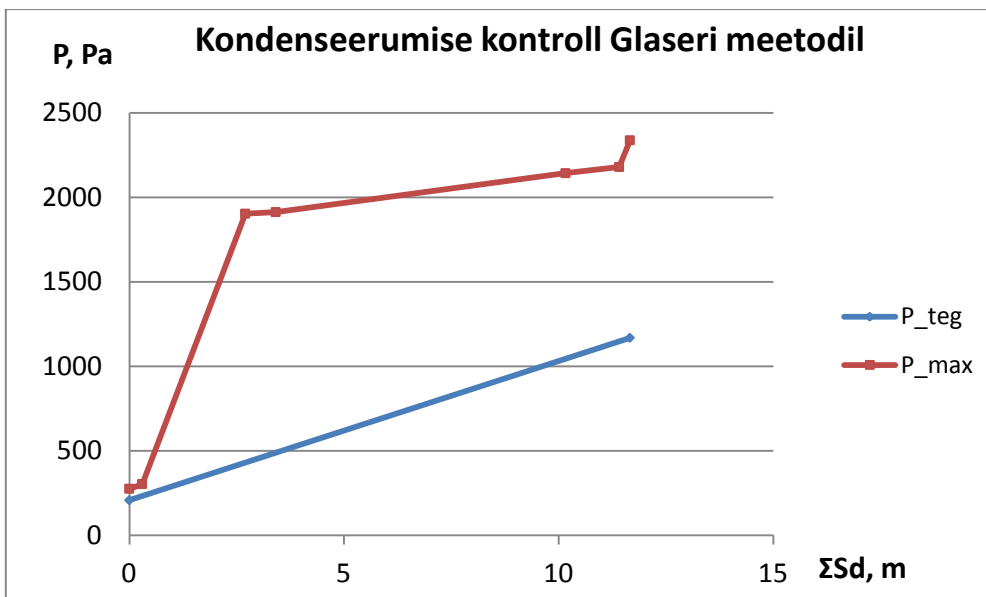
Tabel 9. Harju seina soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusarvutused

Tarindi osa	kihi paksus d, meetrit	λ_s , W/(mK)	R_s , m ² K/W	%R	välisest sisetemp		μ	S_d	P_{reg} , Pa	P_{max} , Pa	$\sum S_{d_i}$, m
					-10° C	20° C					
Välispind					Δt	-10					
Lubikrohv	0.030	0.8	0.04	1.2	0.35	-9.65	10	0.30	208	260	0.00
Siikaattellis	0.120	0.95	0.13	3.7	0.33	-9.33	20	2.40		276	0.30
Saepuru	0.230	0.08	2.88	83.2	1.10	-8.23	3.1	0.71		304	2.70
Bituunpapp	0.0015	0.17	0.01	0.3	24.95	16.72	4500	6.75		1904	3.41
Laudis	0.025	0.12	0.21	6.0	0.08	16.79	50	1.25		1913	10.16
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	0.9	1.81	18.60	10	0.25		2144	11.41
Sisepind				3.8	0.27	18.87				2180	11.66
				100	1.13	20.00				2338	11.66

R_s , m²K/W 3.46 100
 U , W/(m²K) **0.29**

Niiskusarvutused

	veeauu osarõhk sees ja väljas, Pa	veeauu osarõhk sees ja väljas, Pa
Veeauu max osarõhk	2338.2	259.9
Suhte line õhumiskus	50.0	80.0
Tegelek veeauu osarõhk	1169.1	207.9
		961.2



Joonis 6. Harju seina kondenseerumise kontroll Glaseri meetodil

Kütmata kelder

Keldri pindala A on $8,3 \text{ m}^2$, avatud perimeeter P on $11,72 \text{ m}$ ja sisekubatuur V on $14,74 \text{ m}^3$. Keldri sügavus z maapinna suhtes on $1,28 \text{ m}$. Põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes on $0,78 \text{ m}$. Keldriseinte paksus w on nii maapinnast üleval-, kui ka allpool $0,37 \text{ m}$ (340 mm keskmise tihedusega betoon, 30 mm lubikrohv). Keldri lae paksus on 250 mm (140 mm keskmise tihedusega betoon, 70 mm karkass (tuulutusega õhkvahe), 38 mm põrandalaudis).

Keldripõranda tunnusmõõt valemist (20):

$$B' = \frac{8,3}{0,5 \cdot 11,72} = 1,42 \text{ m}$$

Pinnasel asuva põranda kogupaksuse d_t leidmiseks rakendatakse valemist (18):

$$d_t = 0,37 + 2,0(0,17 + 0 + 0,04) = 0,79 \text{ m}$$

Keldriseinte soojustakistus R_{kw} leitakse vastavalt valemile (6), kusjuures standardis EVS-EN ISO 13370:2008 [11 lk 46] toodud keldri arvutusnäite järgi ei ole juurde lisatud sise- ja välispinna soojustakistusi:

$$R_{kw} = \frac{0,03}{0,8} + \frac{0,34}{1,15} = 0,33 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Keldriseinte kogupaksus d_w leitakse valemist (19):

$$d_w = 2,0(0,13 + 0,33 + 0,04) = 1,0 \text{ m}$$

Välisõhu kohal asuva pöranda (keldri lae) soojustakistus $R_{kpörand}$ leitakse vastavalt valemile (6), kus õhkvahe soojustakistus "Ehituskonstruktori käsiraamat" [13 lk 153] järgi on $R_{\delta} = 0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$:

$$R_{kpörand} = \frac{0,14}{1,15} + 0,21 + \frac{0,038}{0,12} = 0,65 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Kuna $d_t + 0,5z = 0,16 + 0,5 \cdot 1,28 = 0,8 < B' = 1,42$, siis keldripöranda soojusjuhtivus leitakse valemist (15):

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 1,42 + 0,79 + 0,5 \cdot 1,28} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot 1,42}{0,79 + 0,5 \cdot 1,28} + 1 \right) = 0,96 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Keldriseina soojusjuhtivuse leidmiseks kasutatakse valemit (17):

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 1,28} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 0,79}{0,79 + 1,28} \right) \ln \left(\frac{1,28}{1,0} + 1 \right) = 0,98 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Keldriseinte soojusjuhtivus maapinnast kõrgemal arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$U_{kw} = \frac{1}{0,13 + 0,33 + 0,04} = 2,0 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Pöranda välisõhu kohal asuva osa (keldri lae) soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$U_{kf} = \frac{1}{0,17 + 0,65 + 0,17} = 1,01 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Valemist (14) leitakse kütmata keldri sise- ja väliskeskkonna vaheline soojusjuhtivus U :

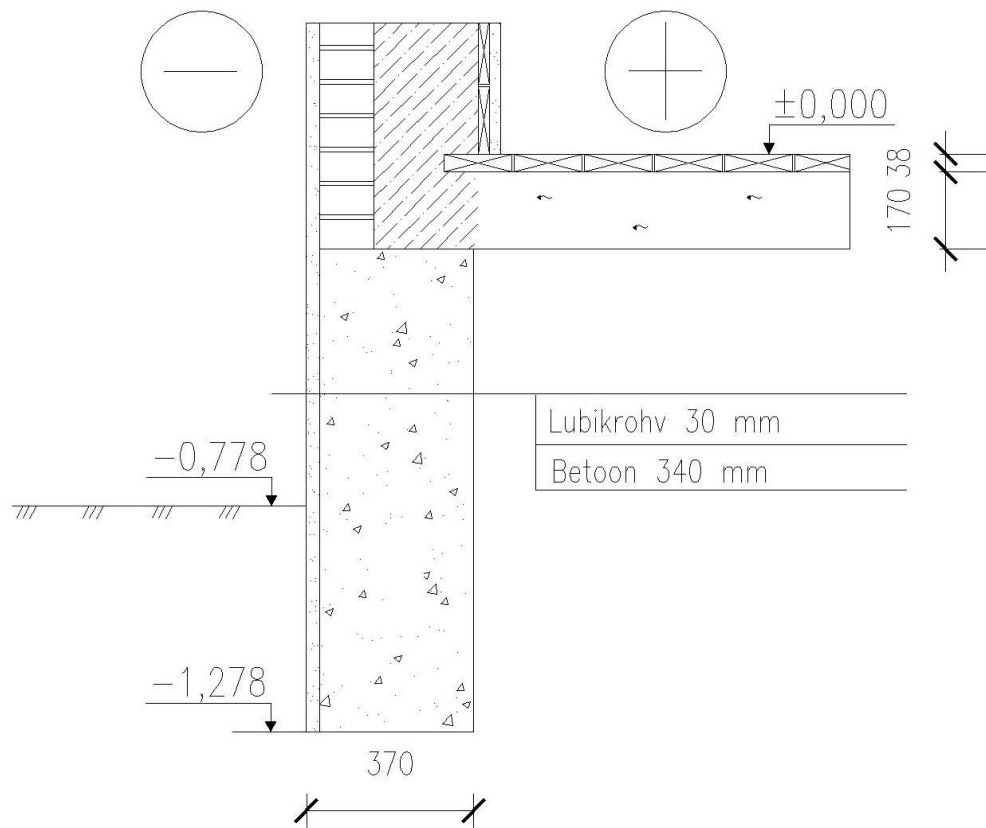
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1,01} + \frac{8,3}{(8,3 \cdot 0,96) + (1,28 \cdot 11,72 \cdot 0,98) + (0,78 \cdot 11,72 \cdot 2,0) + (0,33 \cdot 0,3 \cdot 14,74)} = 1,19$$

$$U = 0,84 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

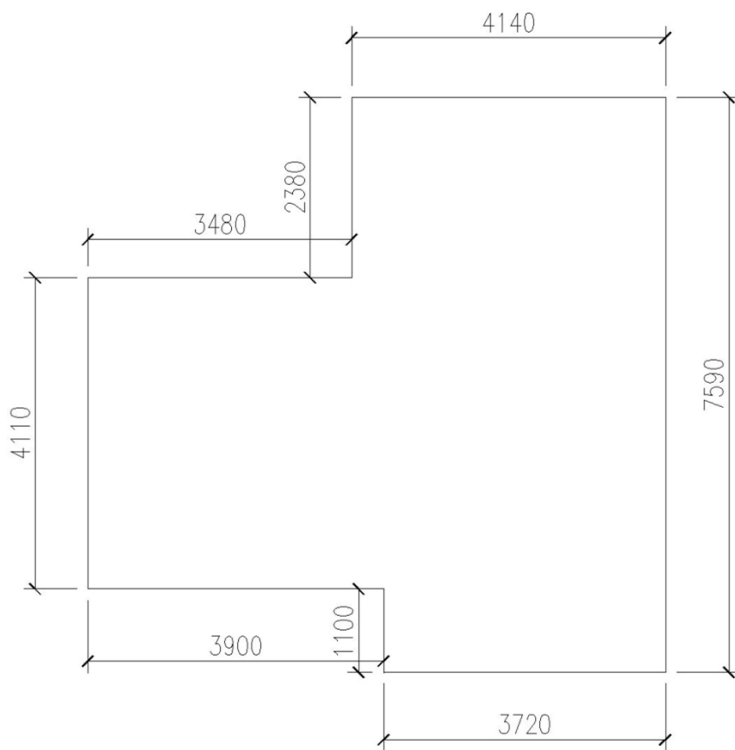
Soojuslevi pinnasesse

Hoone põrandapindala ilma keldriosa ja terrassita on 45,3 m² ja avatud perimeeter on 30,4 m. Õhkvähe on 170 mm, mille all on 2. kategooria pinnas (liiv, kruus) ja kohal on 1,5" ehk 38 mm okaspuidust põrandalaudis.

Hoone sokli lõikejoonis ja I korruse põranda skeem on toodud joonistel 7 ja 8.



Joonis 7. Hoone sokli lõige



Joonis 8. Hoone põranda skeem ilma keldriosata

Hoone põranda tunnusmõõt valemist (20):

$$B' = \frac{45,3}{0,5 \cdot 30,4} = 2,98 \text{ m}$$

Maapinna võrdväärne soojustakistus R_g leitakse valemiga (23):

$$R_g = \frac{0,457 \cdot 2,98}{2,0} = 0,68 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Pinnasesse suunduvast soojusvoost tulenev soojusjuhtivus U_g arvutatakse vastavalt valemile (22):

$$U_g = \frac{1}{0,68} = 1,47 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Õhkvahe seina soojusjuhtivus U_w on arvatud eelnevalt tabelis 9.

$$U_w = 0,29 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Hoone põranda soojustakistus arvutatakse vastavalt valemile (7):

$$R_{põrand} = \frac{0,038}{0,12} = 0,32 (m^2 \cdot K)/W$$

Hoone siseruumi ja õhkvahe vahel oleva põrandaosa soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$U_f = \frac{1}{R_{si} + R_{põrand} + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 0,32 + 0,17} = 1,52 W/(m^2 \cdot K)$$

Põranda soojuslähivus arvutatakse kasutades valemit (21):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1,52} + \frac{1}{1,47 + 2 \cdot 0,78 \cdot 0,29 / 2,98} = 1,17$$
$$U = 0,85 W/(m^2 \cdot K)$$

Aknad ja ukсед

Hoones on üks puitspooni, polüstüreensisu, pakettklaasi ja tihendiga välisuks. Ukse pindala on $1,85 m^2$, ümbermõõt $6,12 m$ ja tootjapoolne U-arv on $1,0 W/(m^2 \cdot K)$. [19]

Hoones on kokku seitse puidust lahusraamidega kahekordset akent ja kolm PVC-raamiga kahekordsete lihtklaasidega pakettakent. Puitakende pindala on kokku $13,71 m^2$ ja ümbermõõt kokku $39,16 m$. PVC- raamiga akende pindala on kokku $1,32 m^2$ ja ümbermõõt on kokku $8,54 m$. Puitakende hinnanguline U-arv on $2,7 W/(m^2 \cdot K)$. [15 lk 159] ja PVC akende tootjapoolne U-arv on $1,5 W/(m^2 \cdot K)$. [20] Aknad asuvad soojustuse kihis.

Hoone piirdetarindite esialgsed U-arvud on välja toodud tabelis 10 vastavalt tabelile 9 ja lisas 2 asuvatele piirdetarindite soojus- ja niiskustehnilistele arvutustulemustele (lisa 2.1-2.4)

Tabel 10. Piirdetarindite esialgsed U-arvud

Piirdetarindi tüüp	Soojusjuhtivus U $W/(m^2 \cdot K)$
Harju sein	0,29
Puitkarkass-sein	0,32
Katuseviil-sein	0,32
Katuslagi	0,32
II korruse vahelagi	0,35
Kütmata kelder	0,84
Tuulutusetä õhkvahega põrand	0,85
Puitaknad	2,7
PVC aknad	1,5
Välisuks	1,0

Eesti Vabariigi Energiatõhususe miinimumnõuded [21] soovivad elamute piirdetarindite soojusjuhtivuseks järgmisi väärtuseid:

välisseinad: $0,12-0,22 W/(m^2 \cdot K)$;

katused ja põrandad: $0,1-0,15 W/(m^2 \cdot K)$;

aknad ja ukSED: $0,6-1,1 W/(m^2 \cdot K)$.

8.1. Piirdetarindi korrigeeritud soojusjuhtivuse arvutus

Soojusjuhtivust on vaja korrigeerida kõigis soojustatud piiretes: harju sein, puitkarkass-sein, katuseviil-sein, katuslagi ja II korruse vahelagi. Tulemused on lihtsuse ja ülevaatlikkuse mõttes vormistatud tabeli kujul, kasutades peatükis 7.1.4 antud meetodikat.

Kuna saepuru ei ole ajas püsiv, ta vajub ajapikku ja on neutraalne kahjurite tegevuse suhtes on paigaldustasemeks arvestatud 2, ehk $\Delta U'' = 0,04 W/(m^2 \cdot K)$ [9 tabel 4.9].

Saepuru õhujuhtivus on ajakirjas "Ehitaja" toodud artiklis "Alternatiivseid soojustusmaterjale puitkarkasshoonetele" antud $L = 11 \dots 300 \cdot 10^{-6}, m^3/(m \cdot s \cdot Pa)$ [22 lk 13].

Soojustuse kaitsetasemeks on arvatud b, seega arvestades varu mõttes, et saepuru $L = 300 \cdot 10^{-6}, m^3/(m \cdot s \cdot Pa)$, on parandustegur $\Delta U''_a = 0,01 W/(m^2 \cdot K)$ [9 tabel 4.12].

Tegurid R_l ja R_T on arvatud eelnevalt peatükis 8 erinevate piirdetarindite soojus- ja niiskustehniliste arvutustulemuste tabelites (vt. nt. tabel 9).

Korrigeeritud soojusjuhtivuse väärtused U_c on toodud tabelis 11.

Tabel 11. Korrigeeritud soojusjuhtivuse väärtused

Piirdetarindi tüüp	U_g $W/(m^2 \cdot K)$	U_a $W/(m^2 \cdot K)$	ΔU $W/(m^2 \cdot K)$	U_c $W/(m^2 \cdot K)$
Harju sein	0,028	0,007	0,035	0,33
Puitkarkass-sein	0,025	0,006	0,031	0,35
Katuseviil-sein	0,026	0,007	0,033	0,35
Katuslagi	0,025	0,006	0,031	0,35
II korruse vahelagi	0,026	0,006	0,032	0,38

8.2. Külmasildade uuring

Hoones on kokku 13 erinevat tüüpi geomeetrilist külmasilda. Külmasildade asukohad on numbriliselt tähistatud hoone plaanidel ja lõigetel (nt. joonis 9). Joonisel 10 on välja toodud temperatuurivälja arvutusprogrammis THERM 7.2 koostatud harju seina välisnurga mudel koos samatemperatuurijoontega. Kõik piirdetarandid on arvestatud homogeenseks (vt. lk 41).

Temperatuurivälja programmi THERM 7.2 ülejäänud graafilised tulemused (joonis L3.4-3.16) ja hoone plaanid ja lõiked (joonis L3.1-3.4) vastavate külmasildade asukohaga asuvad lisa 3.

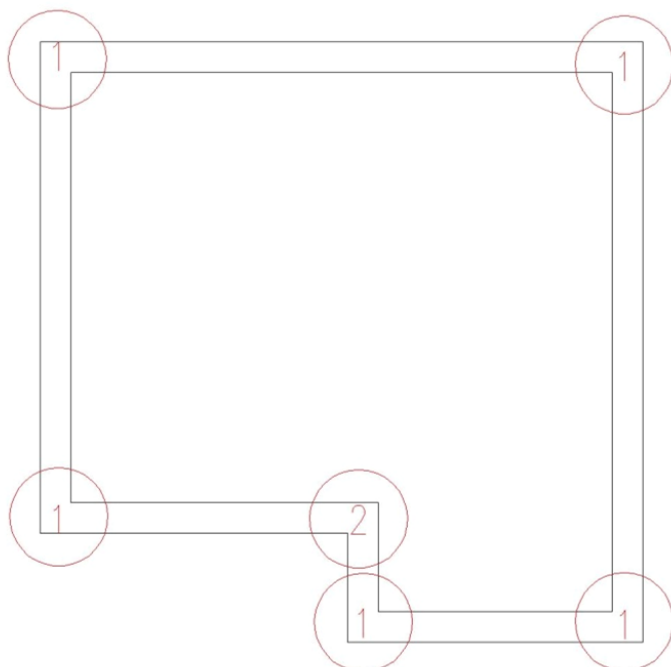
Külmasildade lisakonduktantside ja soojakadude arvutustulemused on vormistatud tabeli kujul (tabel 12; 13), kasutades jaotises 7.1.7 toodud metoodikat. Tabelis 13 on välja toodud ka üksikute külmasildade protsentuaalne mõju võrreldes kogu soojakaoga külmasildade kaudu. Külmasildade arvutustes on kasutatud tabelis 10 välja toodud piirdetarindite esialgseid soojusjuhtivuse väärtuseid, kuna programmis puudub võimalus saada tõene tulemus kasutades parandusega soojusjuhtivuse väärtust.

Sokli külmasild nr. 3 on arvestatud varu mõttes tervele hoone perimeetrile, ka terassi kaasavale osale.

Katuseviil-seina ja II korruse vahelae liitumispunkti külmasild on arvestatud samaks külmasillaga nr. 5 ja harju sein ja katuseviil-seina ja I korruse vahelae liitumispunktide külmasild on arvestatud samaks külmasillaga nr. 6, kuna võrreldavate tarindite konstruktsioonilised ja soojusjuhtivuslikud erinevused on minimaalsed.

PVC akende külmasillad on arvestatud varu mõttes puitaknaraamidega akendega samaväärseks ja kuna aknad asuvad igas piirdeseinas soojustuse kihis, arvestatakse nende külmasillad võrdseks olenemata akende asukohast hoones.

Negatiivsete väärtustega arvutustulemused näitavad, et antud piirdetarindite liitekohas ei teki külmasilda ja see on jäetud edasistes arvutustes arvestamata.



Joonis 9. Külmasildade numbrilised tähistused hoone I korruse välispiirete plaanil

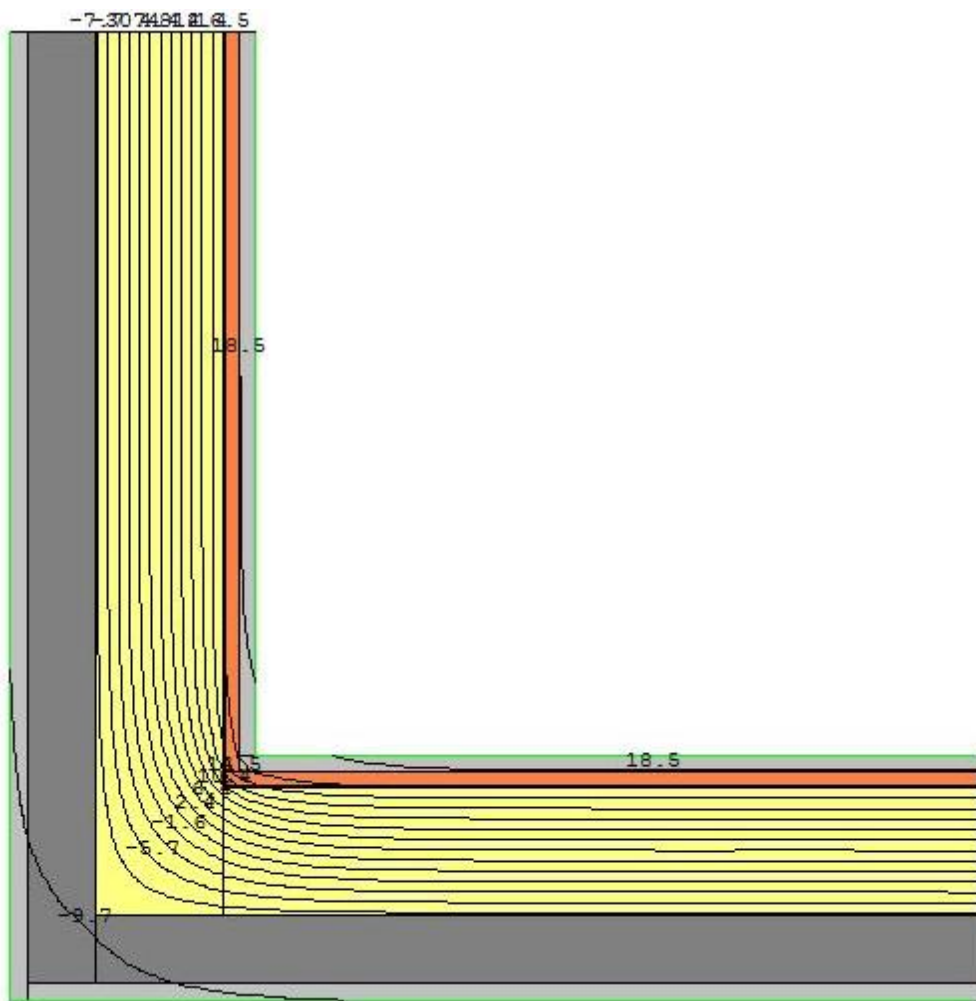
Harju seinä välisnurka külmasilla nr.1 lisakonduktantsi arvutus kasutades programmi THERM 7.2 graafilisel mudelil toodud andmeid:

Valemist (33):

$$\psi = 0,80 - (0,29 * 1,29 + 0,29 * 1,29) = 0,05 W/(m \cdot K)$$

Tabel 12. Külmasildade lisakonduktantside arvutus

Nr.	Külmasild	L_{2D} $W/(m \cdot K)$	U_{11D} $W/(m^2 \cdot K)$	l_1 m	U_{21D} $W/(m^2 \cdot K)$	l_2 m	ψ $W/(m \cdot K)$
1	Harju sein, välisnurk	0,80	0,29	1,29	0,29	1,29	0,05
2	Harju sein, sisenurk	0,86	0,29	1,72	0,29	1,75	-0,14
3	Sokkel	1,24	0,29	1,08	0,32	1,00	0,61
4	Harju sein+ I korruse vahelagi	0,73	0,29	1,30	0,31	1,00	0,05
5	Puitkarkass-sein+ II korruse vahelagi	0,81	0,32	1,21	0,35	1,00	0,07
6	Harju sein+ puitkarkass-sein+ I korruse vahelagi	0,884	0,29	1,00	0,32	1,30	-0,50
			$U_{31D} = 0,32$ $W/(m^2 \cdot K)$		$l_3 = 2,13$ m		
7	Puitkarkass-sein, välisnurk	0,70	0,32	1,00	0,32	1,00	0,06
8	Katuseviil-sein+ katuslagi	0,70	0,32	1,00	0,32	1,00	0,06
9	Puitkarkass-sein+ katuslagi	0,70	0,32	1,00	0,32	1,00	0,06
10	Harju sein+ I korruse vahelagi+ II korruse sein	0,73	0,29	1,30	0,32	1,00	-0,29
			$U_{31D} = 0,32$ $W/(m^2 \cdot K)$		$l_3 = 1,02$ m		
11	Katuslagi+ II korruse vahelagi	1,01	0,32	1,20	0,35	1,25	0,18
	Aknad	1,82	0,29	1,00	2,70	0,45	0,32
	Välisuks	1,41	0,29	1,73	1,50	0,40	0,31



Joonis 10. Harju seina välisnurga külmasild nr. 1 koos samatemperatuurijoontega

Tabel 13. Külmasildade lisakonduktantsid ja soojakaod

Nr.	Külmasild	Pikkus l m	ψ $W/(m \cdot K)$	Soojuserikadu W/K	%
	1	2	3	4	5
1	Harju sein, välisnurk	11,6	0,05	0,58	1,4
2	Harju sein, sisenurk	2,9	-0,14	-0,41	-
3	Sokkel	33,9	0,61	20,65	49,5
4	Harju sein+ I korruse vahelagi	5,3	0,05	0,26	0,6
5	Puitkarkass-sein+ II korruse vahelagi	22,6	0,07	1,65	4,0

	1	2	3	4	5
6	Harju sein+ puitkarkass-sein+ I korruse vahelagi	23,9	-0,50	-11,93	-
7	Puitkarkass-sein, välisnurk	4,9	0,06	0,30	0,7
8	Katuseviil-sein+ katuslagi	6,0	0,06	0,36	0,9
9	Puitkarkass-sein+ katuslagi	6,0	0,06	0,36	0,9
10	Harju sein+ I korruse vahelagi+ II korruse sein	3,9	-0,29	-1,12	-
11	Katuslagi+ II korruse vahelagi	2,2	0,18	0,40	1,0
	Aknad	47,7	0,32	15,26	36,6
	Välisuks	6,1	0,31	1,90	4,6
			Kokku:	41,72	100

8.2.1. Termovisioon

Termovisiooni teostamise hetkel oli välisõhu temperatuur +2,1 °C ja hoone siseõhu temperatuur keskmiselt +21 °C.

Termofotode informatiivsemaks ja kompaktsemaks edastamiseks on termo- ja digifoto omavahel ühildatud kasutades programmi FLIR Tools (termofoto 1; 2). Kuna antud töös kasutatud termokaamera FLIR E6 temperatuuriskaala näitas ebaloogilisi tulemusi, on skaala termopiltidelt eemaldatud. Seega on termopildid pigem informatiivsed, kuid näitavad siiski selgeid erinevusi piirete pinnatemperatuurides.



Termofoto 1. Hoone kagukülg



Termofoto 2. Hoone loodekülg

Ülejäänud termofotod on toodud lisis 4 (termofoto L4.1-4.7)

8.3. Hoone soojakaod

Hoone soojakadude arvutustulemused on ülevaatlikkuse mõttes koondatud tabelisse 14, arvutustes on kasutatud jaotises 7.1 toodud meetodikat. Piirdetarindite pindalad on arvutatud vastavalt hoone sisemõõtudele. Siseseinte, põrandate ja lagede ning välisseinte, põrandate ja lagede ühenduskohtade arvelt mahaarvamisi ei ole tehtud.

Piirdetarindite soojusjuhtivused tulenevad tabelitest 10; 11. Külmasildade kogusoojakadu on eelnevalt arvutatud tabelis 13.

Tabel 14. Hoone soojakaod läbi välispiirete ja külmasildade

Tarind	Pindala A m^2	Soojusjuhtivus U $W/(m^2 \cdot K)$	Soojakadu AU W/K	%
Harju sein	88,1	0,33	29,1	14,5
Puitkarkass-sein	36,9	0,35	12,9	6,4
Katuseviil-sein	33,4	0,35	11,7	5,8
Katuslagi	5,5	0,35	1,9	1,0
II korruse vahelagi	45,2	0,38	17,2	8,6
Kütmata kelder	8,3	0,84	7,0	3,5
Tuulutusetä õhkvahega põrand	45,3	0,85	38,5	19,2
Puitaknad	13,7	2,7	37,0	18,4
PVC aknad	1,32	1,5	2,0	1,0
Välisuks	1,85	1,0	1,9	0,9
Külmasillad			41,7	20,8
		Kokku:	200,8	100

Hoone kogusoojakadude määramisel on kasutatud jaotises 7.2 toodud meetodikat. Arvutustulemuste esitamiseks on kasutatud Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika lisa 2 järgi koostatud arvutustabelit: "Energiarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energitõhususarvu piirväärtuse tõendamise puhul." [23]

Tabelisse 15 sisestatud andmed pärinevad tabelitest 13 ja 14.

Õhulekke-arv $q_{50} = 15,0$ on saadud vastavalt Maaelamute sisekliima uuringute keskmisele katsetulemusele. [3]

Tabel 15. Hoone kogusoojakaod läbi välispiirete

Andmed hoone kohta											
Address	Õnne kinnistu, Vooreküla küla, Vastse-Kuuste vald, Põlvamaa						Uusehitus				
Ehitusaasta	1960						Oluline rekonstrueerimine				
Köetav pind	92.9 m ²						Rekonstrueerimine				
Netopind	92.9 m ²						● Olemasolev hoone				
Peamine soojusallikas ruumide kütteks					Halupuidu ahi						
Ventilatsioonüsteemi välisõhu vooluhulk (l/s)					0.0						
Ventilatsioonüsteemi soojustagastuse temperatuuri suhtarv					0.0						
Ventilatsioonüsteemi ventilaatori erivõimsus, W/(l/s)					0.0						
Soojuskaod läbi piirde tarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade			
Piirdetarind	g	U _i ,	A _p ,	H _{juhtivus}	Külmasild	Y _j ,	l _j ,	H _{külmasild}	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Harju sein		0.33	88.1	29.1	Harju sein, välisnurk	0.05	11.6	0.6	Õhulekke-arv q ₅₀ ,	15.0	
Puitkarkass-sein		0.35	36.9	12.9	Sokkel	0.61	33.9	20.7	m ³ /(h·m ²)		
Katuseviil-sein		0.35	33.4	11.7	Harju sein+ I korruse vahelagi	0.05	5.3	0.3	A _{vp} (välispiirded), m ²	279.6	
Katuslagi		0.35	5.5	1.9	Puitkarkass-sein+ II korruse vahelagi	0.07	22.6	1.6	Korruste arv (täisarv)	2.0	
II korruse vahelagi		0.38	45.2	17.2	Puitkarkass-sein, välisnurk	0.06	4.9	0.3	• V _{inf} , m ³ /s	0.0485	
Kütmata kelder		0.84	8.3	7.0	Katuseviil-sein+ katuslagi	0.06	6.0	0.4			
Põrand		0.85	45.3	38.5	Puitkarkass-sein+ katuslagi	0.06	6.0	0.4			
Puitaknad		2.70	13.7	37.0	Katuslagi+ II korruse vahelagi	0.18	2.2	0.4			
PVC aknad		1.50	1.3	2.0	Akna seinakinnitus	0.32	47.7	15.3			
Välisuks		1.00	1.9	1.9	Ukse seinakinnitus	0.31	6.1	1.9			
Kokku:				H _{juhtivus} , W/K	159.1	H _{külmasild} ,			41.7	H _{õhulekke} , W/K	58.5
Välispiirete summaarne soojuserikadu					ΣH, W/K		259.3				
Välispiirete keskmine soojusläbivus					ΣH / A _{vp}		0.9				
Hoone köetav pind					A _{köetav} , m ²		92.9				
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta					ΣH / A _{köetav}		2.79				
22.05.2014		Allan Rosenberg									

Hoone aastane soojakadu läbi piirdetarindite on arvatud võttes aluseks SA KredEx antud kraadpäevi, mis on omakorda arvatud normaalaasta e. 30-aastase perioodi (1975-2004) keskmiste päevaste temperatuuride alusel Tartu piirkonnas. [24]

Energiamärgise väljastamiseks vajaliku hoone kaalutud energiaerikasutuse arvutamisel on hoone tasakaalutemperatuur alati 17 °C. [25]

Arvestuslik siseõhutemperatuur võetakse madalam kui tegelik, kuna osa kütte soojusvajadusest kaetakse nn. vaba soojusega elektriseadmetelt, inimestelt jne. tulevate sisemiste soojuseritustega ja päikese kiirgusega. [24]

Aastane soojakadu läbi piirdetarindite ja joonkülmasildade:

$$Q = \Sigma AU \cdot kraadpäevad \cdot 24h = 259,3 \cdot 4295 \cdot 24 = 26728,6 \text{ kWh}$$

Aastane soojakadu läbi piirdetarindite, joonkülmasildade ja õhulekete köetava pinna ruutmeetri kohta:

$$\frac{26728,6}{92,9} = 287,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

Antud soojakadu läbi välispiirete, arvestamata elektrienergia kulu, on suurem kui Energiatõhususe miinimumnõuetes lubatud energiatõhususarv oluliselt rekonstrueeritava väikeelamu puhul ($210 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) [21].

8.4. Järeldused

Piirdetarindite veeauru kondenseerumise kontrollist peatükis 8 ja lisa 2 selgub, et kondenseerumine tekib puitkarkass-seinas, katuseviil-seinas ja katuslaes.

Väga suur veeauru osarõhkude erinevus on katuseviil-seinas ja II korruse panipaikade katuslaes. Selle põhjuseks on bituumenpapi paiknemine soojustusest väljaspool, mis on sinna paigaldatud, et vältida soojustuseks kasutatud saepuru konstruktsioonist välja pudenemist. Seespool on sellel juhul saepuru pudenemise vältimiseks kasutatud lubikrohvi või puitlaastplaati.

Vastavalt raamtingimustele on kondenseerumise kontroll läbi viidud miinustemperatuuridel, kus välisõhu niiskussisaldus on tunduvalt madalam kui siseõhul. Seetõttu toimub veeauru difusioon seinas seestpoolt väljapoole. Kondensaadi tekke vältimiseks on raamatus

"Elamuehitus I" reeglis see, et aurutihedad kihid olgu elamus välisseina sise-, mitte välisküljel. [16 lk 96]

Piirdetarindites, kus arvutuslik kondenseerumine tekkis ei olnud võimalik näha niiskuskahjustusi, ega hallitust. Kuna piirdetarindite kihte ei ole elamu ehitamisest saadik muudetud, on võimalik, et tarindid on vastu pidanud tänu halvasti paigaldatud bituumenpapile ja reaalselt kondenseerumist ei teki. On olemas ka võimalus, et kondensvesi tekib, kuid kuivab suvel, ehk kuivamisperioodil, välja ja jääkkondensi ei teki.

Võrdlusest peatükis 8 toodud Energitõhususe miinimumnõuetega välisseinte soojusjuhtivusele selgub, et ükski käesoleva hoone piirdetarindi soojusjuhtivus ei vasta määruses soovituslikele tulemustele.

Külmasildade arvutustulemustest selgub, et kõige suuremad soojakaod tekivad läbi sokli ja akende külmasildade.

Termovisiooni tulemusena selgus, et hoones on mitmes kohas soojustus ära vajunud (vt. termofoto 1; 2; lisa 4). Kõige kriitilisemad külmasillad ilmsid hoone II korruse köögi sahvris ja panipaigas, kus on vastavalt ka kõige rohkem erinevaid joonkülmasildu. Vastavatest külmasildadest annab aimu ka hallitus ja määrdumine vastava tarindi siseküljel.

Kogusoojakadude arvutustulemused näitavad, et suurimate protsentuaalsete soojakadudega piirded on harju sein, põrand ja puitaknad. Viiendiku kogu soojakadudest moodustavad ka soojakaod läbi külmasildade.

Kuna hoone piirdetarindite soojusjuhtivus ei vasta soovituslikele ja hoone aastane soojakadu lubatule, tuleb küttekulude säästmiseks ja mugavama sisekliima loomiseks rakendada parandusmeetmeid.

9. PARANDUSMEETMETE VÕIMALUSED, SOOJAKADUDE ARVUTUS JA NIISKUSTEHNILINE ARVUTUS LISASOOJUSTAMISE KORRAL

Parandusmeetmete puhul on lähtutud Vastse-Kuuste vallavalitsuse poolt väljastatud projekteerimistingimustest [26] ja selle all on silmas peetud välispiirete lisasoojustamist. Projekteerimistingimused asuvad lisas 5. Hoone lisasoojustamisel on jälgitud kuluoptimaalsust ja võimalikult lihtsaid tehnilisi lahendusi arvestades ka niiskustehnilise toimivusega. Hoone esialgse olukorra analüüsist jaotisest 8.3 selgub, et suure osa soojakadudest moodustavad välispiirded.

Elamu esialgse soojustusmaterjali väljavahetamine kaasaegsema vastu eeldab enamuse piirdetarindite puhul siseviimistluse lõhkumist ja on antud juhul ebaotstarbekas. Kuna hoone mittekandvad siseseinad toetuvad otse põrandalaudisele, eeldab põrandakonstruktiooni soojustamine hoone kapitaalremonti.

Sellisel juhul pakutakse energiatõhususe parandusmeetmetena välja lihtsamad ja soodsamad meetodid:

- välise lisaisolatsiooni paigaldamine hoone soklile ja harju- ja puitkarkass-seinale;
- puistevilla lisamine II korruse vahelaele;
- katuseviil-seinal niiskusrežiimi rikkuva bituumenpapi eemaldamine ja soojustuseks kasutatud saepuru asendamine mineraalvillaga;
- Olemasolevate akende raamide tihendamine soovimatute õhulekete vältimiseks (loomulik ventilatsioon toimub läbi piirete ebatiheduste ja küttekollete).

Käesolevad paranduslahendused ei hõlma katuslagede lisasoojustamist, kuna tulevikus planeeritakse katuslage sisaldavate ruumide siseviimistluse korrastamist, mille käigus selguvad ka tehnilised võimalused soojustustöödeks

Välise lisaisolatsioonina kasutatakse harju- ja puitkarkass-seinte puhul soojustusplaati EPS 60 Silver paksusega 50 mm. Sokli puhul on kasutatud nii vertikaalseks kui ka horisontaalseks lisasoojustuseks soojusisolatsiooniplaate EPS 80 paksusega 100 mm.

Vertikaalse lisasoojustuse taha on lisatud hüdroisolatsioon. Sokli soojustamine vähendab ka hoone põrandade soojuskadu ja sokli külmasilla mõju.

Katuseviil-seinal asendatakse väljastpoolt saepuru 200 mm mineraalvillaga Isover KL 33, mille peale kinnitatakse veeauru läbilaskev tuuletõkkeplaat Isover RKL-31 EJ Facade paksusega 25 mm, konstruktsioonile lisatakse ka 20 mm õhkvahe välislaudise alla.

II korruse vahelaele paigaldatakse 300 mm paksune kiht puistevilla Isover KV.

Hoone fassaadi krohvimisel kasutatakse näiteks pumbatavat lubitsementkrohvi Sakret CLP Plus, kihi paksusega 20 mm.

Antud Isoveri mineraalvillad on valitud järgmistel põhjustel: mugavus ja kiirus paigaldamisel, püsivus ajas, hea koormustaluvus ja head soojus- ja niiskustehnilised omadused. Isoveri hinnad on ka soodsamad nt. Paroci samaväärsete omadustega kivivilladest.

Sokli ja fassaadi lisasoojustamiseks on valitud EPS vahtpolüstüreen soojusisolatsioonitooted, kuna antud materjal on väga hea soojapidavusega, ajas püsiv, lihtne paigaldada ja niiskuskindel. EPS 60 Silver ja EPS 80 ruutmeetri keskmised hinnad on ka tunduvalt soodsamad samaväärsete omadustega mineraalvillade hindadest. Soojusisolatsiooniplaatide liimseguks võib kasutada näiteks veeauru läbilaskvat liimsegu Sakret BAK. Kuna konkreetse fassaadi soojustustööde juures pole teada keskmist vajamineva liimikihi paksust, ei käsitleta seda ka soojus- ja niiskustehnilistes arvutustes.

Fassaadikrohviks on valitud pumbatav lubitsementkrohv Sakret CLP Plus, kuna antud krohvisegu on veeauru läbilaskev ja sobilik EPS fassaadisüsteemide krohvimiseks.

Tabelis 16 toodud ehitusmaterjalide omadused pärinevad konkreetsete materjalide tootjate internetiallikatest. Viide allikale on toodud tabeli vastavas tulbas.

Tabel 16. Hoone energiatõhususe parandusmeetmete juures kasutatud materjalide omadused

Materjal	Arvutuslik soojusjuhtivus λ W/(m · K)	Veeauru difusioonitakistustegur μ kuiv	Viide allikale
Lubisementkrohv Sakret CLP Plus	0,54	9,3	[27]
Kleepe- ja armeerimisegu Sakret BAK	0,54	13,1	[27]
Vahtpolüstüreenplaat EPS 80	0,038	30	[28]
Vahtpolüstüreenplaat EPS 60 Silver	0,032	30	[29]
Isover KL 33 mineraalvill	0,033	1	[30]
Isover RKL-31 EJ Facade tuuletõkkeplaat	0,031	1	[30]
Isover KV puistevill	0,041	1	[30]

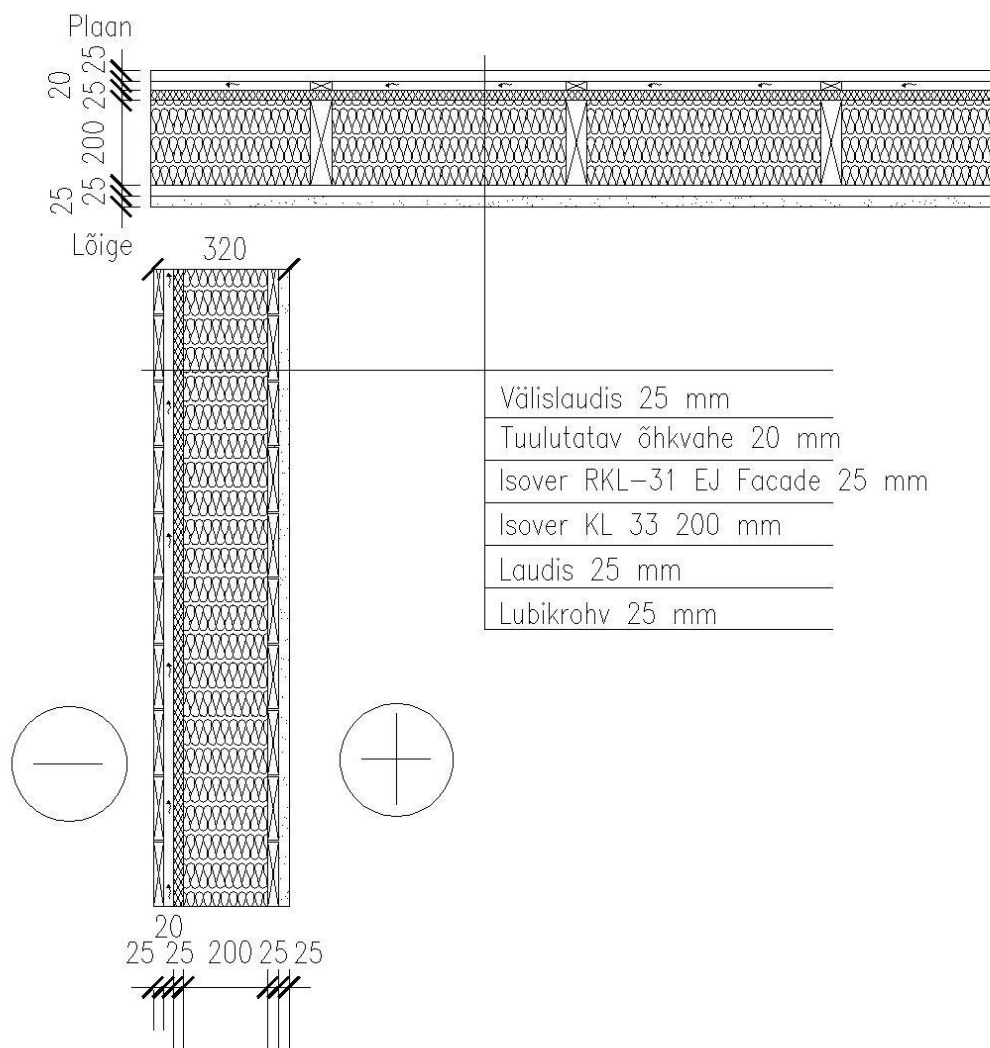
Soojakadude arvutus

Soojakadude arvutus parandusmeetmete puhul (v.a. katuseviil-sein) on teostatud peatükis 8 kasutatud arvutusmetoodika järgi. Vastavad soojus- ja niiskustehnilised arvutused (lisa 6.1-6.4), tarindite lõikejoonised (joonis L6.2-6.5), külmasildade arvutuse graafilised tulemused (joonis L6.6-6.18) ja lisakonduktantside arvutustabel (tabel L6.1) asuvad lõputöö lisas 6. Külmasildade lisakonduktantsid ja soojakaod on esitatud tabelis 17 ja hoone soojakaod tabelis 18.

Kuna asendades katuseviil-seinas saepuru mineraalvilla vastu muutub tarind mittehomoenseks, tuleb arvutada vastava tarindi soojusjuhtivus kasutades punktis 7.1.1 toodud mittehomoense piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusmetoodikat.

Katuseviil-sein koosneb 50x200 mm seinakandepostidest (sammuga 600 mm), mille vahel on mineraalvill. Tuuletõkkeplaadiks on 25 mm paksune mineraalvillast tuuletõkkeplaat. Siseviimistluseks on lubikrohv. Seinal on laudisest välisvooder, mille taga on hästi ventileeritav õhkvahe, vt. joonis 10. Hästi ventileeritud õhkvahet sisaldava seina kogusoojustakistuse arvutamisel jäetakse välja õhkvahe ning kõikide muude õhkvahe ja

väliskeskonna vahel olevate kihtide soojustakistused. Välispinna soojustakistus võrdsustatakse sisepinna soojustakistusega.



Joonis 11. Soojuslikult mittehomogeenne katuseviil-sein

Esmalt arvutatakse kogusoojustakistuse ülemise piirväärtuse jaoks vajalikud homogeensete sektsioonide soojustakistused:

Soojustuse sektsiooni soojustakistus valemist (6):

$$R_{\text{soojustuse sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,8} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,20}{0,033} + \frac{0,025}{0,031} + 0,13 = 7,37 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Sõrestikupostide sektsiooni soojustakistus valemist (6):

$$R_{\text{sõrestiku sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,8} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,20}{0,12} + \frac{0,025}{0,031} + \frac{0,020}{0,12} + \frac{0,025}{0,12} + 0,04 = \\ = 3,26 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus valemist (9):

$$R'_T = \frac{550 + 50}{\frac{550}{7,37} + \frac{50}{3,26}} = 6,67 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistused:

200 mm paksuse soojustuse kihi soojustakistus valemist (11):

$$R_{200 \text{ mm soojustus/sõrestik}} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{\left(\frac{0,200}{0,033}\right)} + \frac{50}{\left(\frac{0,200}{0,12}\right)}} = 4,97 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus valemist (10):

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,025}{0,8} + \frac{0,025}{0,12} + 4,97 + \frac{0,025}{0,031} + 0,13 = 6,27 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus valemist (8):

$$R_T = \frac{6,67 + 6,27}{2} = 6,47 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Suhteline arvutusviga valemist (12):

$$e = \frac{6,67 - 6,27}{2 \cdot 6,47} = 3,1\%$$

Antud arvutus sobib mittehomoense piirdetarindi soojusjuhtivuse määramiseks.

Piirde soojusjuhtivus U , arvutatakse valemiga (5) ja ümardatakse kahe kohani peale koma:

$$U = \frac{1}{6,47} = 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Külmasildade lisakonduktantsid ja soojakaod parandusettepaneku puhul on välja toodud tabelis 17.

Tabel 17. Külmasildade lisakonduktantsid ja soojakaod parandusettepaneku puhul

Nr.	Külmasild	Pikkus l m	ψ $W/(m \cdot K)$	Soojakadu W/K	%
1	Harju sein, välisnurk	11,6	0,07	0,85	2,2
2	Harju sein, sisenurk	2,9	-0,13	-0,36	-
3	Sokkel	33,9	0,46	15,64	39,9
4	Harju sein+ I korruse vahelagi	5,3	0,06	0,29	0,8
5	Puitkarkass-sein+ II korruse vahelagi	22,6	0,07	1,63	4,2
6	Harju sein+ puitkarkass- sein+ I korruse vahelagi	23,9	-0,63	-14,95	-
7	Puitkarkass-sein, välisnurk	4,9	0,07	0,33	0,9
8	Katuseviil-sein+ katuslagi	6,0	0,05	0,32	0,8
9	Puitkarkass-sein+ katuslagi	6,0	0,04	0,23	0,6
10	Harju sein+ I korruse vahelagi+ II korruse sein	3,9	-0,27	-1,04	-
11	Katuslagi+ II korruse vahelagi	2,2	0,22	0,48	1,2
	Aknad	47,7	0,38	17,98	45,9
	Välisuks	6,1	0,23	1,43	3,7
			Kokku:	39,19	100

Hoone piirdetarindite paranduslahenduste kogusoojakaod on välja toodud tabelis 18. Kuna paranduslahenduste puhul on soojustuse paigaldustasemeks (vt. jaotis 7.1.4) arvatud tase 0, mehaanilised plastnaelaga kinnitustüübid paigaldatakse soojustusse ette freesimise teel ja hiljem asetatakse tüübli peale EPS tablett ja õhujuhitvusest tingitud parandustegur vastava paigaldustaseme juures on 0, siis antud paranduslahenduste juures soojusjuhtivuse korrigeerimist ei kohaldata.

Tabel 18. Hoone soojakaod parandusettepaneku puhul

Tarind	Pindala A m^2	Soojusjuhtivus U $W/(m^2 \cdot K)$	Soojakadu AU W/K	%
Harju sein	88,1	0,20	17,6	11,2
Puitkarkass-sein	36,9	0,21	7,7	4,9
Katuseviil-sein	33,4	0,14	4,7	3,0
Katuslagi	5,5	0,35	1,9	1,2
II korruse vahelagi	45,2	0,10	4,5	2,9
Kütmata kelder	8,3	0,65	5,4	3,4
Tuulutuseeta õhkvahega põrand	45,3	0,78	35,3	22,5
Puitaknad	13,7	2,70	37,0	23,5
PVC aknad	1,3	1,50	2,0	1,3
Välisuks	1,9	1,00	1,9	1,2
Külmasillad			39,2	24,9
		Kokku:	157,3	100

Tabelisse 19 sisestatud andmed pärinevad tabelitest 17 ja 18.

Õhulekke-arv $q_{50} = 6,0$ on saadud vastavalt Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodikale oluliselt rekonstrueeritava väikeelamu puhul. [18]

Tabel 19. Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energitõhususarvu piirväärtuse tõendamise puhul

Andmed hoone kohta										
Aadress		Õnne kinnistu, Vooreküla küla, Vastse-Kuuste vald, Põlvamaa						Uusehitus		
Ehitusaasta		1960						• Oluline rekonstrueerimine		
Kõetav pind		92.9 m ²						Rekonstrueerimine		
Netopind		92.9 m ²						Olemasolev hoone		
Peamine soojusallikas ruumide kütteks					Halupuidu ahi					
Ventilatsioonisüsteemi välisõhu vooluhulk (l/s)					0.0					
Ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse temperatuuri suhtarv					0.0					
Ventilatsioonisüsteemi ventilaatori erivõimsus, W/(l/s)					0.0					
Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	<i>g</i>	<i>U_i</i>	<i>A_i</i>	<i>H_{juhtivus}</i>	Külmasild	<i>Y_j</i>	<i>l_j</i>	<i>H_{külmasild}</i>	Omadus	Suurus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Harju sein	0.20		88.1	17.6	Harju sein, välisnurk	0.07	11.6	0.8	Õhulekke-arv q ₅₀ ,	6.0
Puitkarkass-sein	0.21		36.9	7.7	Sokkel	0.46	33.9	15.6	m ³ /(h·m ²)	
Katuseviil-sein	0.14		33.4	4.7	Harju sein+ I korruse vahelagi	0.06	5.3	0.3	A _{vp} (välispiirded), m ²	279.6
Katuslagi	0.35		5.5	1.9	Puitkarkass-sein+ II korruse vahelagi	0.07	22.6	1.6	Korruste arv (täisarv)	2.0
II korruse vahelagi	0.10		45.2	4.5	Puitkarkass-sein, välisnurk	0.07	4.9	0.3	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0.0194
Kütmata kelder	0.65		8.3	5.4	Katuseviil-sein+ katuslagi	0.05	6.0	0.3		
Põrand	0.78		45.3	35.3	Puitkarkass-sein+ katuslagi	0.04	6.0	0.2		
Puitaknad	2.70		13.7	37.0	Katuslagi+ II korruse vahelagi	0.22	2.2	0.5		
PVC aknad	1.50		1.3	2.0	Akna seinakinnitus	0.38	47.7	18.1		
Välisuks	1.00		1.9	1.9	Ukse seinakinnitus	0.23	6.1	1.4		
Kokku:			<i>H_{juhtivus}</i> , W/K	118.1	<i>H_{külmasild}</i>			39.2	<i>H_{õhulekke}</i> , W/K	23.4
Välispiirete summaarne soojuserikadu					ΣH , W/K			180.7		
Välispiirete keskmine soojusläbivus					$\Sigma H / A_{vp}$			0.6		
Hoone kõetav pind					A _{kõetav} , m ²			92.9		
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta					$\Sigma H / A_{kõetav}$ W/(m ² ·K)			1.94		
22.05.2014		Allan Rosenberg								

Aastane soojakadu läbi piirdetarindite ja joonkülmasildade:

$$Q = \Sigma H \cdot kraadpäevad \cdot 24h = 180,7 \cdot 4295 \cdot 24 = 18626,6 \text{ kWh}$$

Aastane soojakadu läbi piirdetarindite ja joonkülmasildade, köetava pinna ruutmeetri kohta:

$$\frac{18626,6}{92,9} = 200,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

9.1. Lisasoojustamise eeldatav maksumus

Hoone lisasoojustamise maksumus on hinnanguline ja hõlmab endas eri tööliikide üldist arvatavat hetkehinda, milles sisaldub tööjõu ja materjali kulu. Akende pindala on arvestatud soojustatavate seinte pindala sisse, seega aknapalede viimistlemine ja aknaplekkide paigaldamine kajastub seinte soojustamise hinnas. Fassaadilaudise pindala sisse on arvestatud ka pööningu sein ja katuseräästad. Ligikaudsed tööde hinnad on toodud tabelis 20.

Tabel 20. Lisasoojustamise eeldatav maksumus

Töö nimetus	Ühik	Kogus	Ühikhind	Summa
Sokli kaevetööd	m ³	10	5 €/ m ³	50 €
EPS koos paigaldusega	m ²	174,7	12 €/ m ²	2096,4 €
Hüdroisolatsioonitööd koos materjaliga	m ²	36	7 €/ m ²	252 €
Puistevill koos paigaldusega	m ³	13,6	13 €/ m ³	176,8 €
Mineraalvill+ tuuletõke koos paigaldusega	m ²	36,4	20 €/ m ²	728 €
Krohvimine koos materjaliga	m ²	161	23 €/ m ²	3703 €
Fassaadilaudis koos paigaldusega	m ²	56,6	20 €/ m ²	1132 €
			Kokku:	8138,2 €

Antud hinnad on arvestatud ilma käibemaksuta, seega lisasoojustamise koondmaksumus oleks 20% käibemaksu puhul 9765,8 €.

9.2. Kokkuhoid energiatarbimises ja tasuvusaeg

Väljapakutava lisasoojustuslahenduse maksumus on arvutuslikult 9765,8 €.

Võrreldes kogusoojakadude andmeid jaotises 8.3 ja peatükis 9, oleks energiasääst ruutmeetri kohta aastas $287,7 - 200,5 = 87,2 \text{ kWh/m}^2$.

Terve hoone kohta oleks energiasääst $87,2 * 92,9 = 8100,9 \text{ kWh}$.

Eeldame, et 1 ruumimeeter riita laotud küttepuid maksab koos käibemaksuga 48 €,

1 ruumimeetri segapuidu kütteväärtus on 1300 kWh/rm . [15]

Rahasääst on seega $8100,9/1300 * 48 = 299,1 \text{ €/a}$.

Lihttasuvuaeg on seega investeerimiskulu jagatud säästuga: $9765,8/299,1 = 32,7 = 33 \text{ a}$.

9.3. Järeldused

Kuna hoone antud parandusettepanekud suurendavad piirdetarindite soojapidavust, jäävad enamuse geomeetriliste külmasildade lisakonduktantse tänu tarindi väiksemale soojusjuhtivusele ikka samasse suurusjärku. Võrreldes tulemusi tabeliga 12 vähenes märgatavalt vaid sokli külmasilla soojusjuhtivus, samas suurenes nii protsentuaalselt kui ka arvuliselt akende külmasilla soojusjuhtivus.

Võrreldes paranduslahendusega katuseviil-seina puhul mittehomogeense piirdetarindi arvutust peatükis 9 homogeense tarindi arvutusega lisas 6.4, selgub, et mittehomogeenne piire on parema soojusjuhtivusega.

Piirdetarindite paranduslahenduste kondenseerumise kontrollist lisas 6 toodud niiskuservutuste tulemustele selgus, et üheski paranduslahendusega piirdetarindis ei teki veeauru kondenseerumist.

Nagu selgub tabelist 18, on antud lahenduse juures hoone soojakaod vähenenud märgatavalt. Võrdlusest tabeliga 14 on näha, et suurima soojusjuhtivusega tarinditeks jäävad ikkagi tuulutusega õhkvahega põrand ja puitaknad, mis moodustavad kokku praktiliselt poole kogu soojusenergia kadudest. Veerandi kogu kadudest moodustavad külmasillad.

Kõik lisasoojustatud piirdetarindid vastavad energiatõhususe miinimumnõuetes [21] toodud soovituslikele väärtustele.

Paranduslahenduse ligikaudseks maksumuseks kujunes 9765,8 €, mis annab vastava energiasäästu puhul lihttasuvusajaks 33 aastat. Antud tasuvusaeg on ilmselgelt liiga pikk väljapakutud lahenduse juures, mille elueaks arvatakse antud töös ligikaudu 30-40 aastat. Tasuvusaja pikkus sõltub suuresti ka tarbitava energia hinnast. Tarbitavaks energiaks on hetkel suhteliselt soodsa hinnaga halupuidu põletamisest saadav soojusenergia. Võrreldes kallima soojusenergiaga oleks ka tasuvusaeg lühem. Võimalus tasuvusaja lühendamiseks oleks teostada vajaminevad soojustustööd võimalusel oma vahenditega, mis teeks antud paranduslahenduse maksumuse ligikaudu kolmandiku võrra soodsamaks ja sellest tulenevalt lüheneks ka tasuvusaeg kolmandiku võrra. Jääb ka võimalus taotleda renoveerimistoetust kohalikust omavalitsusest.

Kuna ainukese soojustustööna ei eelda komplekslahendust II korruse vahelae puistevilla paigaldamine, võib antud töö ette võtta ka eraldi. Peatükis 9 ja jaotises 9.1 toodud andmete põhjal oleks jaotises 9.2 toodud arvutuskäiku järgides ainult puistevilla lisamisel tasuvusaeg 5 aastat. See aeg näitab, et konkreetse soojustustöö teostamine on antud olukorras optimaalne lahendus.

10. HOONE TERVIKLAHENDUSE VASTAVUS EESTI VABARIIGI ENERGIATÕHUSUSE MIINIMUMNÕUETELE

Kuna hoone energiatõhususarv $kWh/(m^2 \cdot a)$ on arvutuslik summaarne tarnitud energiate kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiate kaalutud erikasutus [21], on vajalik eelnevalt peatükis 9 arvatud aastasele soojakaole läbi piirdetarindite, joonkülmasildade ja õhulekete juurde liita aastane olmeelektrikulu.

Antud hoone elektritarbimisajalugu oli 2013. aastal 2559 kWh. [30] Antud töös on see arvestatud aasta keskmiseks kuluks.

See teeb elektrikuluks pindalaühiku kohta aastas:

$$\frac{2259}{92,9} = 24,3 \text{ kWh}/m^2a$$

Käesoleva hoone energiatõhususarv on seega:

$$200,5 + 24,3 = 224,8 \text{ kWh}/m^2a$$

Antud hoone energiatõhususarv on suurem kui Energiatõhususe miinimumnõuetes lubatud energiatõhususarv oluliselt rekonstrueeritava väikeelamu puhul ($210 \text{ kWh}/m^2a$). [21]

Hoone ei vasta Energiatõhususe miinimumnõuetele ja kuulub energiatõhususklassi E. [32]

10.1. Järeldused

Kuna antud energiatõhususarv on napilt üle lubatu, tuleb välja pakkuda lisameetmeid energiatõhususe suurendamiseks:

- Olemasolevate akende tihendamine või välja vahetamine uute vastu;
- hoone põranda soojustamine sektsioonide kaupa
- kaasaegsemate, parandatud kasuteguriga küttekollete ehitamine.

KOKKUVÕTE

Kuna energia säästmine on praegusel ajahetkel aktuaalne teema, oli antud töös püütud leida lahendusi energiatõhususe parandamiseks 1960. alguspoolle ehitatud väikeelamu näitel. Energiatõhususe parandusmeetmete mõju hoonele on kontrollitud ka energiatõhususarvu määramise ja võrdlemisega Eesti Vabariigis kehtivate määruste ja normidega. Konkreetse renoveerimislahenduse optimaalsemaks läbi viimiseks oli teostatud hoone tehnilise seisukorra hindamine ja ka elamu piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline analüüs.

Tehnilise seisukorra hindamisest selgus, et antud hoone vajab edasiste kahjustuste vältimiseks korralist hooldusremonti ja vihmaveesüsteemi rajamist koos aknaplekkide lisamisega.

Hoone piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline analüüs näitas, et ükski antud tarind ei vasta Energiatõhususe miinimumnõuetele. Arvutuste järgi tekkis kõigis piirdetarindites veeauru kondenseerumine. Kogusoojakadude arvutustulemustest selgus, et suurimate protsentuaalsete soojakadudega piirded on harju sein, põrand ja puitaknad. Viiendiku kogu soojuskadudest moodustasid soojuskaod läbi külmasildade.

Paranduslahenduste all oli silmas peetud hoone piirdetarindite lisasoojustamist väljastpoolt, kuna energiatõhususe parandusmeetmete võimaluste analüüsist selgus, et antud lahendus on tehniliselt lihtne teostada ja nõuab minimaalseid lisatöid. Lahenduste väljapakumisel on arvestatud veeauru kondenseerumise vältimist või väljakuivamise lubamist tarindis. Arvutustulemuste analüüsist selgus, et suurima soojusjuhtivusega piireteks jäävad ikkagi tuulutusega õhkvahega põrand ja puitaknad, mis moodustavad kokku praktiliselt poole kogu soojusenergia kadudest. Kuna antud lahenduste ja tingimuste puhul kujunes lihttasuvusajaks 33 a., tuli välja pakkuda meetmeid tasuvusaja lühendamiseks, kuna antud lahenduse arvatav eluiga on ligikaudu 30-40 a.

Hoone energiatõhususarvuks parandusmeetmete puhul kujunes $224,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, mis ei vasta Energiatõhususe miinimumnõuetele. Hoone kuulub energiatõhususklassi E. Töös oli välja pakutud ka mõningad lahendused hoone energiakulude Energiatõhususe miinimumnõuetega vastavusse saamiseks

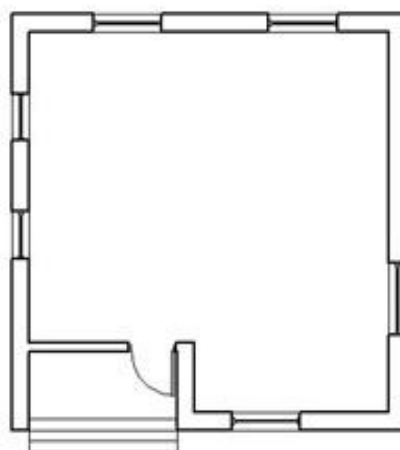
KIRJANDUS

1. Eesti eluasemevaldkonna arengukava 2008-2013
[http://www.mkm.ee/public/documents/EMA_ARENGUKAVA_21_01_08kinnitatud.pdf]
(20.05.2014)
2. Eluaseme energiasäästlik hooldamine
[http://www.mkm.ee/public/eluaseme_energiasaastlik_hooldamine_2006.pdf] (20.05.2014)
3. Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I/ Kalamees, T., Alev, Ü., Arumägi, E., Ilomets, S., Just, A., Kallavus, U. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2011.
4. Ehitisregister [<http://ehr.ee/v12.aspx?loc=0197&pageNr=1>] (27.03.2014)
5. Valga Maa-arhiiv, toimik nr. 583
6. Maa-amet
[http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU82&user_id=at&punkt=666201,6452271&zooom=207.921345406678&LANG=1] (27.03.2014)
7. Veski, A., Aarmann, K., Niine, A. (1959). Individuaalehitaja käsiraamat. Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus
8. Keskküla, T. Mitmekorruseliste hoonete tehnilise ja energeetilise seisundi hindamismetoodika — *Inseneeria*, 2010, 5, 42-43
9. EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire
10. EVS-EN ISO 6946:2008 Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod
11. EVS-EN ISO 13370:2008 Hoonete soojuslik toimivus Soojuslevi pinnasesse Arvutusmeetodid
12. EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja -tooted Soojus- ja niiskustehnilised omadused Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid
13. Välisseina difusiooni arvutus ET-2 0404-0764 2009. — *ET-kartoteek, Eesti ehitusteave*.
14. Täheväli Stroh L. (2005). Maja ja niiskus. Tallinn: Tallinna Raamatutrükikoda
15. Masso, T. Ehitusfüüsika. Ehituskonstruktori käsiraamat. Tallinn 2012

16. Jürgenson, L. (1949). Elamuehitus I. Ehitusfüüsika ja -ökonoomika, -materjalid ja põhitarandid. Tartu: Teaduslik kirjastus
17. EVS-EN ISO 10211:2008 Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid.
Osa 1: Üldised arvutusmeetodid
18. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. 2013. -eRT
[<https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001>] (05.05.2014)
19. AS Viljandi Aken ja Uks [http://www.vau.ee/?page_id=123&ptype=valisused]
(05.05.2014)
20. Arutech Parimad Aknad OÜ [<http://www.arutech.ee/et/tooted/okonoomsed-plastaknad>]
(05.05.2014)
21. Energiatõhususe miinimumnõuded. 2013. -eRT
[<https://www.riigiteataja.ee/akt/124012014007>] (13.05.2014)
22. Kalamees, T. Alternatiivseid soojustusmaterjale puitkarkasshoonetele — *Ehitaja*, 2002, 7/8, 13
23. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, Lisa 2 "Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energitõhususarvu piirväärtuse tõendamise puhul."
[https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1181/0201/2001/MKM_m63_lisa2.pdf#] (22.05.2014)
24. SA KredEx [<http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>] (13.05.2014)
25. Energiamärgise vorm ja väljastamise kord. 2014. -eRT
[<https://www.riigiteataja.ee/akt/122012014005>] (13.05.2014)
26. Vastse-Kuuste vallavalitsus Korraldus 18.11.2013 nr. 126 Projekteerimistingimuste määramine
27. Sakret OÜ [<http://sakret.ee/et/toodangukataloogi/>] (14.05.2014)
28. Estplast Tootmine OÜ [<http://www.estplast.ee/et/vundamendidjasoklid>] (14.05.2014)
29. Estplast Tootmine OÜ
[http://www.estplast.ee/files/u2/TOIMIVUSDEKLARATSIOON_010_EPS_60_SILVER.pdf] (14.05.2014)
30. © Saint-Gobain Ehitustooted AS
[<http://www.isover.ee/tooted/ehitusisolatsioon>] (14.05.2014)
31. Eesti Energia AS [<https://www.energia.ee/et/tarbimisajalugu>] (25.05.2014)
32. Energiamärgise vorm ja väljastamise kord, Lisa 3.
[https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1220/1201/4005/MKM_m30_lisa3.pdf#] (22.05.2014)

LISA 1

Lisas 1 on toodud fotomaterjal hoone tehnilisest seisukorrast.



Joonis L1.1. Hoone vaadete skeem



Foto L1. 1. Peened mõrad vundamendis, sammaldumine



Foto L1. 2. Peened mõrad I korruse välisseinal, kohati koorunud aknavärv



Foto L1. 3. Peened mõrad I korruse seinal, koorunud värv katuseviilu laudisel



Foto L1. 4. Krohvikahjustused II korruse edelakülje seinal



Foto L1. 5. Krohvikahjustused II korruse edelenurgas



Foto L1. 6. Ära vajunud soojustus loodenurga I korruse seinas



Foto L1. 7. Soojustuse puudulikkusest tingitud hallitus endise teenindusruumi nurgas



Foto L1. 8. Värvikahjustused fassaadil, katuseviilul ja katusel



Foto L1. 9. Määrdunud krohv I korruse loodekülje akna ees



Foto L1. 10. Pindmise roostekihiga katuseplekid



Foto L1. 11. Kohati mõranenud eterniit



Foto L1. 12. Määrdunud korstnapits



Foto L1. 13. Lokaalselt niiskunud saepuru

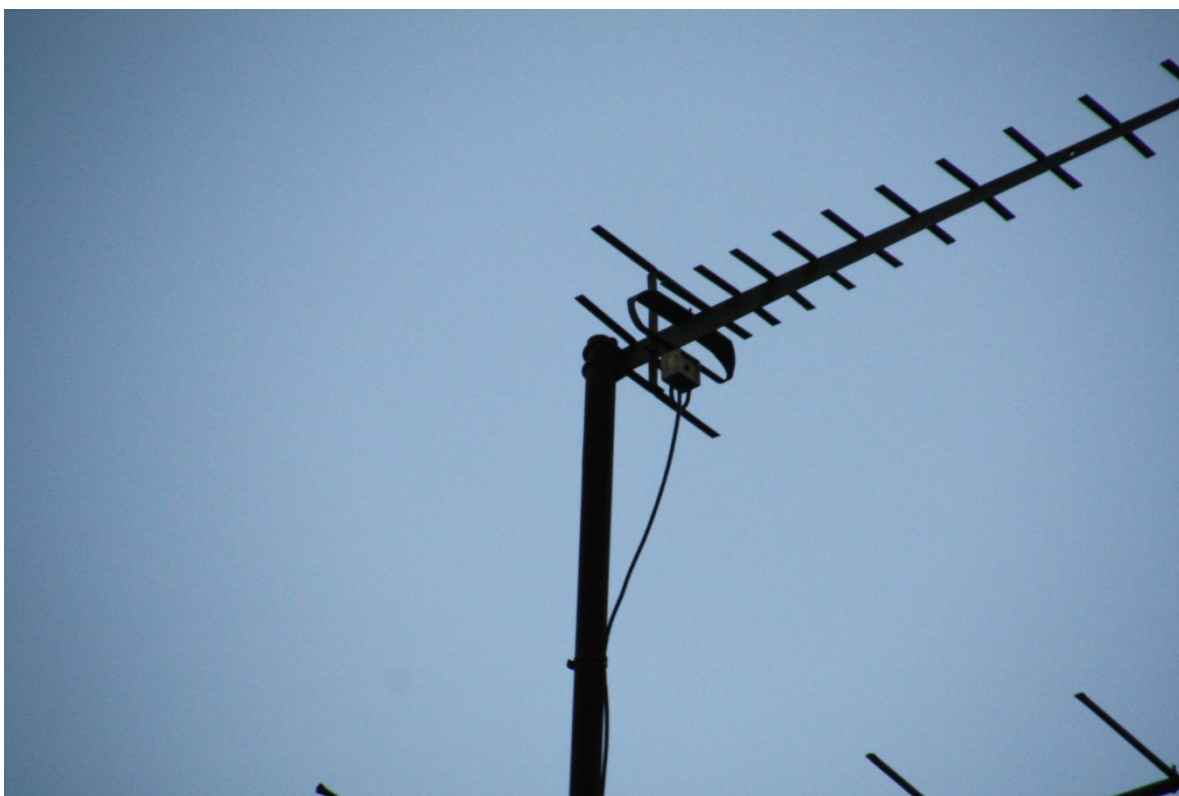
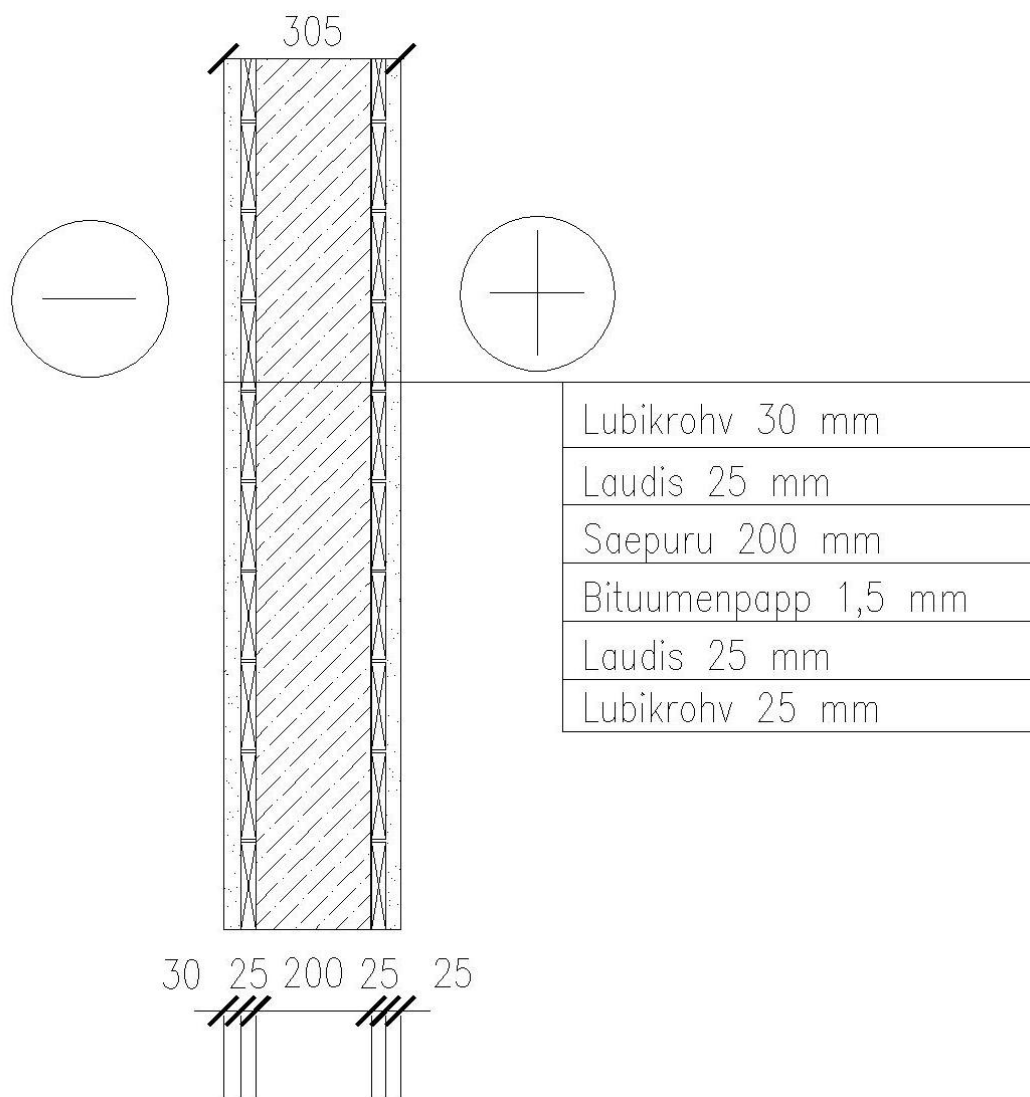


Foto L1. 14. Ilma veemütsita antennipost

LISA 2

Lisas 2 on toodud hoone piirdetarindite lõikejoonised ja vastavate tarindite soojus- ja niiskusarvutused.



Joonis L2. 1. Puitkarkass-seina lõige

Lisa 2.1 Puitkarkass-seina soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusarvutused

Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.04	1.3	0.38	-9.62			208	269	0.00
Lubikrohv	0.030	0.8	0.04	1.2	0.36	-9.27	10	0.30		277	0.30
Laudis	0.025	0.12	0.21	6.6	1.98	-7.29	50	1.25		330	1.55
Saepuru	0.200	0.08	2.50	79.0	23.70	16.41	3.1	0.62		1867	2.17
Bituumenpapp	0.0015	0.17	0.01	0.3	0.08	16.50	4500	6.75		1877	8.92
Laudis	0.025	0.12	0.21	6.6	1.98	18.47	50	1.25		2126	10.17
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	1.0	0.30	18.77	10	0.25		2166	10.42
Sisepind			0.13	4.1	1.23	20.00		10.42	1169	2338	10.42

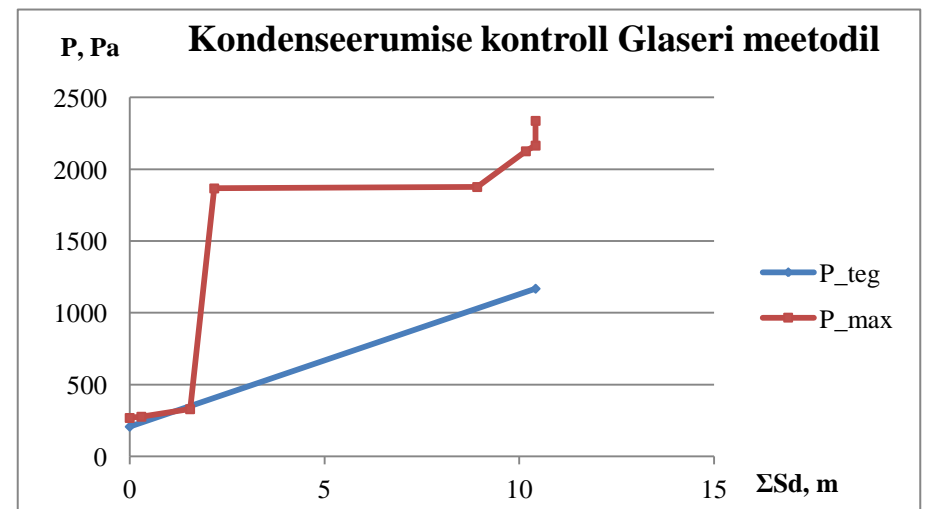
R, m²K/W 3.16 100

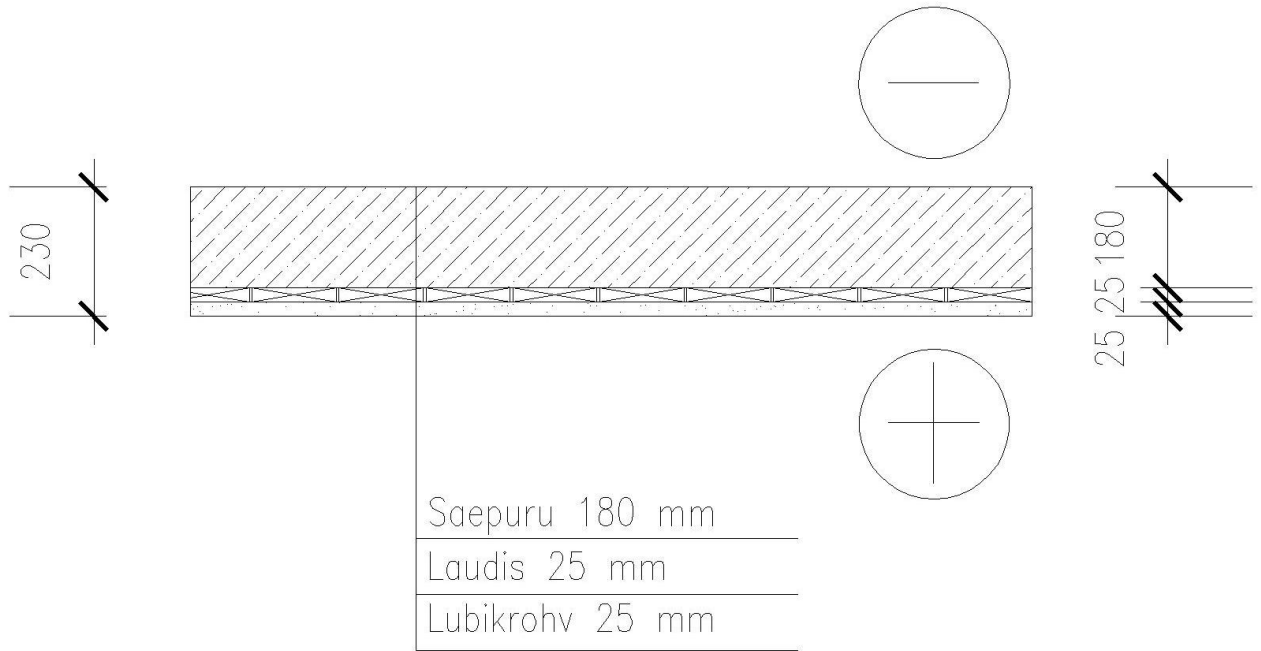
U, W/(m²K) 0.32

Välitemperatuur	
	-10° C
Sisetemperatuur	
	20° C

Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2





Joonis L2. 2. II korruse vahelae lõige

Lisa 2.2 II korruse vahelae soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusrarvutused

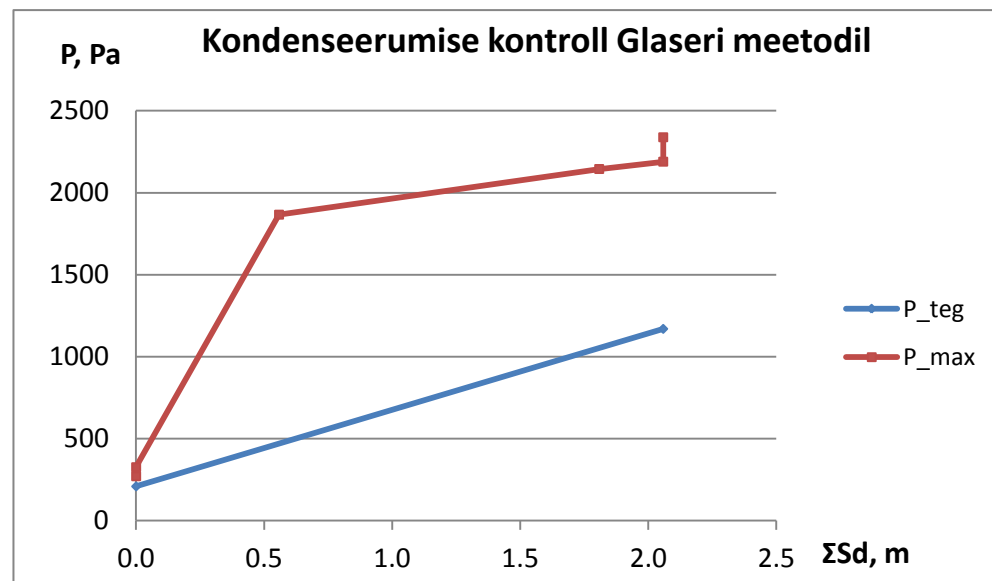
Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.04	1.4	0.42	-9.58			208	270	0.00
Kütmata pööning			0.20	7.1	2.12	-7.46		0.00		325	0.00
Saepuru	0.180	0.08	2.25	79.5	23.86	16.40	3	0.56		1866	0.56
Laudis	0.025	0.12	0.21	7.4	2.21	18.61	50	1.25		2145	1.81
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	1.1	0.33	18.94	10	0.25		2189	2.06
Sisepind			0.10	3.5	1.06	20.00		2.06	1169	2338	2.06

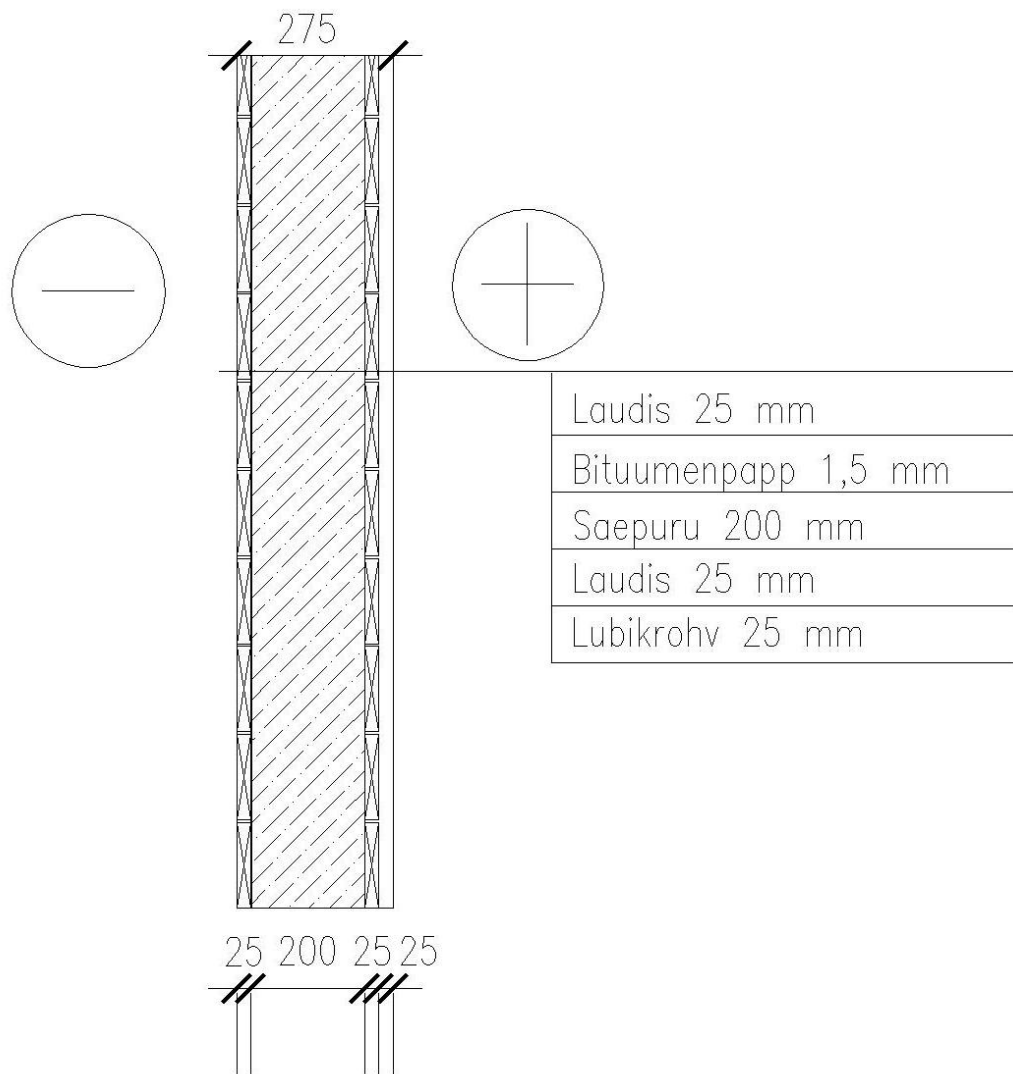
R, m²K/W 2.83 100
 U, W/(m²K) 0.35

Välistemperatuur	-10° C
Sisetemperatuur	20° C

Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2





Joonis L2. 3. Katuseviil-seina lõige

Lisa 2.3 Katuseviil-seina soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusarvutused

Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.04	1.3	0.39	-9.61			208	269	0.00
Laudis	0.020	0.12	0.17	5.4	1.62	-7.99	50	1.00		310	1.00
Bituumenpapp	0.0015	0.17	0.01	0.3	0.09	-7.90	4500	6.75		313	7.75
Saepuru	0.200	0.08	2.50	81.0	24.31	16.41	3.1	0.62		1867	8.37
Laudis	0.025	0.12	0.21	6.8	2.03	18.43	50	1.25		2121	9.62
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	1.0	0.30	18.74	10	0.25		2162	9.87
Sisepind			0.13	4.2	1.26	20.00		9.87	1169	2338	9.87

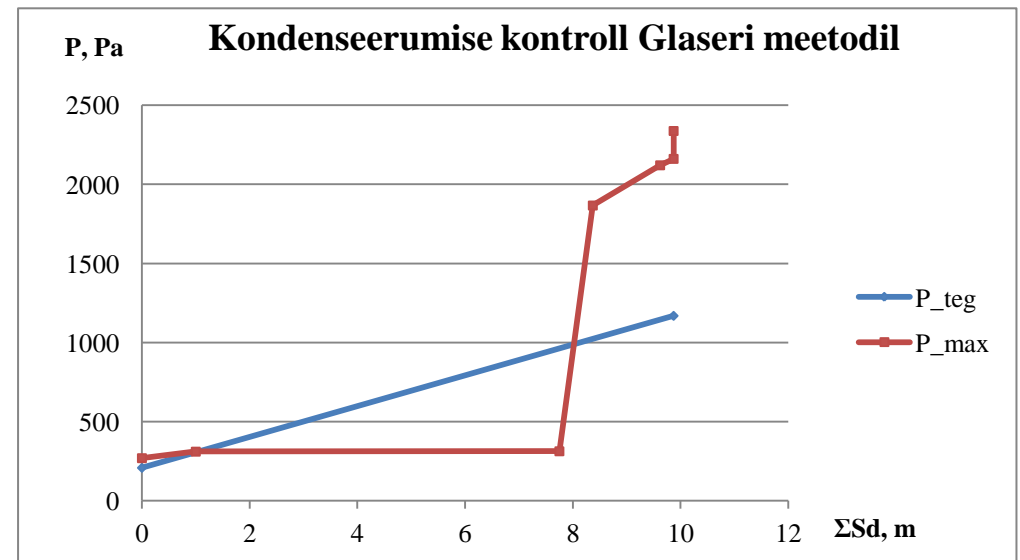
R, m²K/W 3.09 100
 U, W/(m²K) **0.32**

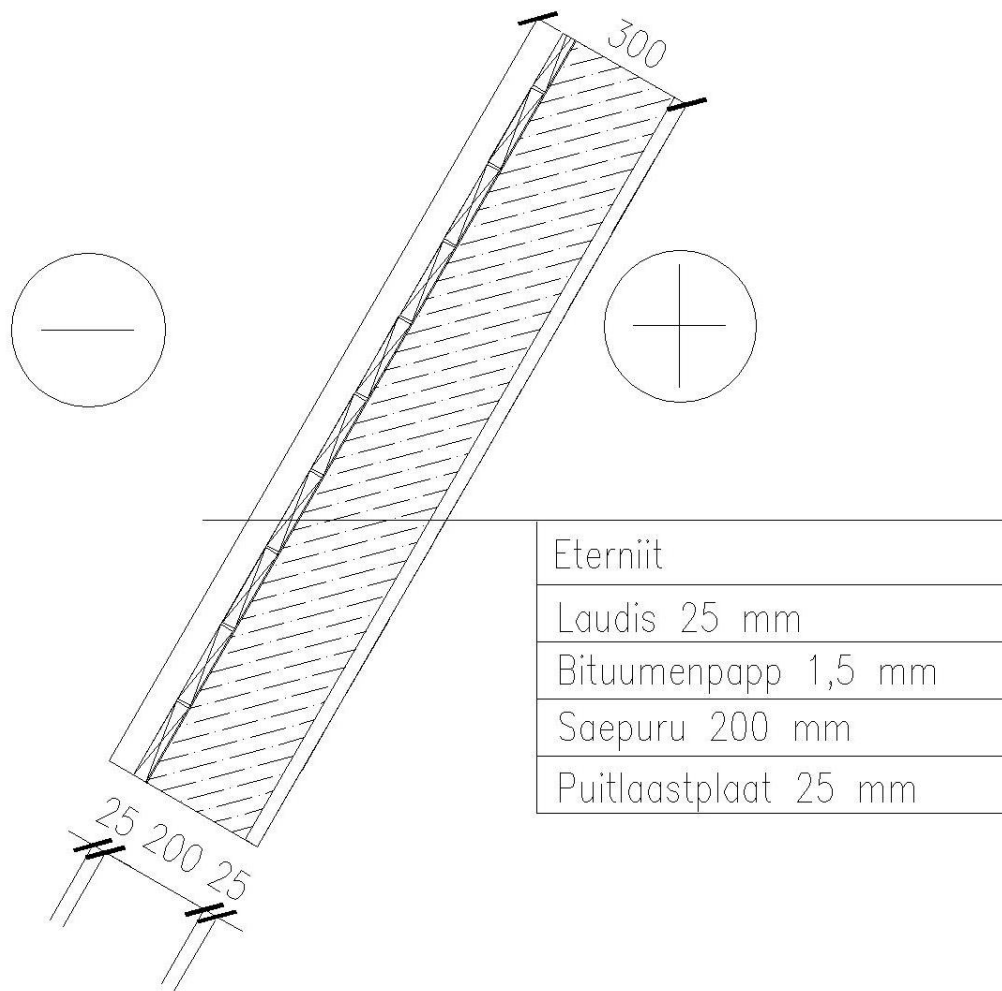
89

Välitemperatuur
-10° C
Sisitemperatuur
20° C

Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2





Joonis L2. 4. Katuslae lõige

Lisa 2.4 Katuslae soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusarvutused

Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.13	4.1	1.24	-8.76			208	290	0.00
Laudis	0.025	0.12	0.21	6.6	1.98	-6.78	50	1.25		345	1.25
Bituumenpapp	0.0015	0.17	0.01	0.3	0.08	-6.70	4500	6.75		347	8.00
Saepuru	0.200	0.08	2.50	79.2	23.77	17.07	3.1	0.62		1947	8.62
Puitlaastplaat	0.025	0.14	0.18	5.7	1.70	18.76	50	1.25		2166	9.87
Sisepind			0.13	4.1	1.24	20.00		9.87	1169	2338	9.87

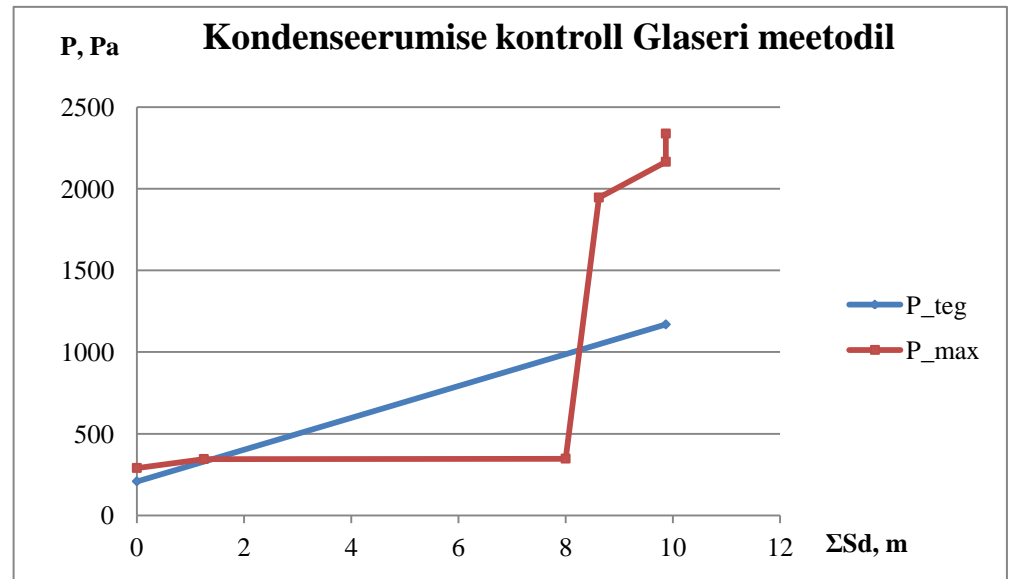
R, m²K/W 3.16 100
 U, W/(m²K) **0.32**

Välitemperatuur	-10° C
Sisitemperatuur	20° C

16

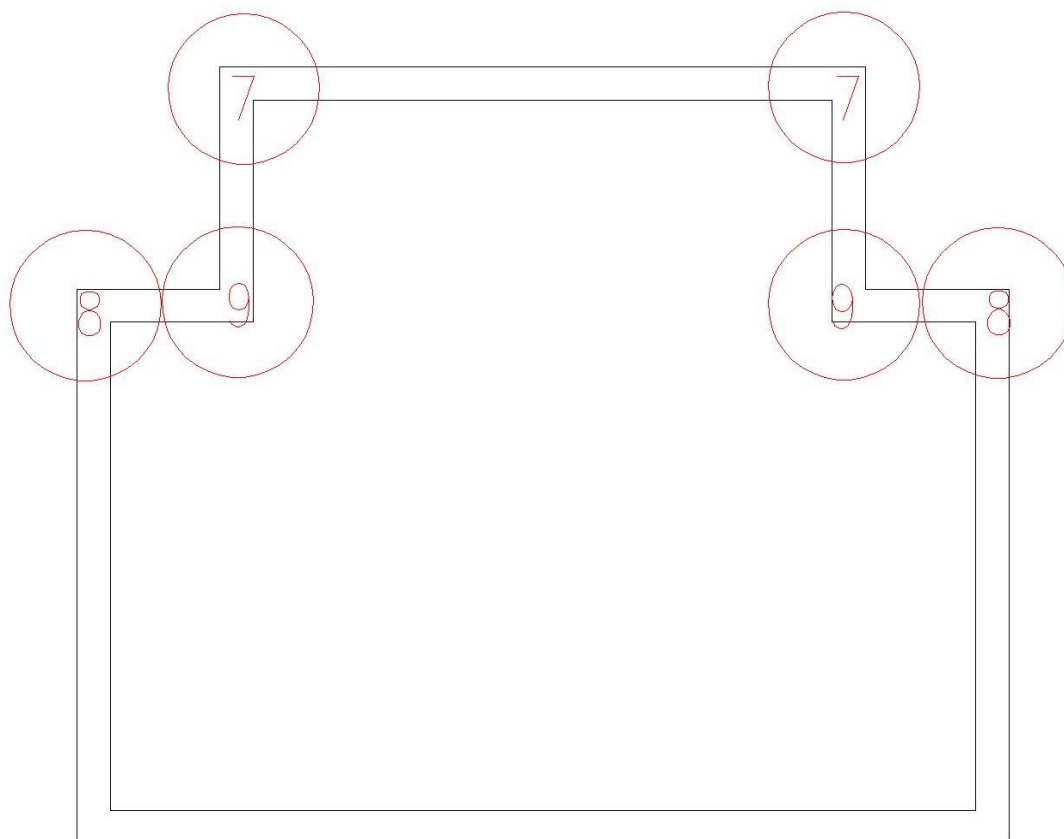
Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2

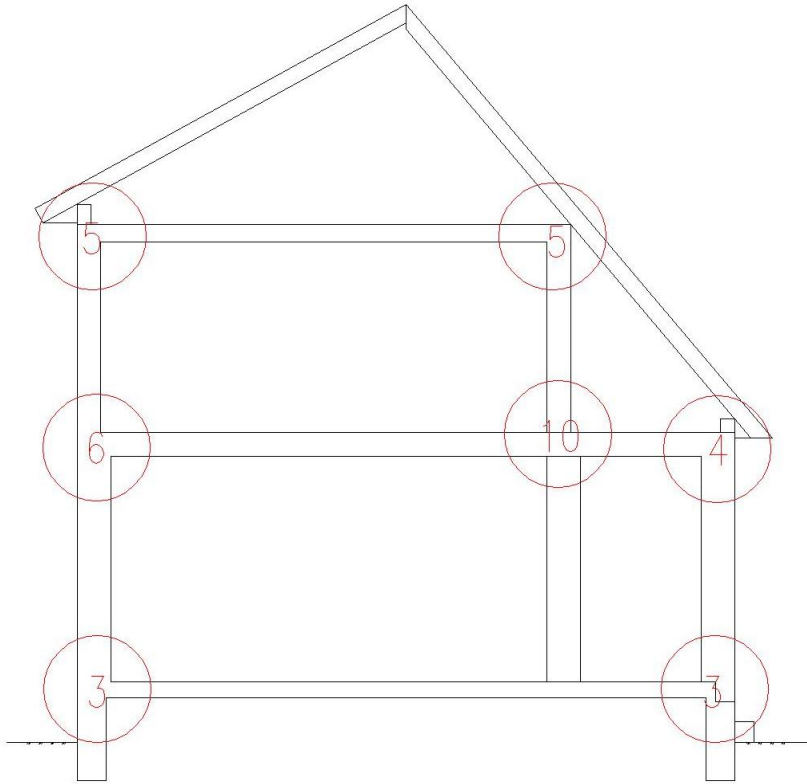


LISA 3

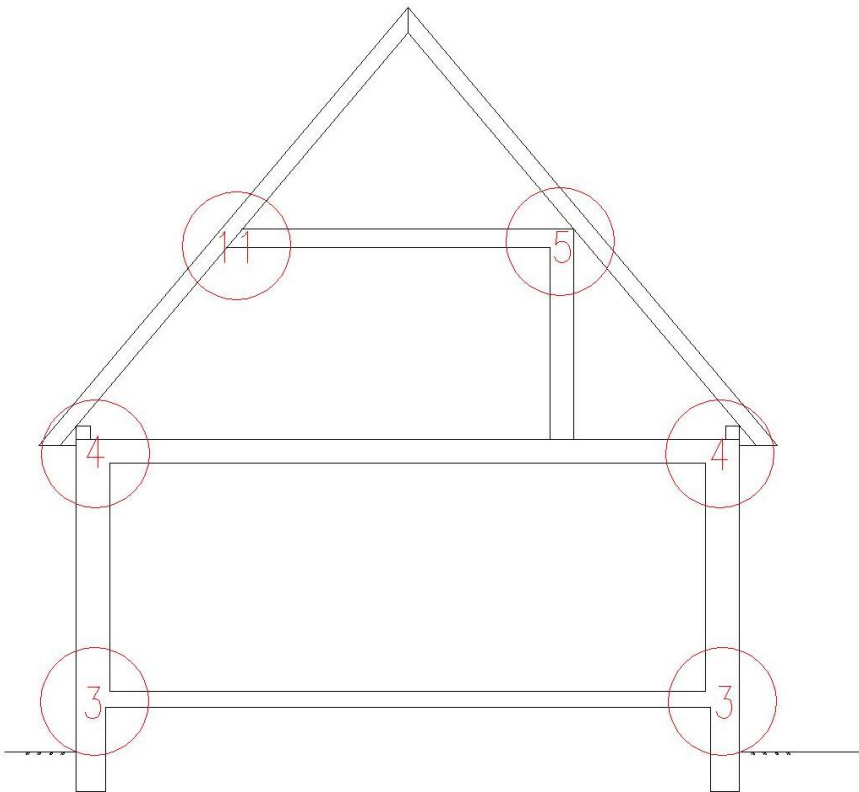
Lisas 3 on toodud külmasildade vastavad asukohad hoones ja temperatuurivälja programm THERM 7.2 graafilised tulemused.



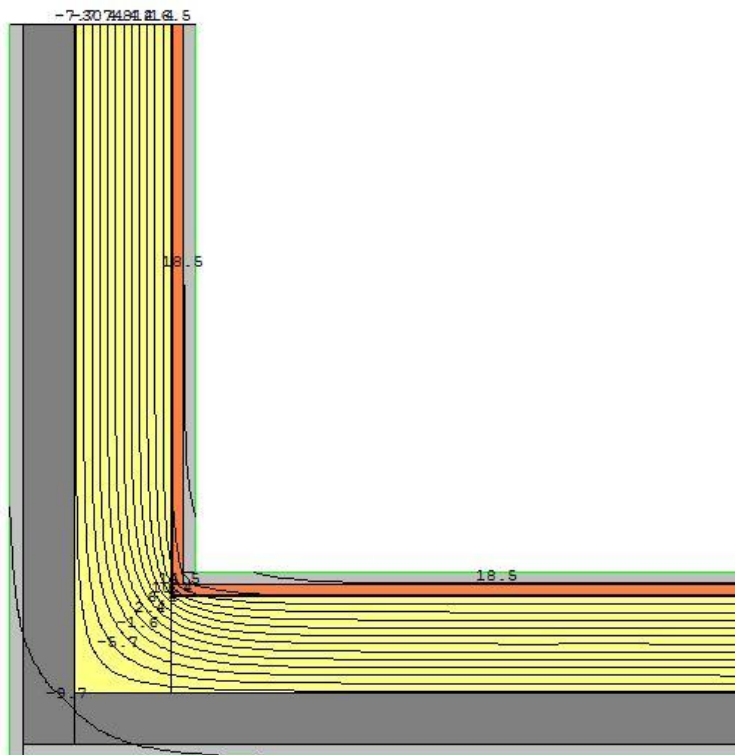
Joonis L3.1. Hoone II korruse külmasildade asukohad



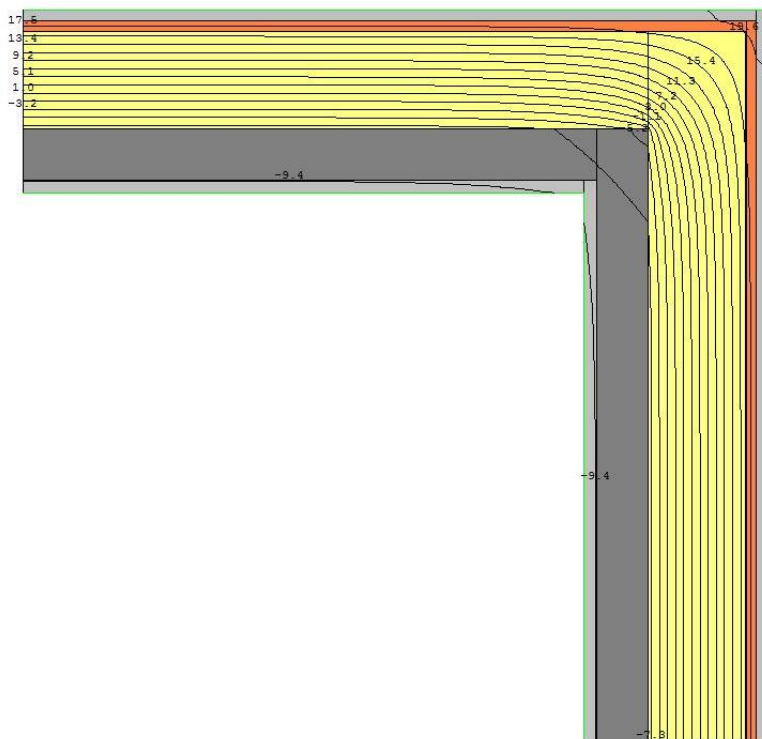
Joonis L3.2. Külmasildade asukohad, lõige hoone keskelt vaadatuna kagust



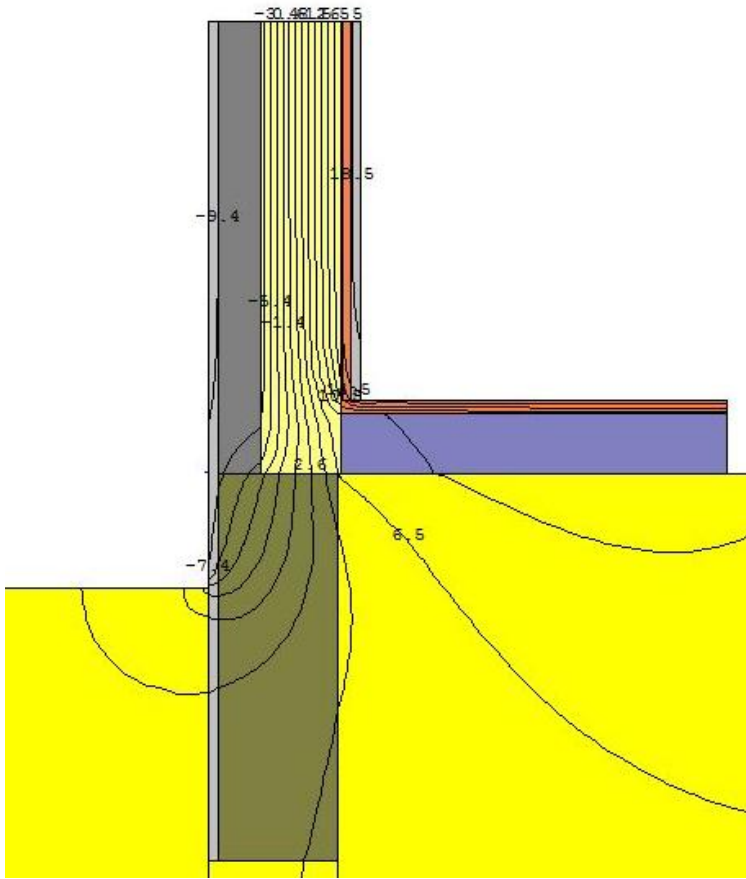
Joonis L3.3. Külmasildade asukohad, lõige hoone servast vaadatuna kagust



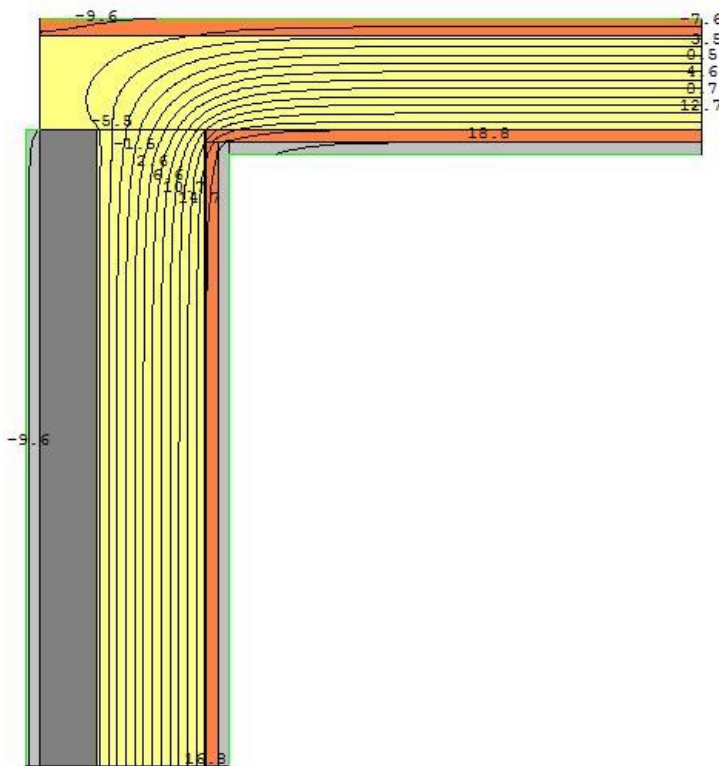
Joonis L3.4. Harju seina välisnurga külmasild nr. 1



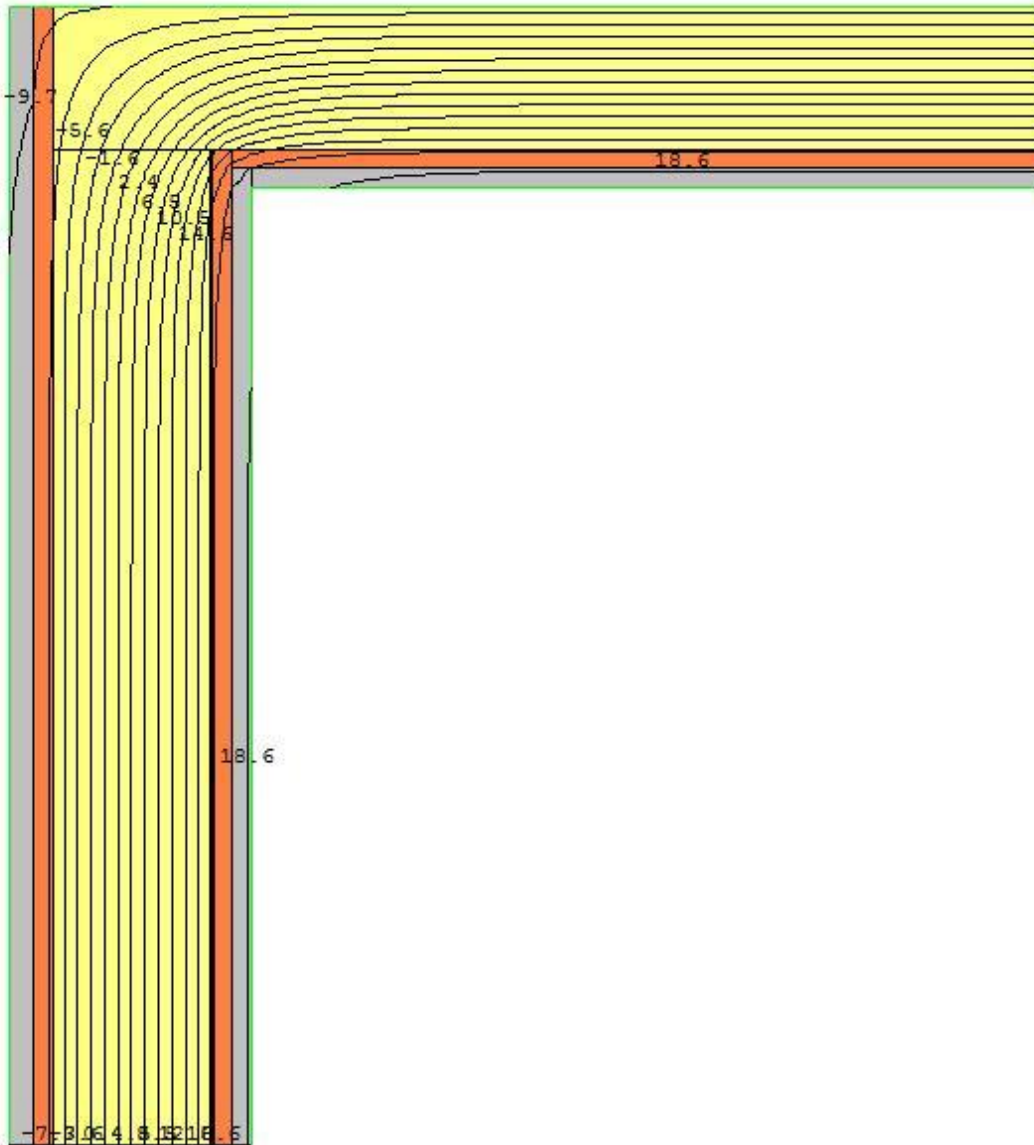
Joonis L3.5. Harju seina sisenurga külmasild nr. 2



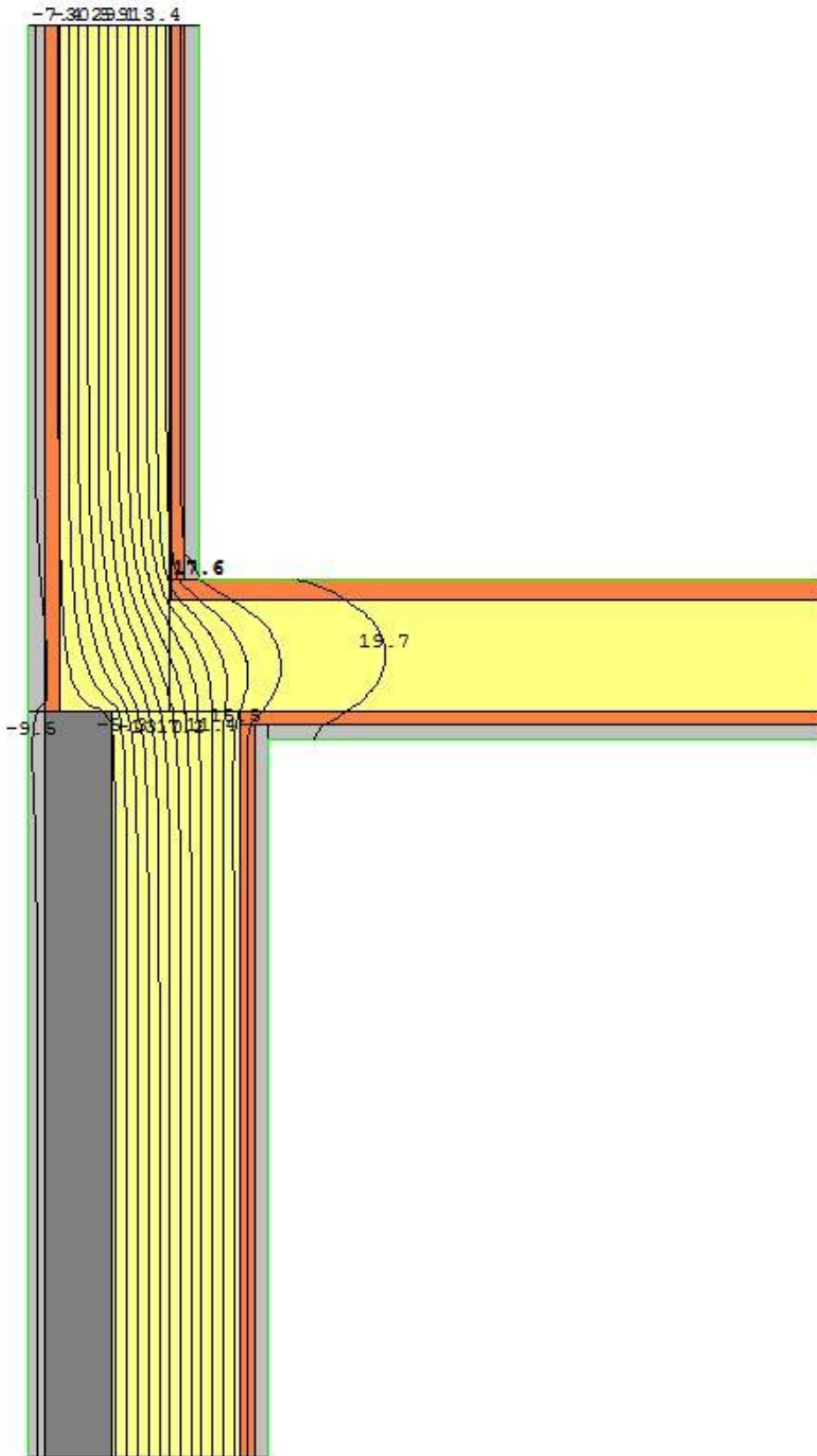
Joonis L3.6. Sokli külmasild nr. 3



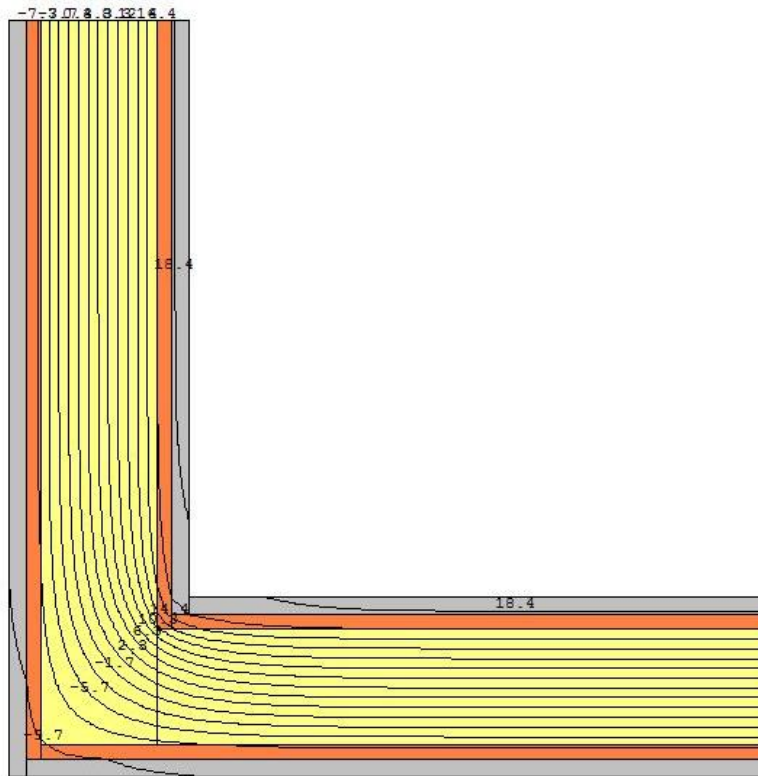
Joonis L3.7. Harju seina ja I korruse vahelae külmasild nr. 4



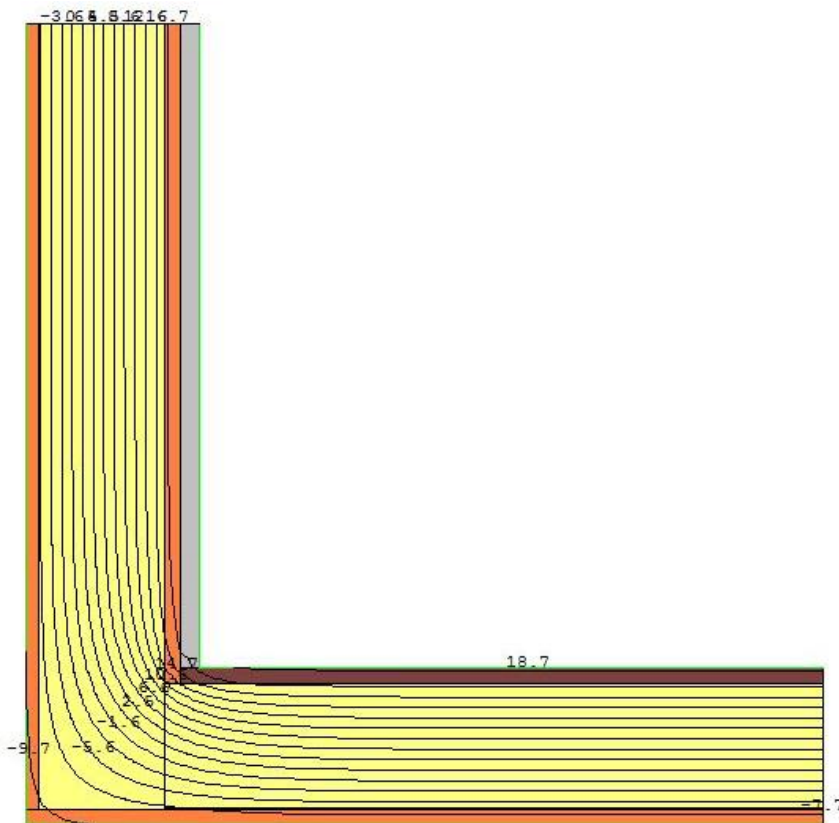
Joonis L3.8. Puitkarkass-seina ja II korruse vahelae külmasild nr. 5



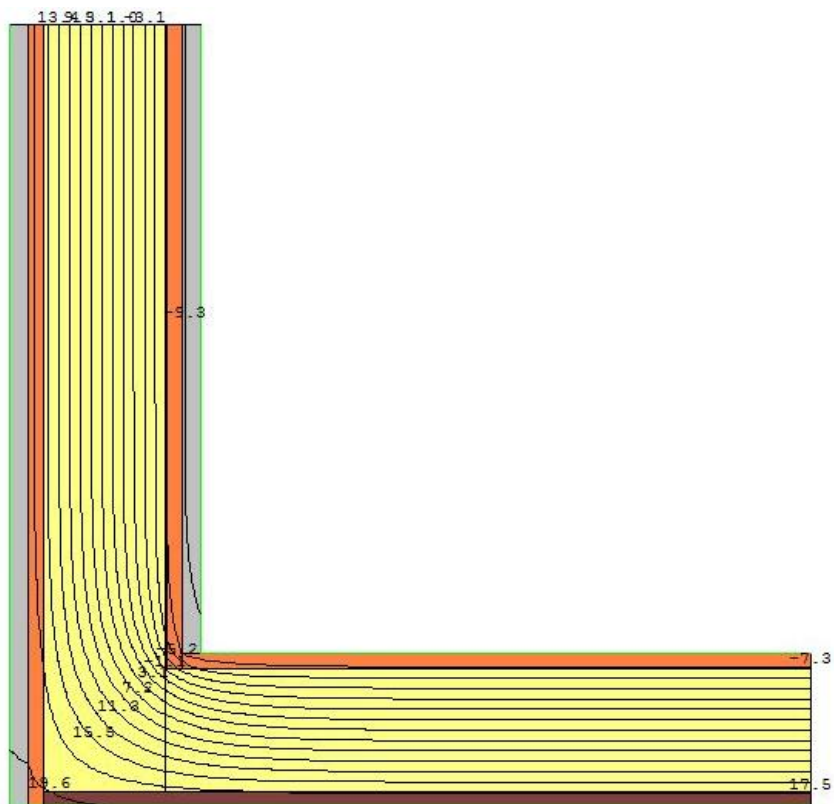
Joonis L3 9. Harju seinä üleminek puitkarkass-seinaks, külmasild nr. 6



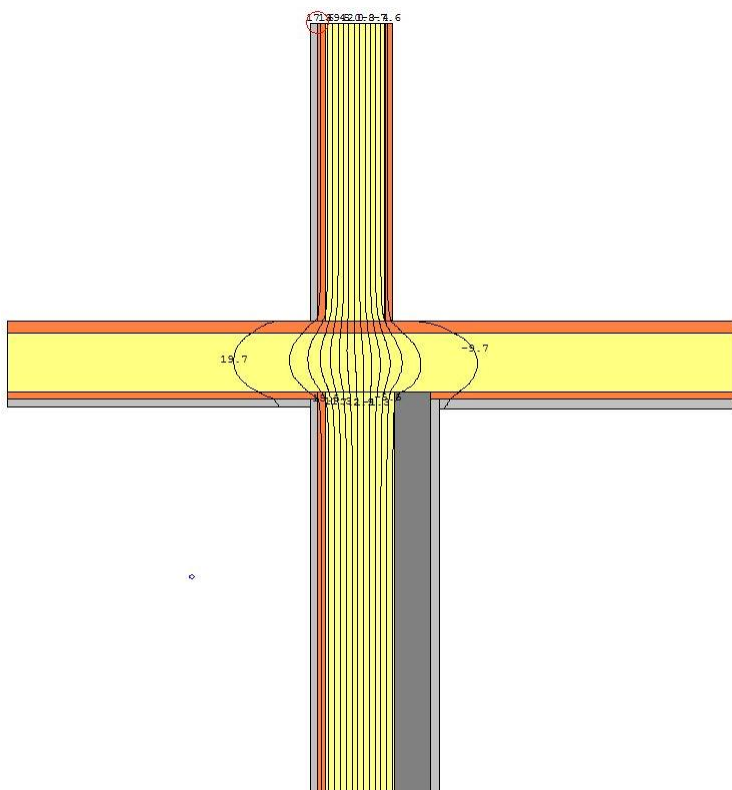
Joonis L3.10. Puitkarkass-seina välisnurk, külmasild nr. 7



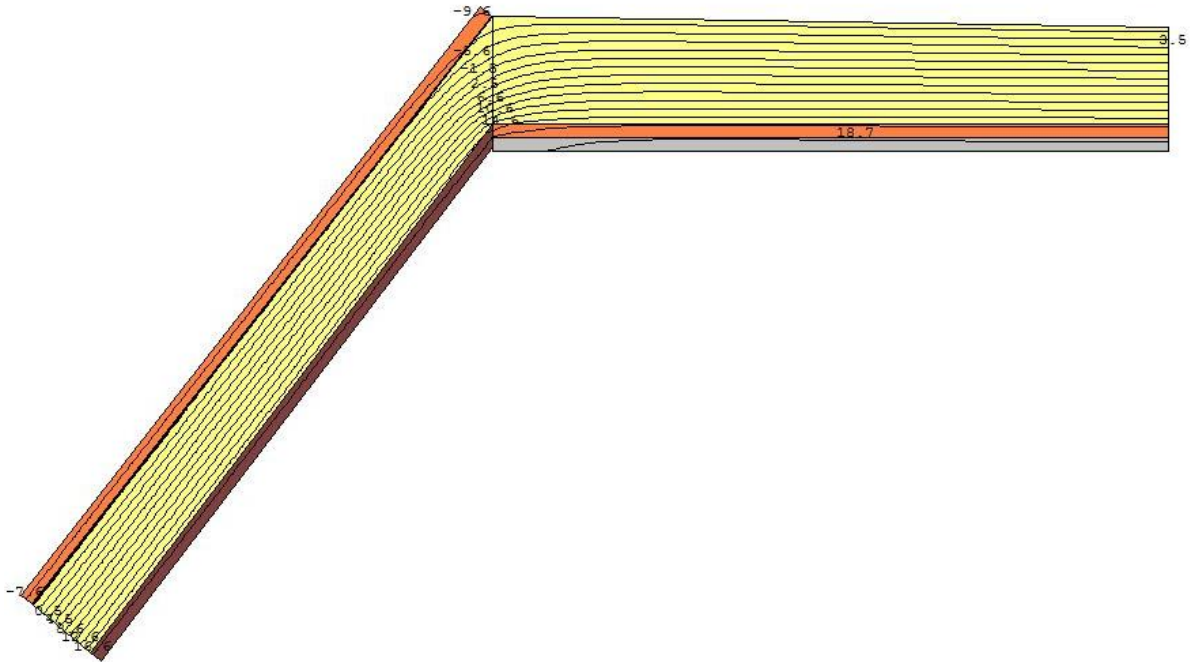
Joonis L3.11. Katuseviil-sein ja katuslagi, külmasild nr. 8



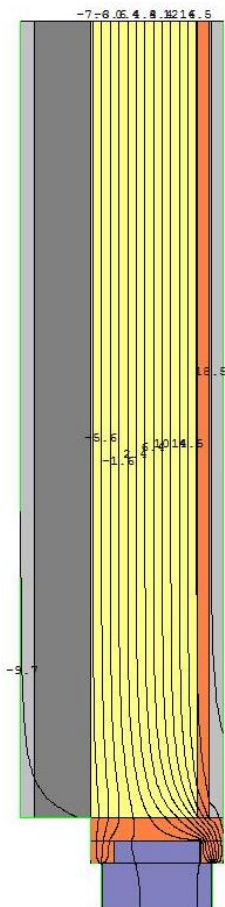
Joonis L3.12. Puitkarkass-seina ja katuslae külmasild nr. 9



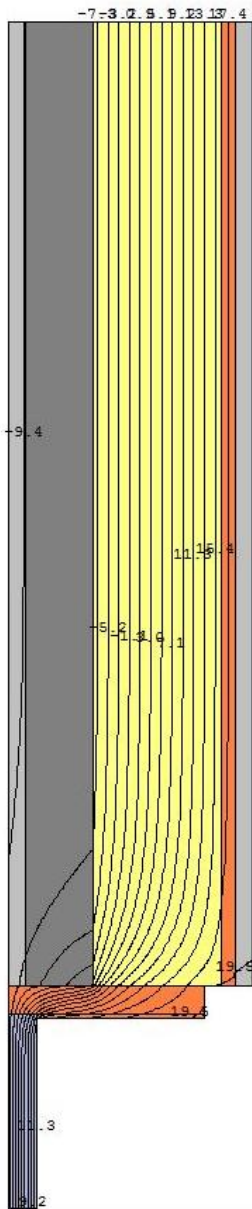
Joonis L3.13. Harju sein, I korruse vahelae ja puitkarkass-seina külmasild nr. 10



Joonis L3.14. Katuslae ja II korruse vahelae külmasild nr. 11



Joonis L3.15. Akna seinakinnituse külmasild



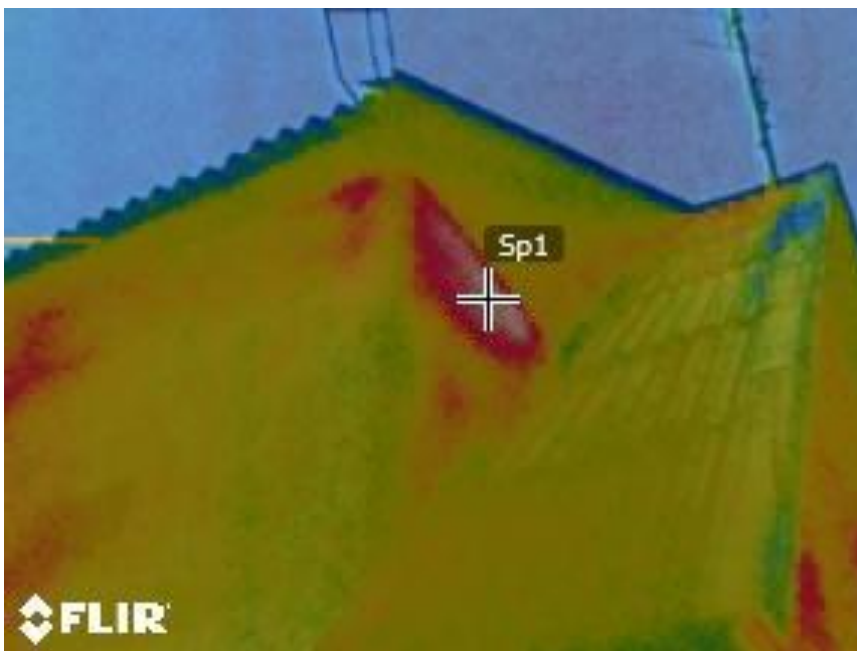
Joonis L3.16. Ukse seinakinnituse külmasild

LISA 4

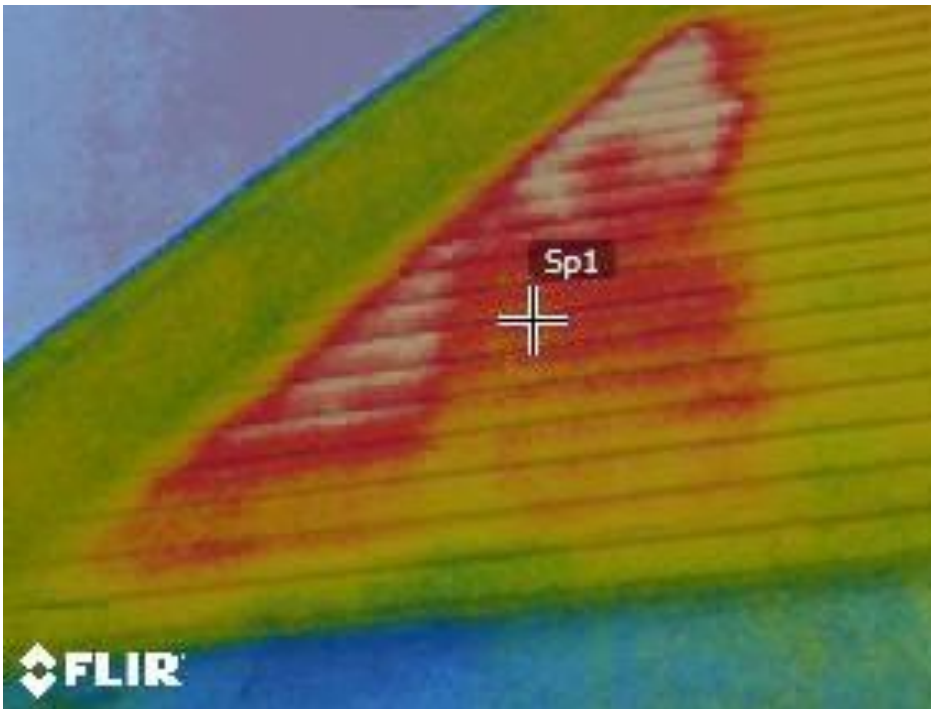
Lisas 4 on toodud käesoleva hoone termofotod.



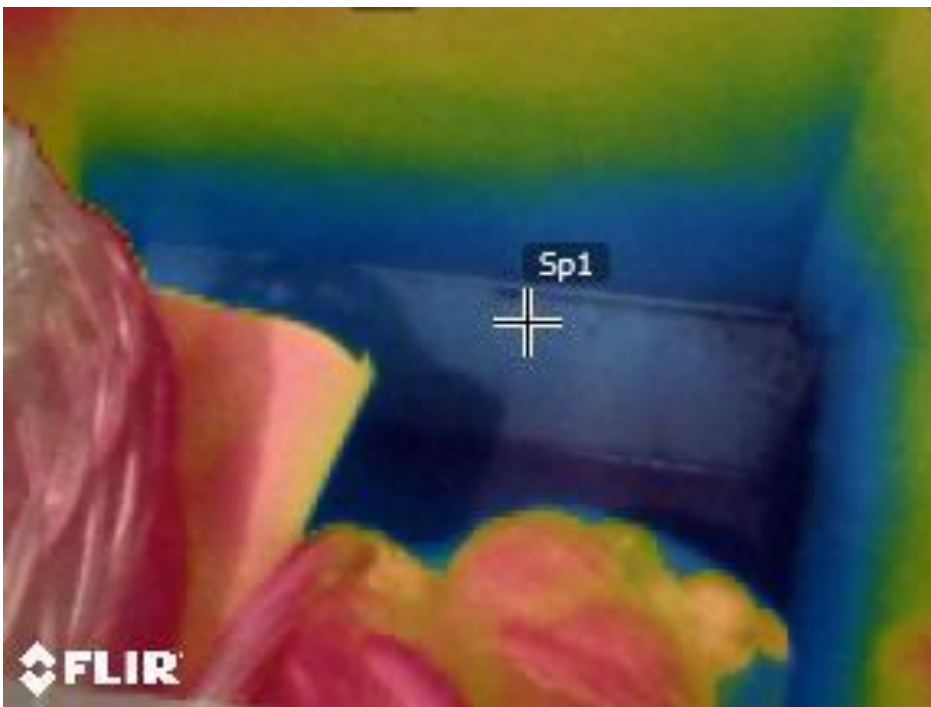
Termofoto L4.1. Hoone edelakülg



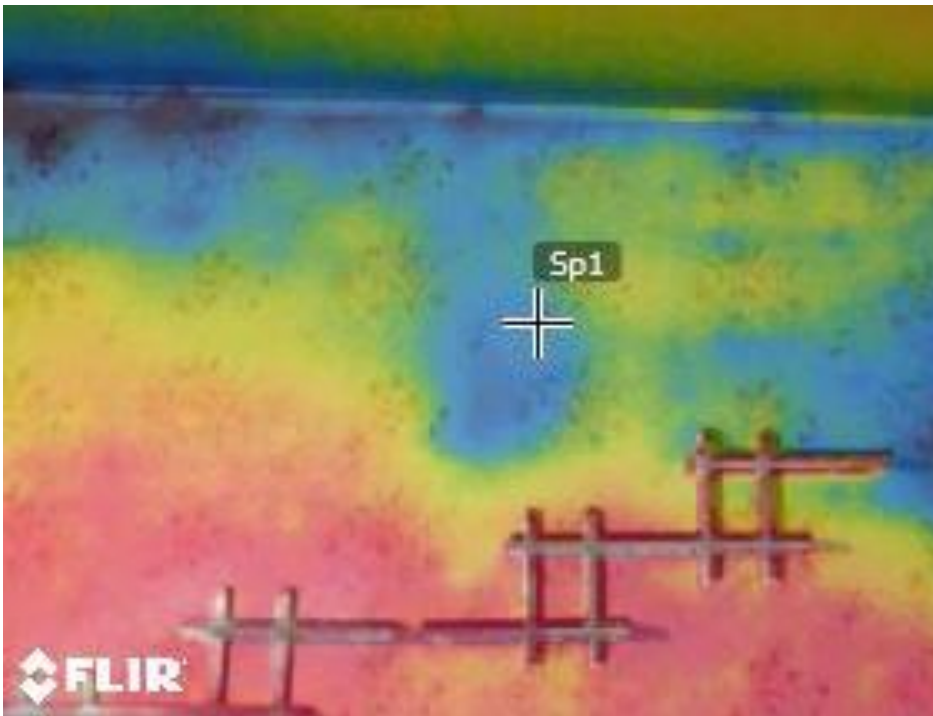
Termofoto L4.2. Külmasild hoone lõunanurgas



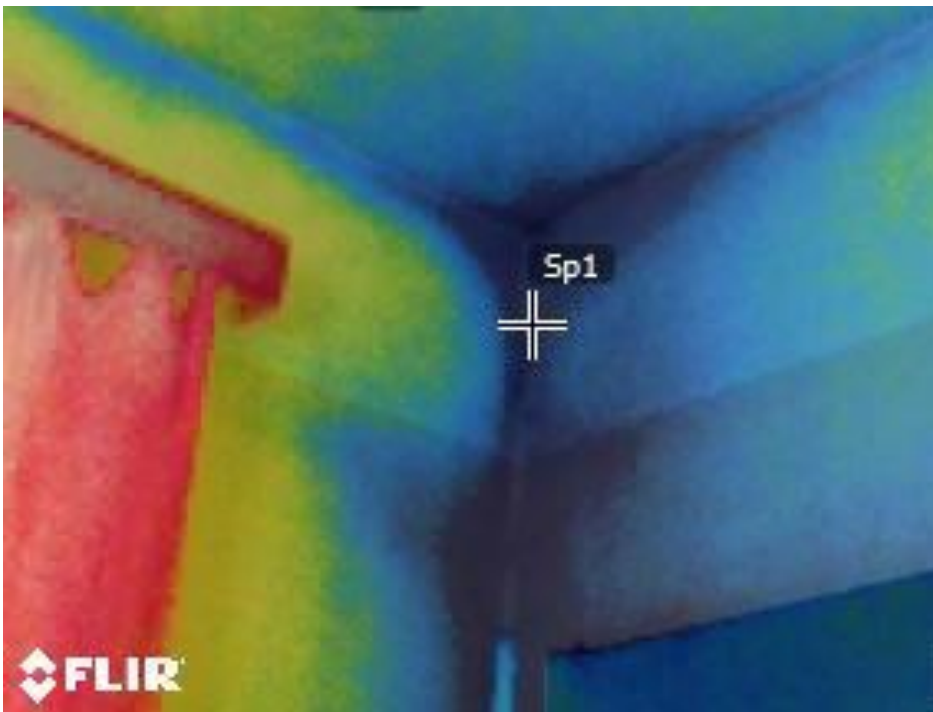
Termofoto L4.3. II korruse sahver hoone kaguküljel



Termofoto L4.4. II korruse sahvi edelanurk seestpoolt



Termofoto L4.5. I korruse läänepoolne tuba, vajunud soojustus



Termofoto L4.6. Külmasild I korruse endise teenindusruumi kirdenurgas



Termofoto L4.7. Ära vajunud soojustus endise teenindusruumi põhjanurgas

LISA 5

Lisas 5 on toodud Vastse-Kuuste vallavalitsuse poolt väljastatud projekteerimistingimused antud hoonele.



VASTSE - KUUSTE VALLAVALITSUS

K O R R A L D U S

Vastse-Kuuste

18.11.2013 nr 126

Projekteerimistingimuste määramine

Aluseks võttes ehitusseaduse § 19 lõiked 1 ja 3, halduskohtu seaduse § 75, halduskohtumenetluse seadustiku § 40 ja § 46, Vastse-Kuuste Vallavolikogu 27.03.2003.a määrusega nr 9 kehtestatud Vastse-Kuuste valla ehitismääruse punkti 3.7, ja Allan Rosenbergi taotluse (05.11.2013 nr.7-2.11/124), Vastse-Kuuste Vallavalitsus annab

korralduse:

1. Määrata projekteerimistingimused ehitusprojekti koostamiseks Õnne maaüksusel asuva postsidehoone (ehitisregistri kood 110021106) rekonstrueerimiseks üksikelamuks järgmiselt:

1.1. ÜLDANDMED

1.1.1. Asukoht: Põlva maakond, Vastse-Kuuste vald, Vooreküla küla, Õnne; Maaomand: maakasutuse sihtotstarbega ärimaa 100%, katastritunnus 87201:002:0015, omanik Hilja Rosenberg;

1.1.2. Kinnistu suurus: 3364 m²;

1.1.3. Projekteerimistingimuste taotleja: Allan Rosenberg;

1.1.4. Kehtivad planeeringud: Vastse-Kuuste valla üldplaneering;

1.1.5. Kinnistu hoonestustingimused : Olemasolev olukord: Kinnistu on hoonestatud, ehitisregistri andmetel asub kinnistul postsidehoone (ehitisregistri kood 1110019206). Lisaks asub kinnistul ehitisregistris registreerimata mitteelukondlik hoone. Kinnistu ehitusõigust kitsendavad elektripaigaldiste (elektriõhuliin, elektrimaakaabelliin) ning riigi kõrvalmaantee nr 18143 (Vissi-Vooreküla) kaitsevööndid;

1.1.6. Ehitisele kasutusloa taotlemisel esitada ka taotlus maakasutuse sihtotstarbe muutmiseks;

1.2. KAVANDATAV E HITUSTE GEVUS

Endise postsidehoone rekonstrueerimine üksikelamuks. Hoone piirdetarindite rekonstrueerimine (asendamine, soojustamine), olemasoleva ruumiprogrammi muutmise, tehnosüsteemide (elektripaigaldis) muutmise.

1.3. NÕUDED PROJEKTEERIMISEKS

1.3.1. Hoone korruselisus ja kubatuuri ei muudeta, säilitada hoone olemasolev katuse vorm ja kalded;

1.3.2. Hoone ehitisealuse pinna ning kõrguse suurendamine on lubatud ainult soojustamisest tuleneva piirdekonstruktsioonide paksuse muutmise arvel;

1.3.3. Siseruimide lahendus projekteerida vastavalt uuele funktsioonile, arvestada olemasolevate kandescintega;

1.3.4. Välisviimistlus lahendada projektiga, värvitoonide valik anda projektis värvikataloogide alusel ning näidata vaadatel;

1.3.5. Hoone minimaalne tuleohutusklass: TP-3;

1.3.6. Hoone piirdekonstruktsioonid projekteerida energiakasutuse miinimumnõuete kohaselt;

- 1.3.7. Ehitusprojekti koosseisus või eraldi chitusprojektidena esitada olemasolevate tehnosüsteemide või nende osade muutmise või asendamine;
- 1.3.8. Muud nõuded: lahendada projektiga;

1.4. EHITUSPROJEKTI KOOSSEIS, VORMISTAMINE, KOOSKÕLASTAMINE JA ESITAMINE

- 1.4.1. Ehitusprojekt koostada ja vormistada vastavalt majandus- ja kommunikatsiooniministri 17. septembri 2010.a määrusele nr 67 "Nõuded ehitusprojektile" ja Eesti Standardile EVS 811:2012 „Hoone ehitusprojekt“ ;
 - 1.4.2. Ehitusprojekti koostamisel arvestada Vabariigi Valitsuse 30.08.2012 määrusega nr 68 „Energiatõhususe miinimumnõuded“;
 - 1.4.3. Ehitusprojekt peab olema koostatud või kontrollitud ehitusseaduse §-s 47 nimetatud projekteerimises pädeva vastutava spetsialisti poolt;
 - 1.4.4. Asendiplaan vormistada aktuaalsel geodeetilisel alusplaanel mõõdus M 1:500, mis kajastab kõiki ehitisi kinnistul ning 15 m ulatuses väljaspool kinnistu piire;
 - 1.4.5. Projekti kausta lisada projekteerimistingimused, ehitusloa taotlemisel esitatavad ehitise olulised tehnilised andmed, energiamärgis ning muu projektiga seonduv informatsioon;
 - 1.4.6. Ehitusprojekt kooskõlastada:
 - Lõuna - Eesti Päästkeskuse Inseneritehnilise bürooga;
 - 1.4.7. Kooskõlastatud chitusprojekt koos ehitusloa taotlusega ja riigilõivu tasumist tõendava dokumendiga esitada läbivaatamiseks ja ehitusloa saamiseks Vastse- Kuuste Vallavalitsusele kahes eksemplaris, milledest üks, originaalkooskõlastustega eksemplar, kuulub arhiveerimisele Vastse-Kuuste Vallavalitsuses ja üks eksemplar tagastatakse koos ehitusloaga taotlejale. Ehitusloa taotlus ja ehitise olulised tehnilised andmed esitada blankettidel, mida saab internetist aadressil: www.ehr.ee;
 - 1.4.8. Projekteerimistingimused kehtivad 2 aastat alates korralduse jõustumisest;
2. Korraldust on võimalik vaidlustada 30 päeva jooksul korralduse teatavakstegemisest arvates vaidega Vastse-Kuuste Vallavalitsusele haldusmenetluse seaduses kehtestatud korras või hagiga Tartu Halduskohtule (Kalevi 1 Tartu 51010) halduskohtumenetluse seadustikus kehtestatud korras.
3. Korraldus jõustub teatavakstegemisest.

Lennart Liba
vallavanem



Kai Tagel
vallasekretär



LISA 6

Lisas 6 on toodud hoone parandusmeetmete soojus- ja niiskustehnilised arvutused, parandatud piirete lõikejoonised ja vastavate külmasildade lisakonduktantside arvutustabel ja arvutuse graafilised tulemused.

Kütmata kelder

Keldri pindala A on $8,3 \text{ m}^2$, avatud perimeeter P on $11,72 \text{ m}$ ja sisekubatuur V on $14,74 \text{ m}^3$. Keldri sügavus z maapinna suhtes on $1,28 \text{ m}$. Põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes on $0,78 \text{ m}$. Keldriseinte paksus w on nii maapinnast üleval-, kui ka allpool $0,495 \text{ m}$ (340 mm keskmise tihedusega betoon, 30 mm lubikrohv, 5 mm hüdroisolatsioon, 100 mm EPS 80, 20 mm lubitsemmentkrohv). Keldri lae paksus on 250 mm (140 mm keskmise tihedusega betoon, 70 mm karkass (tuulutuseta õhkvahe), 38 mm põrandalaudis).

Keldripõranda tunnusmõõt valemist (20):

$$B' = \frac{8,3}{0,5 \cdot 11,72} = 1,42 \text{ m}$$

Pinnasel asuva põranda kogupaksuse d_t leidmiseks rakendatakse valemist (18):

$$d_t = 0,495 + 2,0(0,17 + 0 + 0,04) = 0,915 \text{ m}$$

Keldriseinte soojustakistus R_{kw} leitakse vastavalt valemile (6), kusjuures standardis EVS-EN ISO 13370:2008 [8 lk 46] toodud keldri arvutusnäite järgi ei ole juurde lisatud sise- ja välispinna soojustakistusi:

$$R_{kw} = \frac{0,02}{0,54} + \frac{0,1}{0,038} + \frac{0,005}{0,17} + \frac{0,03}{0,8} + \frac{0,34}{1,15} = 3,03 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Keldriseinte kogupaksus d_w leitakse valemist (19):

$$d_w = 2,0(0,13 + 3,03 + 0,04) = 6,4 \text{ m}$$

Välisõhu kohal asuva põrand (keldri lae) soojustakistus $R_{kpõrand}$ leitakse vastavalt valemile (6), kus õhkvahe soojustakistus "Ehituskonstruktori käsiraamat" [13 lk 153] järgi on $R_{\delta} = 0,21 (m^2 \cdot K)/W$:

$$R_{kpõrand} = \frac{0,14}{1,15} + 0,21 + \frac{0,038}{0,12} = 0,65 (m^2 \cdot K)/W$$

Kuna $d_t + 0,5z = 0,915 + 0,5 \cdot 1,28 = 1,56 > B' = 1,42$, siis keldripõrand soojusjuhtivus leitakse valemist (16):

$$U_{bf} = \frac{2,0}{0,457 \cdot 1,42 + 0,915 + 0,5 \cdot 1,28} = 0,91 W/(m^2 \cdot K)$$

Keldriseina soojusjuhtivuse leidmiseks kasutatakse valemit (17):

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 1,28} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 0,915}{0,915 + 1,28} \right) \ln \left(\frac{1,28}{6,4} + 1 \right) = 0,22 W/(m^2 \cdot K)$$

Keldriseinte soojusjuhtivus maapinnast kõrgemal arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$U_{kw} = \frac{1}{R_{si} + R_{kw} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + 3,03 + 0,04} = 0,31 W/(m^2 \cdot K)$$

Põrand välisõhu kohal asuva osa (keldri lae) soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$U_{kf} = \frac{1}{R_{si} + R_{kpõrand} + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 0,65 + 0,17} = 1,01 W/(m^2 \cdot K)$$

Valemist (14) leitakse kütmata keldri sise- ja väliskeskkonna vaheline soojusjuhtivus U :

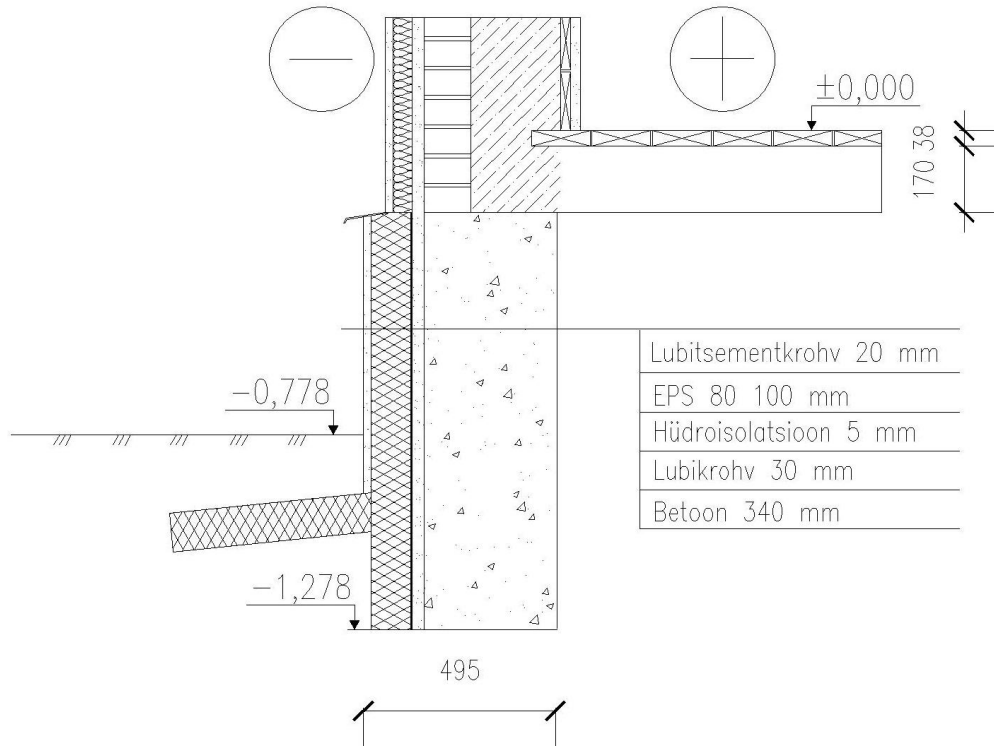
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1,01} + \frac{8,3}{(8,3 \cdot 0,91) + (1,28 \cdot 11,72 \cdot 0,22) + (0,78 \cdot 11,72 \cdot 0,31) + (0,33 \cdot 0,3 \cdot 14,74)} = 1,54$$

$$U = 0,65 W/(m^2 \cdot K)$$

Soojuslevi pinnasesse

Hoone põrandapindala ilma keldriosa ja terrassita on 45,3 m² ja avatud perimeeter on 30,4 m. Õhkvahe all on 2. kategooria pinnas (liiv, kruus) ja kohal on 1,5" ehk 38 mm okaspuidust põrandalaudis.

Hoone sokli paranduslahendus on toodud joonisel L6.1.



Joonis L6.1. Hoone sokli paranduslahendus

Hoone põranda tunnismõõt valemist (20):

$$B' = \frac{45,3}{0,5 \cdot 30,4} = 2,98 \text{ m}$$

Maapinna võrdväärne soojustakistus R_g leitakse valemiga (23):

$$R_g = \frac{0,457 \cdot 2,98}{2,0} = 0,68 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Pinnasesse suunduvast soojusvoost tulenev soojusjuhtivus U_g arvutatakse vastavalt valemile (22):

$$U_g = \frac{1}{0,68} = 1,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Õhkvahe seina soojusjuhtivus U_w on arvatud lisas 6.1.

$$U_w = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Hoone põranda soojustakistus arvutatakse vastavalt valemile (7):

$$R_{põrand} = \frac{0,038}{0,12} = 0,32 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

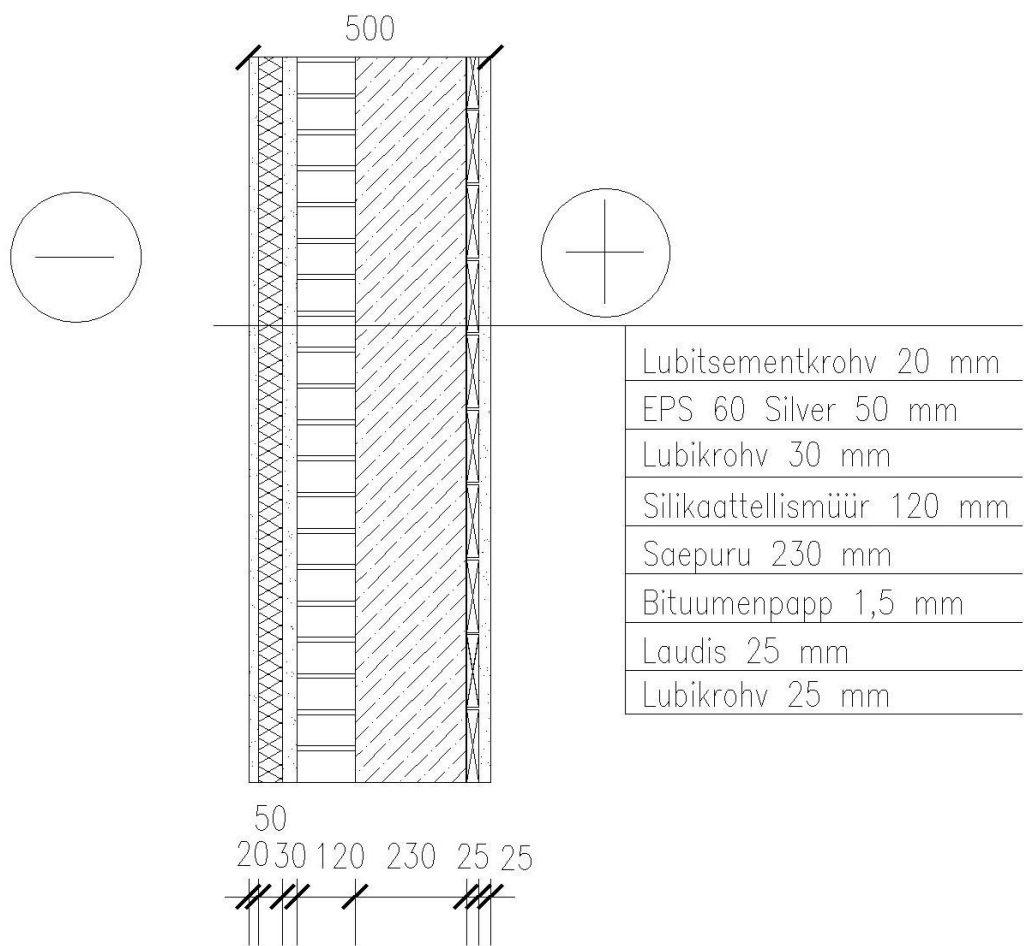
Hoone siseruumi ja õhkvahe vahel oleva põrandaosa soojusjuhtivus arvutatakse vastavalt valemile (5):

$$U_f = \frac{1}{R_{si} + R_{põrand} + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 0,32 + 0,17} = 1,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Põranda soojuslääbivus arvutatakse kasutades valemit (21):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1,52} + \frac{1}{1,47 + 2 \cdot 0,78 \cdot 0,20 / 2,98} = 1,29$$

$$U = 0,78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$



Joonis L6.2. Harju seinä paranduslahendus

Lisa 6.1 Harju seina paranduslahenduse soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusrvutused

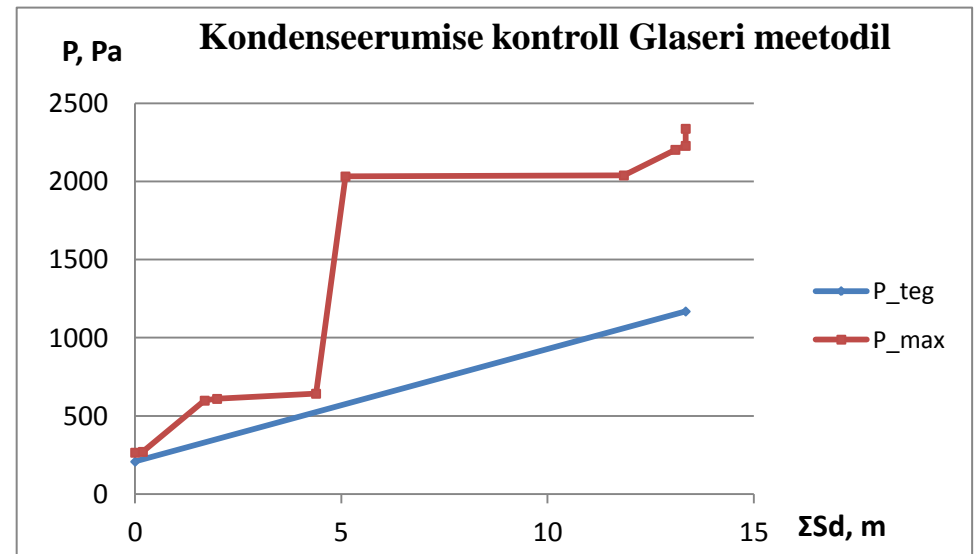
Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R , m ² K/W	%R	Δt	t , °C	μ	S_d	P_{teg} , Pa	P_{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.04	0.8	0.24	-9.76			208	265	0.00
Lubisementkrohv	0.020	0.54	0.04	0.7	0.22	-9.54	9.3	0.19		271	0.19
EPS 60 Silver	0.050	0.032	1.56	30.9	9.27	-0.27	30	1.50		599	1.69
Lubikrohv	0.030	0.8	0.04	0.7	0.22	-0.05	10	0.30		610	1.99
Silikaattellis	0.120	0.95	0.13	2.5	0.75	0.70	20	2.40		643	4.39
Saepuru	0.230	0.08	2.88	56.9	17.06	17.76	3.1	0.71		2033	5.10
Bituumenpapp	0.0015	0.17	0.01	0.2	0.05	17.81	4500	6.75		2040	11.85
Laudis	0.025	0.12	0.21	4.1	1.24	19.04	50	1.25		2204	13.10
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	0.6	0.19	19.23	10	0.25		2229	13.35
Sisepind			0.13	2.6	0.77	20.00		13.35	1169	2338	13.35

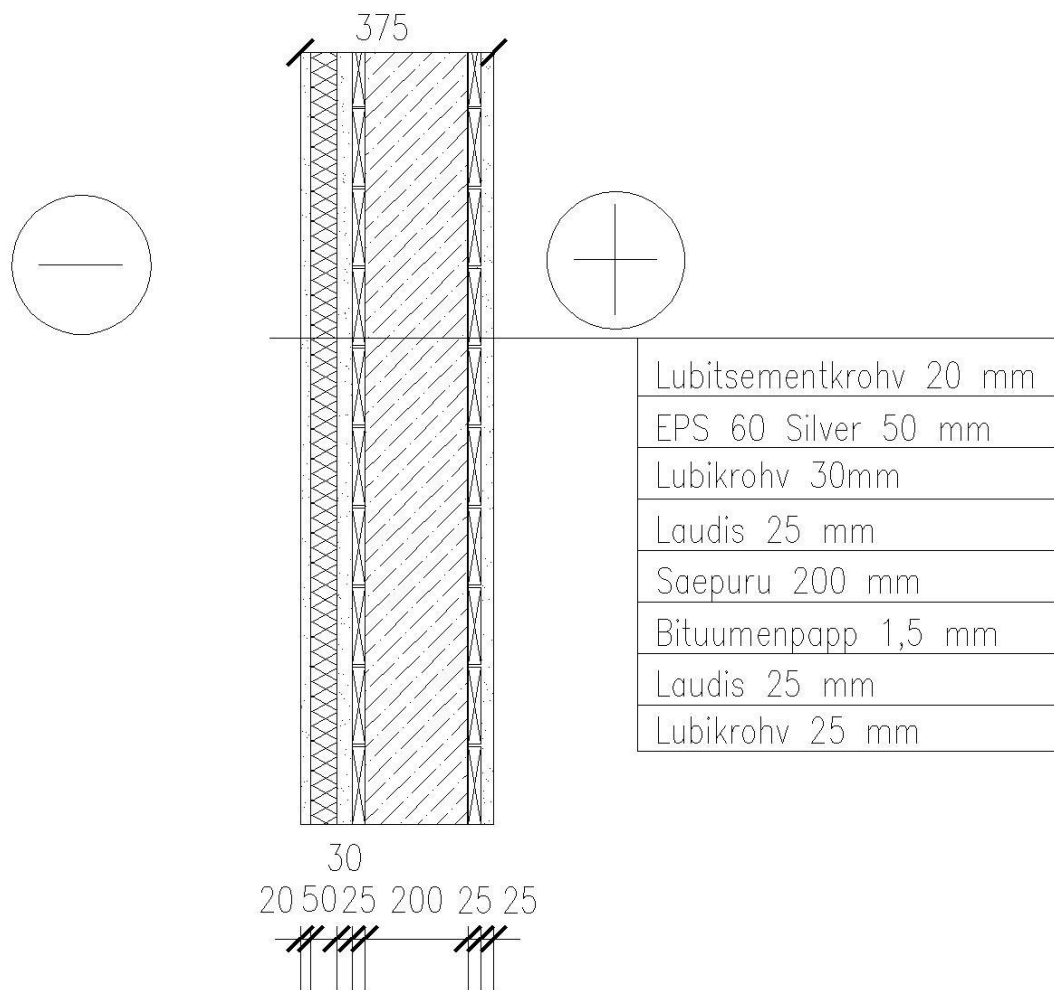
R , m²K/W 5.06 100
 U , W/(m²K) 0.20

Välitemperatuur	-10° C
Sisitemperatuur	20° C

Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2





Joonis L6.3. Puitkarkass-seina paranduslahendus

Lisa 6.2 Puitkarkass-seina paranduslahenduse soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusrvutused

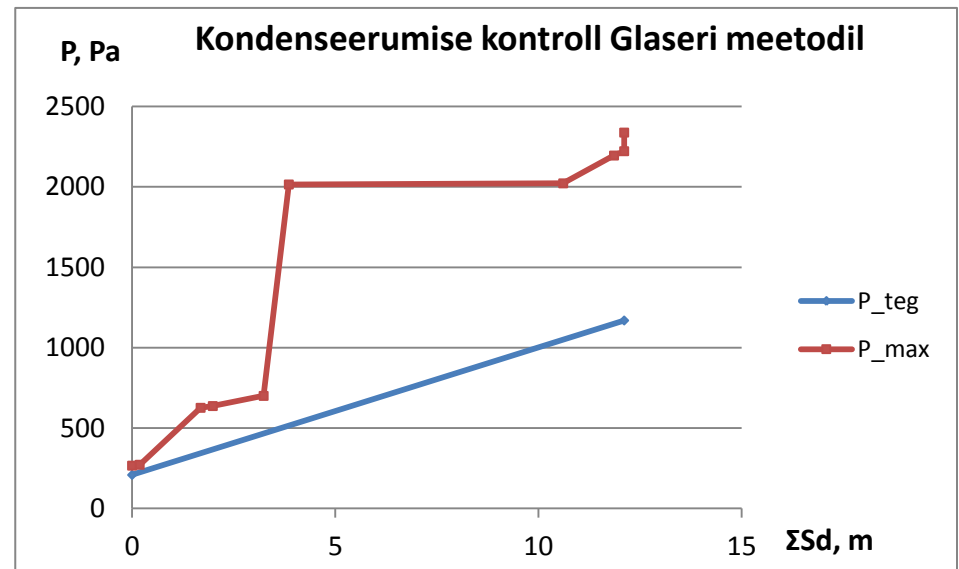
Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.04	0.8	0.25	-9.75			208	266	0.00
Lubitsementkrohv	0.020	0.54	0.04	0.8	0.23	-9.51	9.3	0.19		271	0.19
EPS 60 Silver	0.050	0.032	1.56	32.8	9.84	0.33	30	1.50		626	1.69
Lubikrohv	0.030	0.8	0.04	0.8	0.24	0.56	10	0.30		637	1.99
Laudis	0.025	0.12	0.21	4.4	1.31	1.87	50	1.25		700	3.24
Saepuru	0.200	0.08	2.50	52.5	15.74	17.62	3.1	0.62		2015	3.86
Bituumenpapp	0.0015	0.17	0.01	0.2	0.06	17.67	4500	6.75		2022	10.61
Laudis	0.025	0.12	0.21	4.4	1.31	18.98	50	1.25		2195	11.86
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	0.7	0.20	19.18	10	0.25		2223	12.11
Sisepind			0.13	2.7	0.82	20.00		12.11	1169	2338	12.11

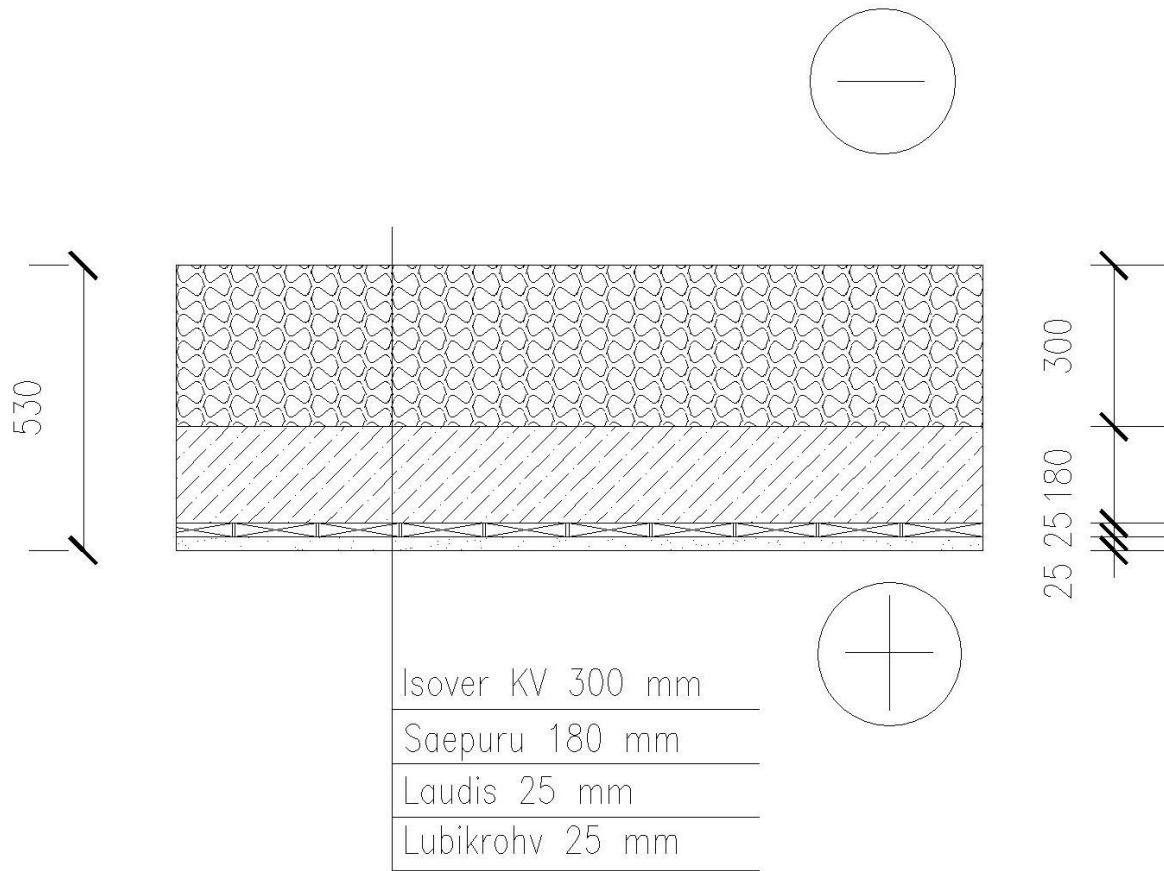
R, m²K/W 4.76 100
 U, W/(m²K) 0.21

Välitemperatuur
-10° C
Sisetemperatuur
20° C

Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2





Joonis L6.4. II korruse vahelae paranduslahendus

Lisa 6.3 II korruse vahelae paranduslahenduse soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusrarvutused

Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.04	0.4	0.12	-9.88			208	263	0.00
Kütmata pööning			0.20	2.0	0.59	-9.29		0.00		277	0.00
Isover KV	0.300	0.041	7.32	72.1	21.63	12.34	1	0.30		1436	0.30
Saepuru	0.180	0.08	2.25	22.2	6.65	19.00	3	0.56		2197	0.86
Laudis	0.025	0.12	0.21	2.1	0.62	19.61	50	1.25		2283	2.11
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	0.3	0.09	19.70	10	0.25		2296	2.36
Sisepind			0.10	1.0	0.30	20.00		2.36	1169	2338	2.36

R, m²K/W 10.15 100

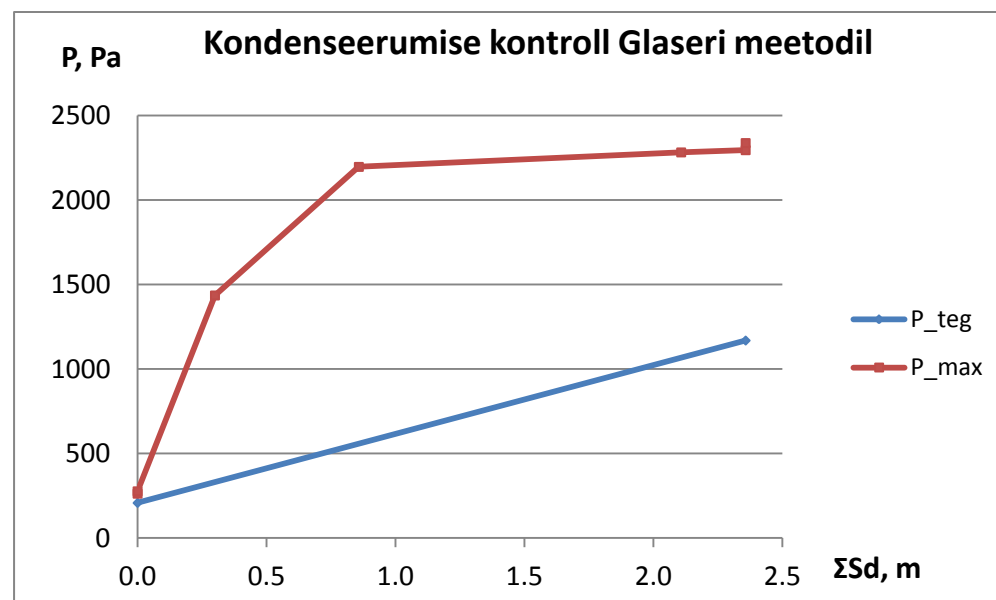
U, W/(m²K) 0.10

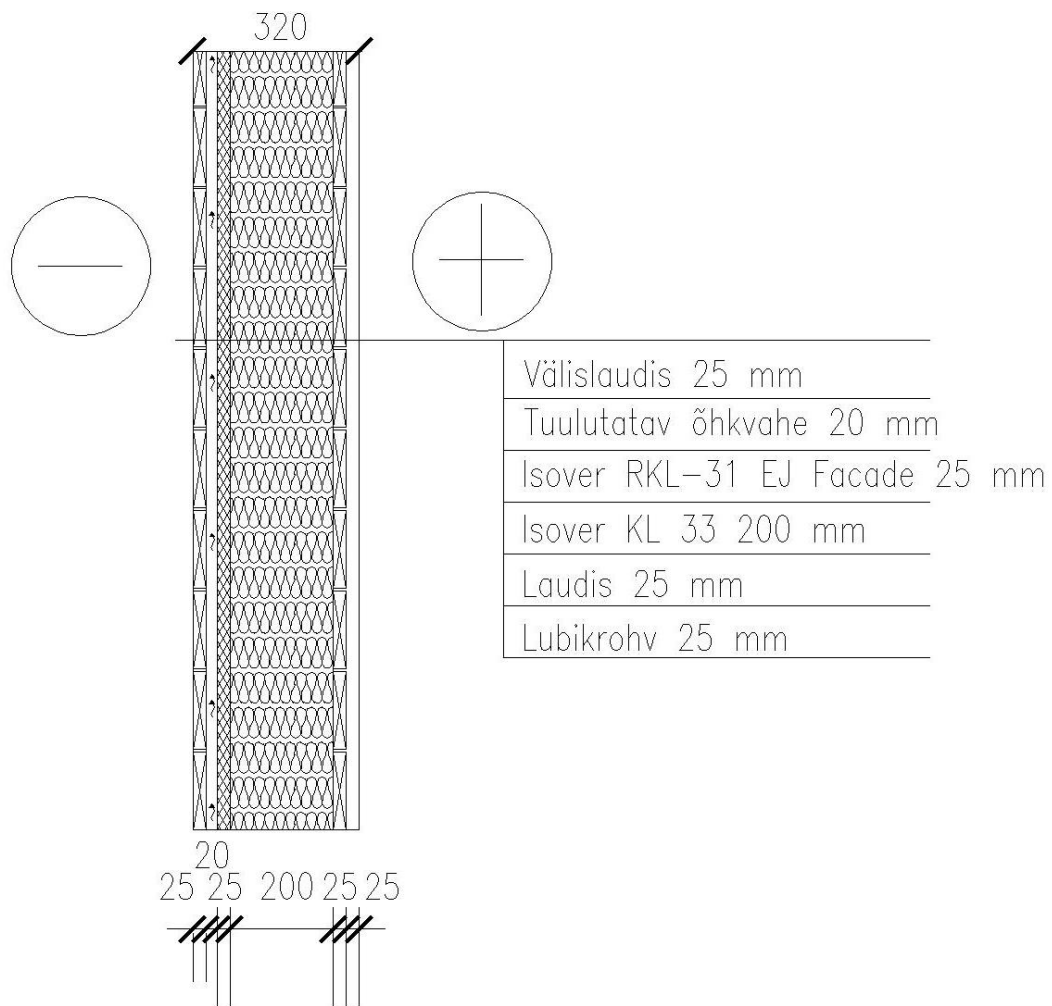
118

Välitemperatuur	-10° C
Sisetemperatuur	20° C

Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2





Joonis L6.5. Katuseviil-seina paranduslahendus

Lisa 6.4 Katuseviil-seina paranduslahenduse soojustakistus ja temperatuuri gradient, niiskusarvutused

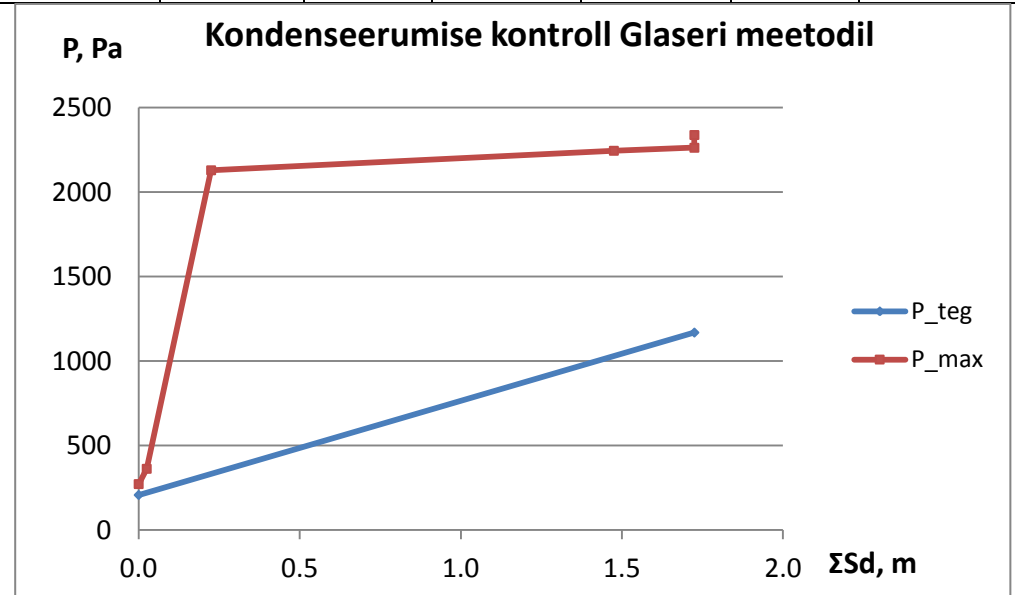
Tarindi osa	d, m	λ , W/(mK)	R, m ² K/W	%R	Δt	t, °C	μ	S _d	P _{teg} , Pa	P _{max} , Pa	ΣS_d , m
						-10.00				260	
Välispind			0.13	1.8	0.53	-9.47			208	272	0.00
Isover RKL-31 EJ Facade	0.025	0.031	0.81	10.9	3.28	-6.19	1	0.03		363	0.03
Isover KL 33	0.200	0.033	6.06	82.3	24.68	18.49	1	0.20		2129	0.23
Laudis	0.025	0.12	0.21	2.8	0.85	19.34	50	1.25		2245	1.48
Lubikrohv	0.025	0.8	0.03	0.4	0.13	19.47	10	0.25		2263	1.73
Sisepind			0.13	1.8	0.53	20.00		1.73	1169	2338	1.73

R, m²K/W 7.37 100
 U, W/(m²K) 0.14

Välistemperatuur	
	-10° C
Sisetemperatuur	
	20° C

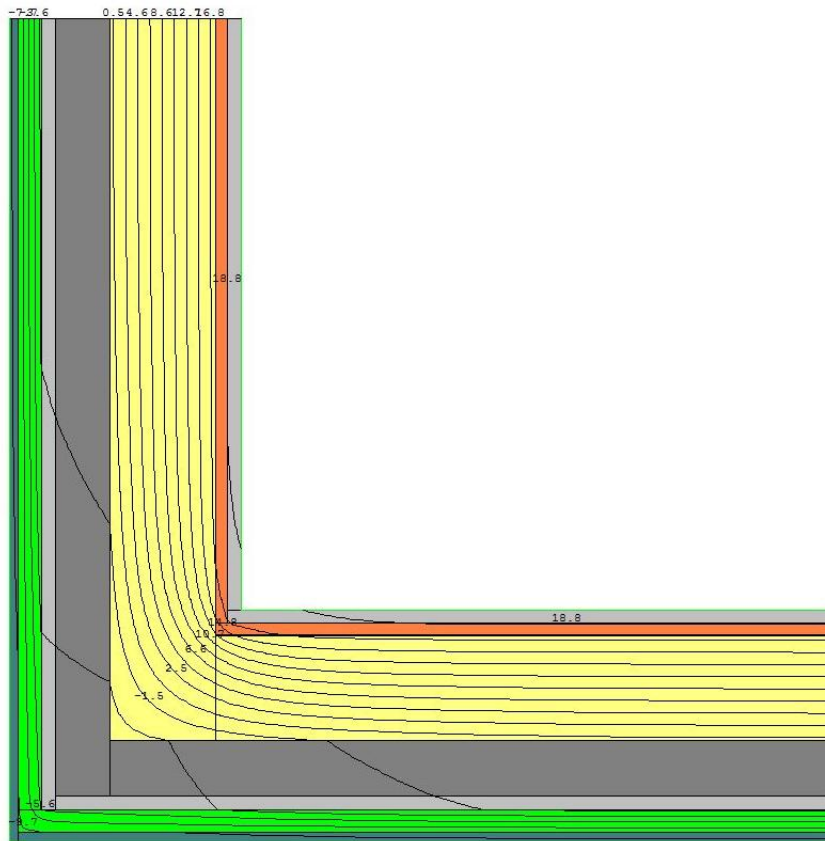
Veeauru osarõhud vastavatel temperatuuridel sees ja väljas, Pa

	sees	väljas	vahe
Veeauru max osarõhk	2338.2	259.9	
Suhteline õhuniiskus	50.0	80.0	
Tegelik veeauru osarõhk	1169.1	207.9	961.2

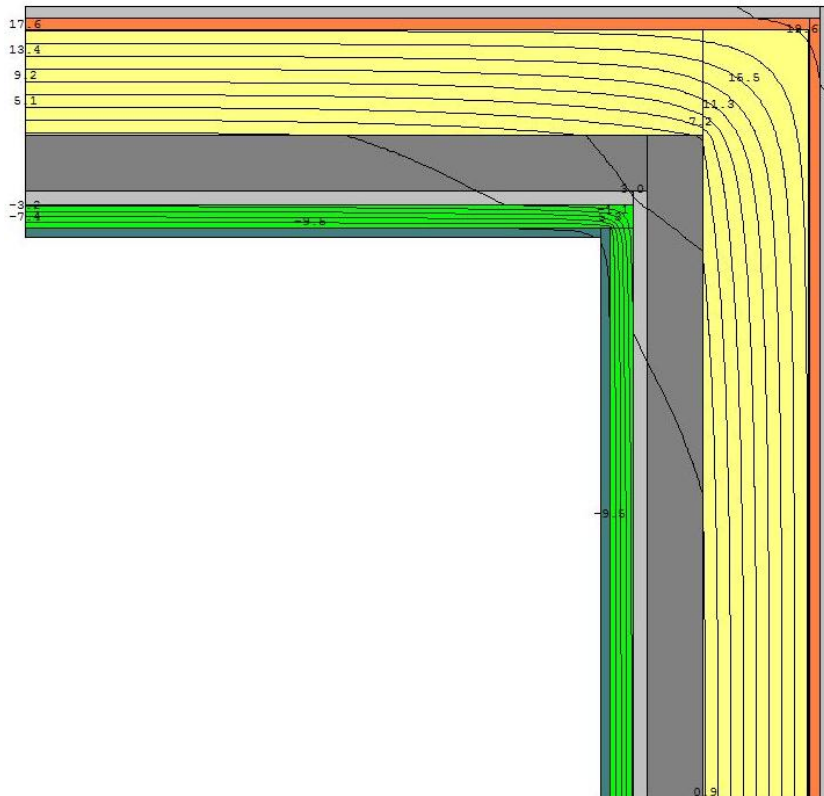


Tabel L6.1. Külmasildade lisakonduktantside arvutustabel paranduslahenduste puhul

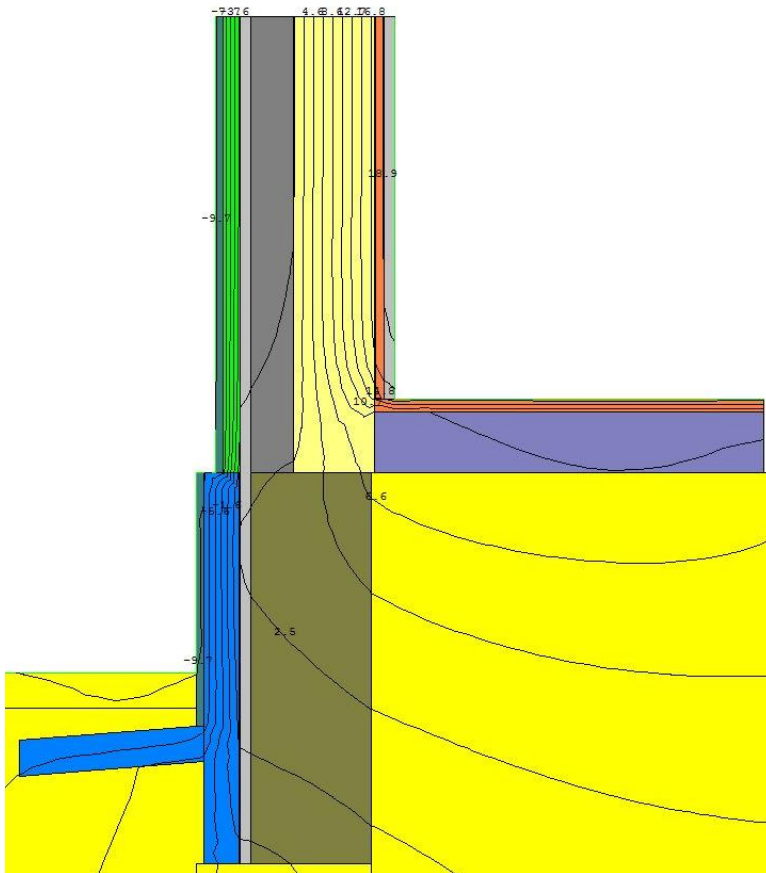
Nr.	Külmasild	L_{2D}	U_{11D}	l_1	U_{21D}	l_2	ψ
		$W/(m \cdot K)$	$W/(m^2 \cdot K)$	m	$W/(m^2 \cdot K)$	m	
1	Harju sein, välisnurk	0,59	0,20	1,29	0,20	1,29	0,07
2	Harju sein, sisenurk	0,57	0,20	1,72	0,20	1,75	-0,13
3	Sokkel	1,00	0,20	1,08	0,32	1,00	0,46
4	Harju sein+ I korruse vahelagi	0,63	0,20	1,30	0,31	1,00	0,06
5	Puitkarkass-sein+ II korruse vahelagi	0,43	0,21	1,21	0,1	1,00	0,07
6	Harju sein+ puitkarkass-sein+ I korruse vahelagi	0,53	$U_{31D} = 0,32$ $W/(m^2 \cdot K)$		$l_3 = 2,13$ m		-0,63
7	Puitkarkass-sein, välisnurk		0,49	0,21	1,00	0,21	
8	Katuseviil-sein+ katuslagi	0,52	0,32	1,00	0,14	1,05	0,05
9	Puitkarkass-sein+ katuslagi	0,57	0,32	1,00	0,21	1,00	0,04
10	Harju sein+ I korruse vahelagi+ II korruse sein	0,53	$U_{31D} = 0,32$ $W/(m^2 \cdot K)$		$l_3 = 1,02$ m		-0,27
11	Katuslagi+ II korruse vahelagi		0,73	0,32	1,20	0,1	
	Aknad	1,80	0,20	1,00	2,70	0,45	0,38
	Välisuks	1,18	0,20	1,73	1,50	0,40	0,23



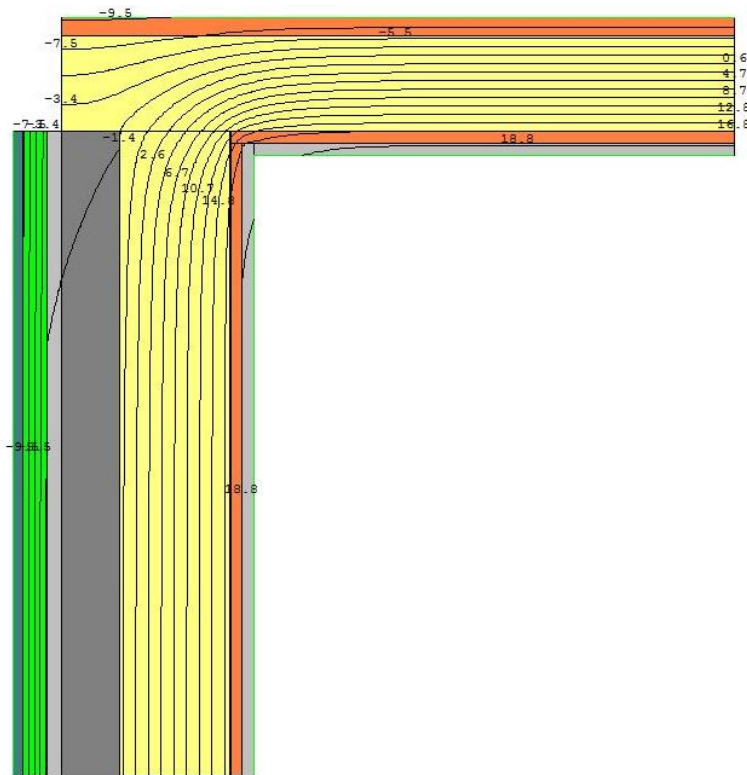
Joonis L6.6. Harju seina parandatud välisnurga külmasild nr. 1



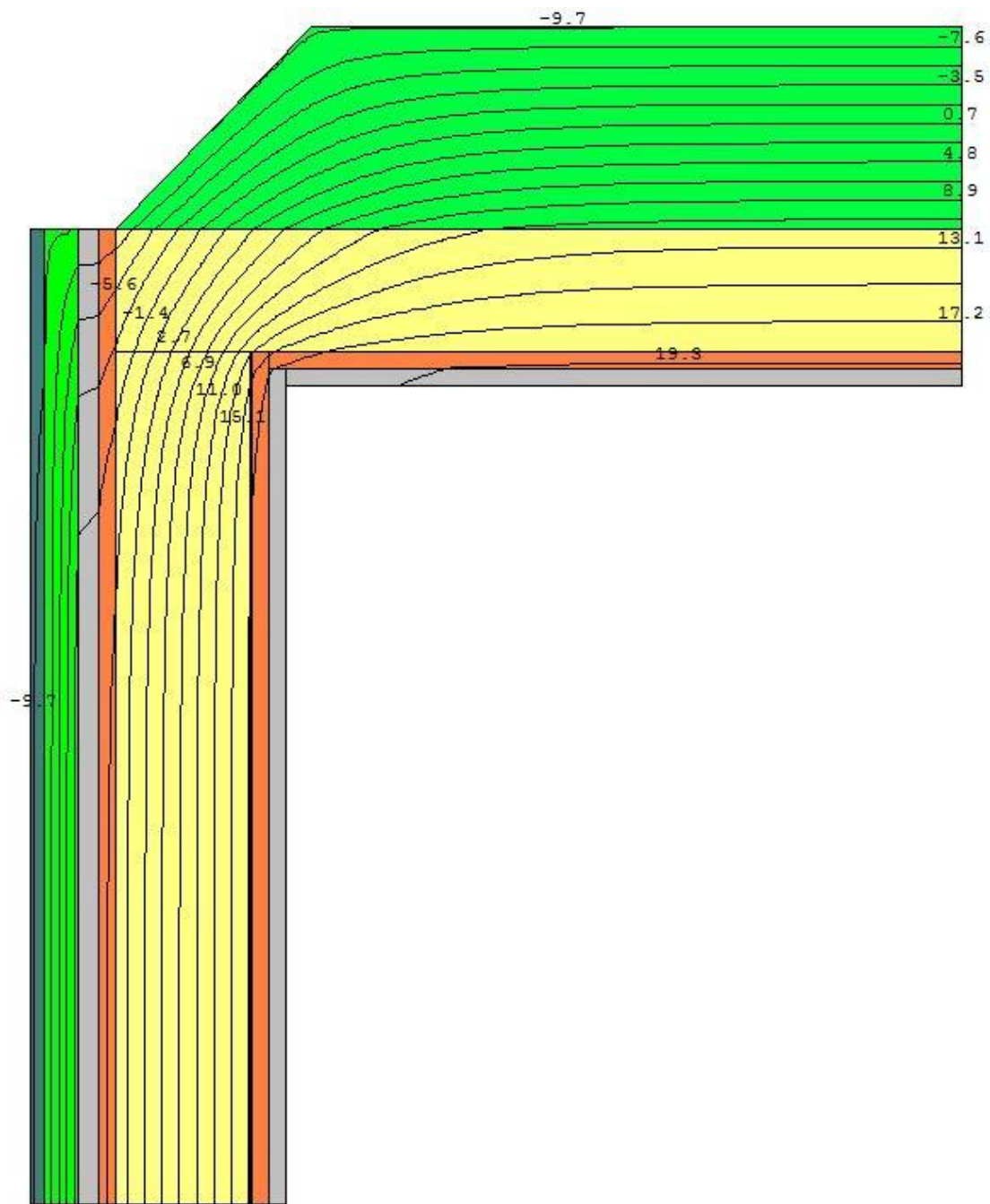
Joonis L6.7. Harju seina parandatud sisenurga külmasild nr. 2



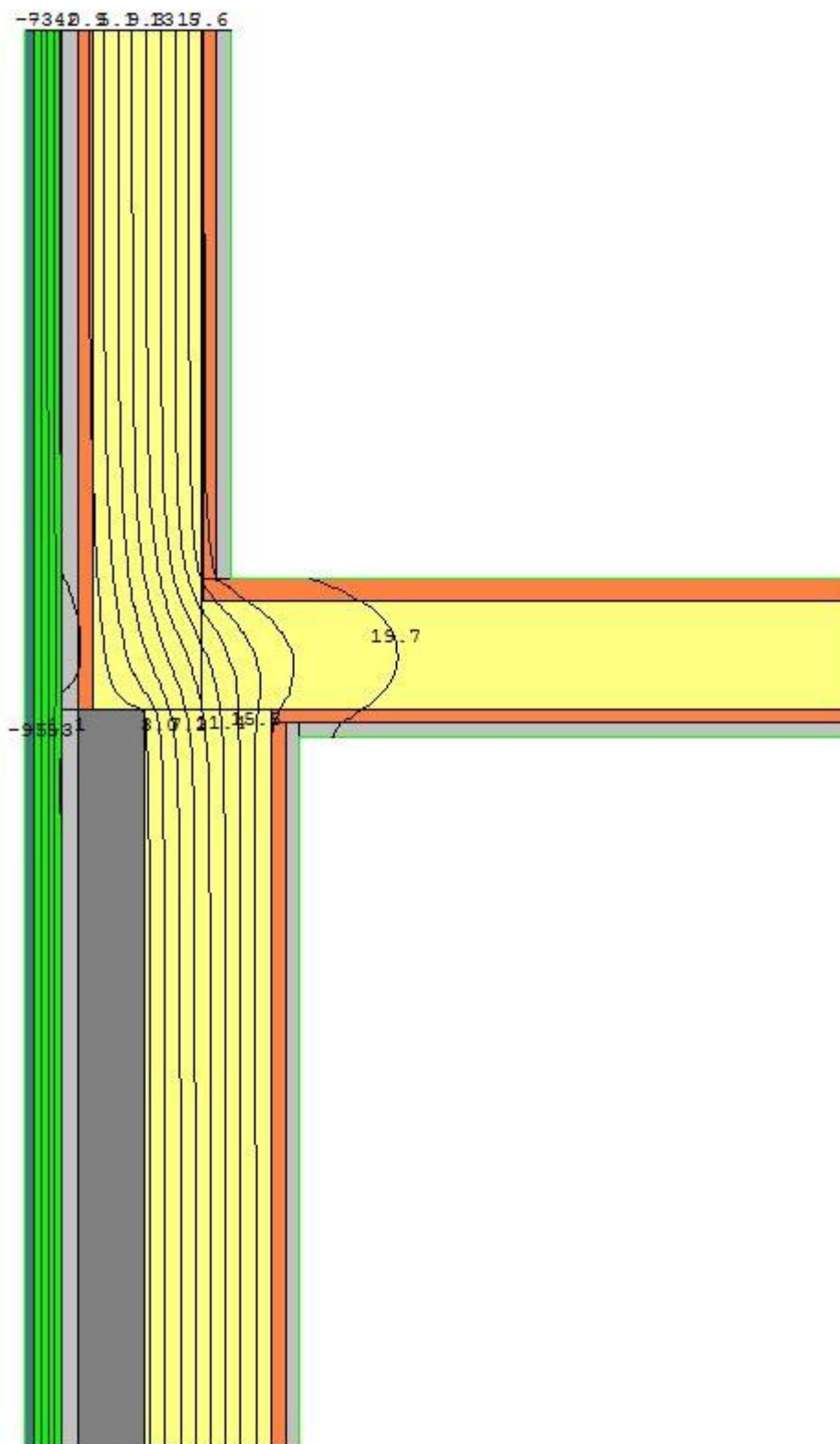
Joonis L6.8. Sokli paranduslahendusega külmasild nr. 3



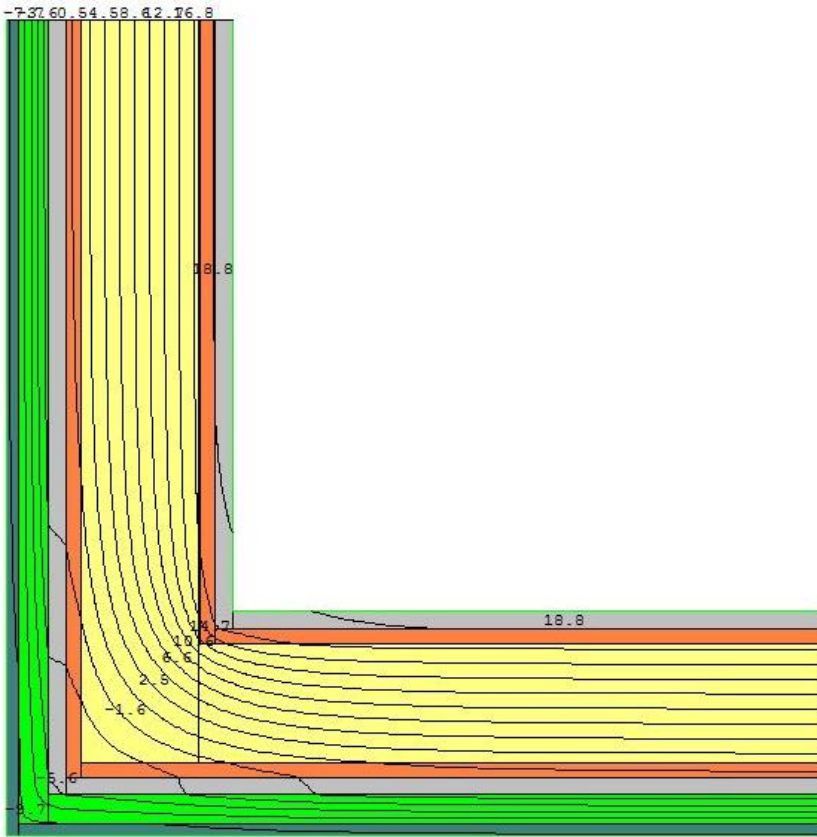
Joonis L6.9. Paranduslahendusega harju seina ja I korruse vahelae külmasild nr. 4



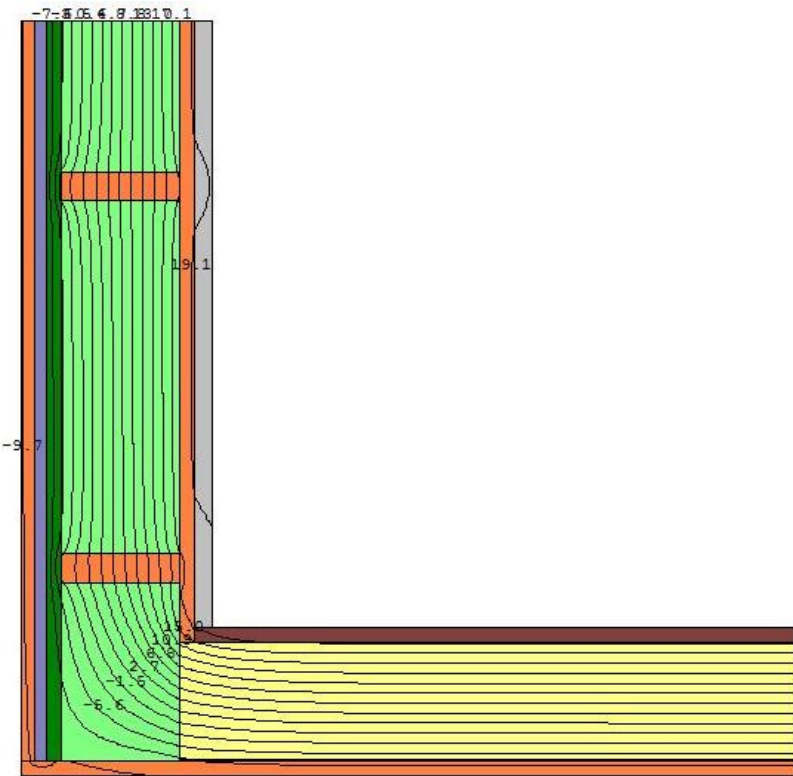
Joonis L6.10. Paranduslahendustega puitkarkass sein ja II korruse vahelae külmasild nr. 5



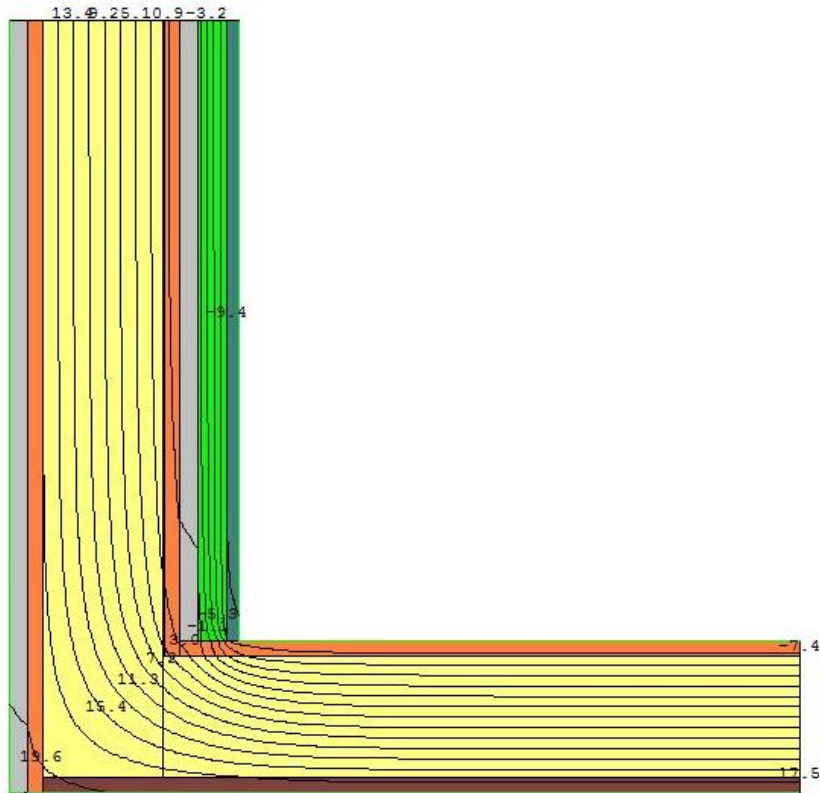
Joonis L6.11. Harju seinä üleminek puitkarkass-seinaks, paranduslahendusega külmasild nr. 6



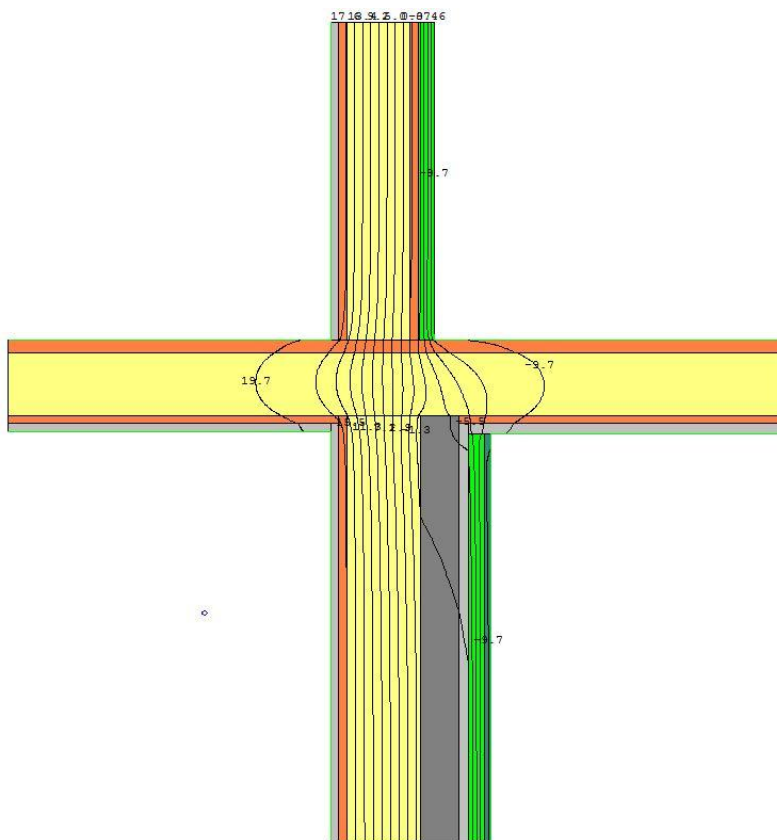
Joonis L6.12. Paranduslahendusega puitkarkass-seina välisnurga külmasild nr. 7



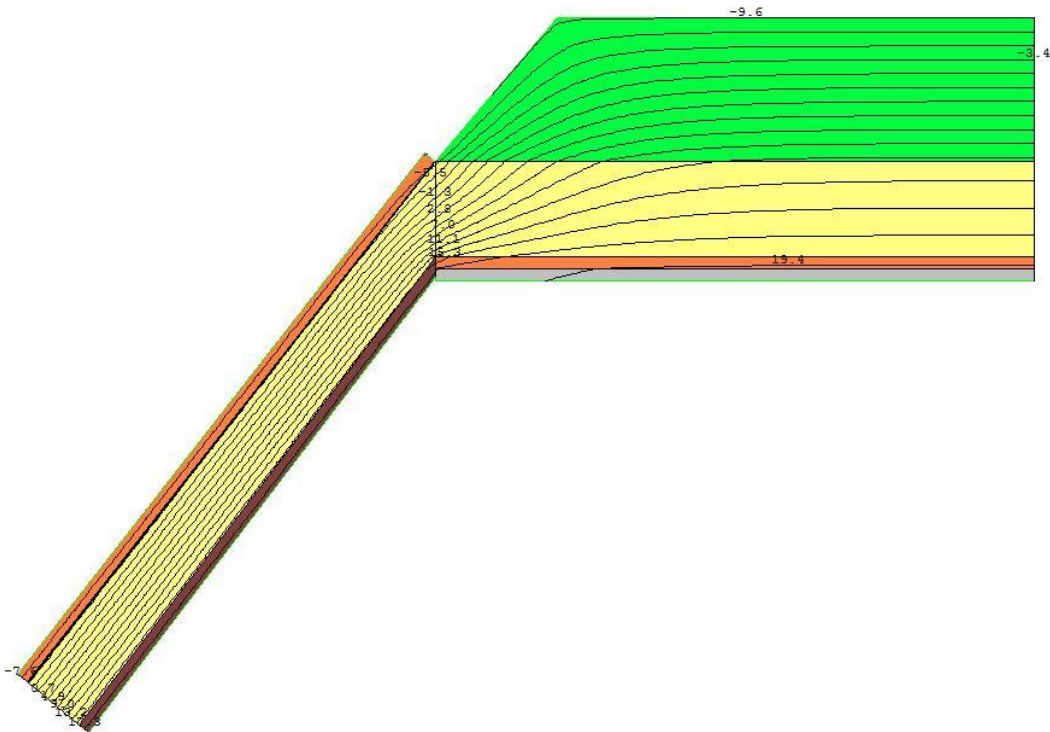
Joonis L6.13. Paranduslahendusega katuseviil-seina ja katuslae külmasild nr. 8



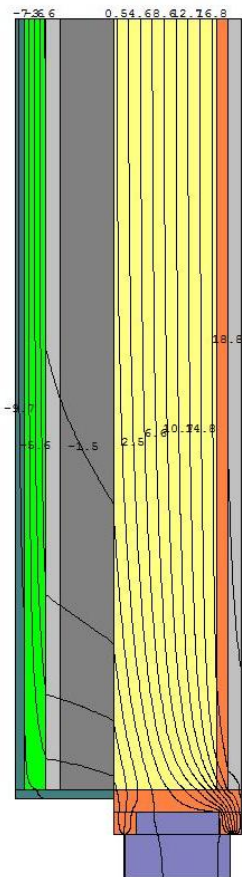
Joonis L6.14. Paranduslahendusega puitkarkass-seina ja katuslae külmasild nr. 9



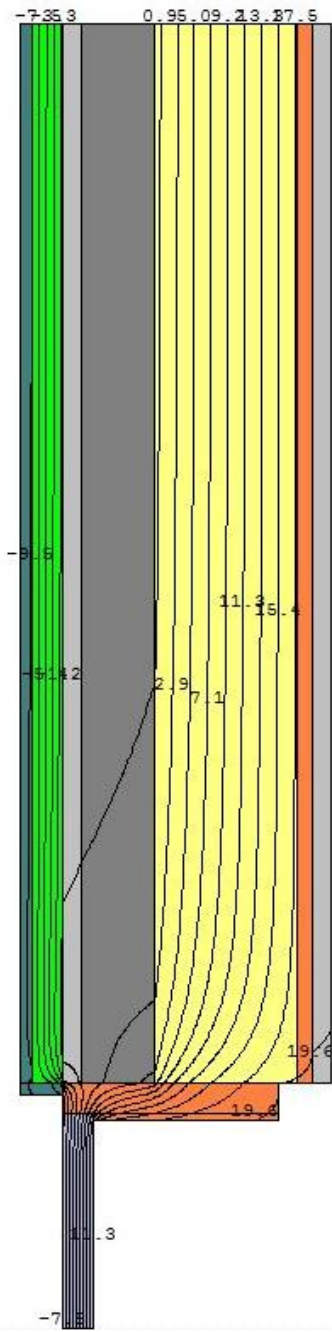
Joonis L6.15. Paranduslahendustega harju sein, I korruse vahelae, puitkarkass-seina külmasild nr. 10



Joonis L6.16. Paranduslahendusega II korruse vahelae ja katuslae külmasild nr. 11



Joonis L6.17. Akna seinakinnitus paranduslahendusega harju seinale



Joonis L6.18. Ukse seinakinnitus paranduslahendusega harju seinale