



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

SÄÄSTVA TEHNOLOOGIA ÕPPETOOL

MILJÖÖVÄÄRTUSLIKUL ALAL PAIKNEVA
TEISE MAAILMASÕJA JÄRGSE STALINISTLIKU KORTERELAMU
FASSAADI REKONSTRUEERIMISVÕIMALUSED
HOONE PUIESTEE 81, TARTU NÄITEL

*THE POSSIBLE SOLUTIONS TO RECONSTRUCT THE FAÇADE OF
A POST-WW II BRICK APARTMENT BUILDING PUIESTEE 81, TARTU
IN AN AREA OF CULTURAL AND HISTORIC VALUE*

EAEI02/09Tartu

Magistritöö

Tööstus- ja tsiviilehitus spetsialiseerumisega ehitiste restaureerimine

Üliõpilane: Liisbet Orav _____

Juhendaja: Gerli Alasoo _____

Kaasjuhendaja: 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

Orav, L. The possible solutions to reconstruct the façade of a post-WW II brick apartment building Puiestee 81, Tartu in an area of cultural and historic value. Master's thesis, one volume. Volume: textual components, Tartu, 2014, 54 pages, 6 illustrations, 13 tables, 10 architectural graphs on A4 and A3 paper, in Estonian.

The aim of this paper is to find the thermal conductivity and resulting heat loss through the building envelope in initial situation and propose possible options for the reconstruction of the façade to improve energy efficiency. By analyzing the possible solutions achieved through savings on heating costs, also taking into account the cost of the measures, the work aims to find the optimal solution for the reconstruction.

Among the proposed options, the solution involving the reconstruction of the external walls without additional insulation and installation of insulation to the attic floor and basement ceilings proved to be most economically efficient.

In addition to the economic aspect of the solution it is the most suitable compared to other options taking into account the cultural heritage preservation principle as the façade of the building is restored and preserved as closely to original as possible, the original parts not being destroyed or covered up.

Keywords: brick apartment building, thermal conductivity, thermal bridge, reconstruction of brick façade, cost-efficiency of reconstruction, area of cultural and historic value.

SISUKORD

ABSTRACT	2
SISUKORD	3
GRAAFILINE OSA	5
SISSEJUHATUS	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	8
1.1. Muinsuskaitsealuste ja miljööväärtuslike hoonete rekonstrueerimine	8
1.2. Telliselamute lisasoojustamine	8
2. METOODIKA.....	10
3. AJALOOLINE ÜLEVAADE.....	11
3.1. Stalinistliku klassitsismi kujunemine arhitektuuris, stiili põhimõtted ja eripära	11
3.2. Hoone Puiestee 81, Tartu hetkeseis ning ajalooline ülevaade.....	12
3.2.1. Hoone paiknemine ning üldandmed	12
3.2.2. Hoone ajalooline ülevaade	13
4. VÕIMALIKUD REKONSTRUEERIMISLAHENDUSED	15
4.1. Fassaadi soojustamine mineraalvillaga.....	16
4.2. Fassaadi soojustamine vahtpolüstüreeniga EPS.....	16
4.2.1. Fassaadil 50 mm vahtpolüstüreen EPS60 SILVER	17
4.2.2. Fassaadil 150 mm vahtpolüstüreen EPS60 SILVER.....	17
4.3. Fassaadi soojustamine 50mm vahtpolüuretaaniga SPU P	18
4.4. Seespidine soojustamine	18
4.5. Fassaadi korrastamine ilma lisasoojustuseta ning pööningu ja keldri vahelagede soojustamine.....	20
5. VÄLISPIIRETE SOOJUSJUHTIVUS.....	21
5.1. Homogeense piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusmetoodika	21
5.1.1. Olemasoleva välisseina soojusjuhtivus	22
5.1.2. Lisasoojustusega välisseina soojusjuhtivus	23
5.1.3. Pööningu vahelae soojusjuhtivus.....	24
5.2. Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutusmetoodika	24
5.2.1. Kaupluseruumide põranda soojusjuhtivus	25
5.3. Kütmata keldri kohal asuva põranda soojusjuhtivuse arvutusmetoodika	26

5.3.1.	Olemasoleva I korruse keldriga põrandaosa soojusjuhtivus.....	28
5.3.2.	Soojustatud I korruse keldriga põrandaosa soojusjuhtivus	29
5.4.	Avatäidete soojusjuhtivus.....	30
6.	KÜLMASILLAD.....	31
6.1.	Termograafia.....	31
6.2.	Külmasildade arvutamise meetodika programmiga THERM 7.2.....	32
6.3.	Joonkülmasildade lisajuhtivused	34
6.4.	Välispiirete summaarne soojuserikadu	35
7.	SOOJAKULUDE VÕRDLUS	41
8.	REKONSTRUEERIMISLAHENDUSTE MAKSUMUS	42
8.1.	Rekonstrueerimislahenduste maksumuse hindamine	42
8.2.	Rekonstrueerimislahenduste tasuvusaeg.....	44
9.	TULEMUSED.....	46
9.1.	Välispiirete soojusjuhtivus	46
9.2.	Soojuskaod läbi välispiirete	46
9.3.	Rekonstrueerimislahenduste maksumus	47
9.4.	Rekonstrueerimislahenduste tasuvusaeg.....	47
10.	ARUTELU	48
	KOKKUVÕTE	52
	KIRJANDUS.....	53
	LISAD	55
	Lisa 1. Pildid Puiestee 81 olemasolevast olukorrast.....	56
	Lisa 2. Homogeensete piirdetarindite soojusjuhtivused	67
L2.1	Telliskivist massiivse kakskiviseina soojusjuhtivus, variant 1: soojustus 50mm EPS SILVER.....	67
L2.2	Telliskivist massiivse kakskiviseina soojusjuhtivus, variant 2: soojustus 150mm EPS SILVER	68
L2.3	Telliskivist massiivse kakskiviseina soojusjuhtivus, variant 3: soojustus 50mm SPU P.....	69
L2.4	Olemasoleva pööningu vahelae soojusjuhtivus	70
L2.5	Soojustatud pööningu vahelae soojusjuhtivus	71
	Lisa 3. Külmasildade arvutuse abitabelid.....	73
L3.1	THERM külmasildade arvutused: välissein-välissein	73

L3.2 THERM külmasildade arvutused: välissein-välissein sisenurk.....	77
L3.3 THERM külmasildade arvutused: välissein-pööningu vahelagi.....	81
L3.4 THERM külmasildade arvutused: välissein-vahelagi.....	86
L3.5 THERM külmasildade arvutused: välissein-pinnasel põrand.....	90
L3.6 THERM külmasildade arvutused: välissein-keldri lagi.....	94
Lisa 4. Rekonstrueerimislahenduste maksumustabelid.....	99
L4.1 Fassaadi soojustamise ja rekonstrueerimise maksumus – EPS60 SILVER 50 mm.....	99
L4.2 Fassaadi soojustamise ja rekonstrueerimise maksumus – EPS60 SILVER 150 mm.....	100
L4.3 Fassaadi soojustamise ja rekonstrueerimise maksumus – SPU P 50 mm.....	101
L4.4 Fassaadi korrastamise maksumus koos pööningu ja keldri vahelagede soojustamisega.....	102
Lisa 5. Piirde niiskusrežiimi arvutusmetoodika	103

GRAAFILINE OSA

- Joonis 1. Keldrikorruse plaan
- Joonis 2. I korruse plaan
- Joonis 3. II korruse plaan
- Joonis 4. III korruse plaan
- Joonis 5. Pööningukorruse plaan
- Joonis 6. Lõige A-A
- Joonis 7. Vaade kirdest
- Joonis 8. Vaade kagust
- Joonis 9. Vaade edelast
- Joonis 10. Vaade loodest

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös käsitletakse miljööväärtuslikus piirkonnas asuva telliskorterelamu erinevaid fassaadi rekonstrueerimislahendusi, nende energiatõhusust ning maksumust. Elamu asub Tartu linnas aadressil Puiestee 81. Tegemist on kolmekorruselise madala kelpkatuse ning suuremas osas kellerdatud hoonega. Hoone on L-kujulise põhiplaaniga, suletud netopinnaga 2117,8 m².

Töö Tellijaks on Puiestee 81 korteriühistu, kes soovib rekonstrueerida hoone fassaadi ning leida selleks võimalikult optimaalne ning pikas perspektiivis ehitise kasutuskulusid vähendav lahendus.

Hoonel on aastal 2008 vahetatud katus ning seetõttu oli Tellija sooviks leida lahendus, millega ei kaasneks vajadust katuse räästakonstruktsioone muuta. Samuti oli kriteeriumiks see, et lahendus oleks ühistu poolt teostatav ja puudutaks majaelanike eraomandit minimaalselt. Seetõttu keskendub ka käesolev töö just erinevatele võimalikele välisseinte rekonstrueerimislahendustele ning jätab käsitlemata teised hoone energiatõhusust ning ekspluatatsioonikulud mõjutavad tegurid – kütte- ja ventilatsioonisüsteem, elanike tarbimiskäitumine jms.

Puiestee 81 puhul on tegemist miljööväärtuslikus piirkonnas asuva arhitektuuriselt stalinistlikku klassitsismi esindava ehitisega. Stiilile omaselt ilmestavad fassaadi muuhulgas karniisid, nurgarustika ning stukkdetailid, mis muudavad välisseinte rekonstrueerimise keerulisemaks ja kulukamaks kui teistel sama tüüpi, kuid lakoonilisema fassaadilahendusega hoonetel. Tegemist on olulise otsusega, mis toob elanikele kaasa märgatavaid kulutusi ning seepärast soovis Tellija põhjalikumat analüüsi võimalike lahenduste tasuvuse kohta.

Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada soojakaod läbi hoone välispiirete algolukorras ja pakkuda välja võimalikud variandid fassaadi rekonstrueerimiseks ning energiatõhususe parandamiseks. Analüüsides võimalike lahenduste abil saavutatavat kokkuhoidu küttekuludelt, sealjuures arvesse võttes vastavate meetmete maksumust, on töö eesmärgiks leida optimaalseim rekonstrueerimislahendus.

Töö esimeses osas antakse lühiülevaade ehitus- ja rekonstrueerimistegevuse eripäradest ja piirangutest miljööväärtuslikes piirkondades ning samuti telliselamute lisasoojustamisega seonduvatest põhiprobleemidest.

Töö teine osa annab ülevaate meetodikatest ning juhenditest, millest lähtutakse arvutuste läbiviimisel, samuti kasutatud arvutiprogrammidest.

Töö kolmandas osas tutvustatakse käsitletavat ehitist, kirjeldatakse hetkeolukorda ning antakse lühiülevaade hoone ajaloost.

Töö neljas osa esitab võimalikud rekonstrueerimislahendused ning hindab nende sobivust antud töö eesmärkidega.

Töö viiendas osas tutvustatakse piirete soojusjuhtivuse arvutuspehimoitteid vastavalt kehtivatele standarditele ning leitakse välispiirete soojusjuhtivused nii lisasoojustusega kui lisasoojustuseta fassaadi puhul.

Töö kuues osa keskendub ehitise külmasildade kindlaks tegemisele ning viimastest põhjustatud energiakadude määramisele. Peatüki raames tutvustatakse erinevaid võimalusi külmasildade kriitilisuse hindamiseks ning tutvustatakse arvutusmetoodikaid lisajuhtivuse väärtuste leidmiseks.

Töö seitsmendas osas leitakse hoone soojakaod köetava pinna ruutmeetri kohta.

Töö kaheksandas osas hinnatakse erinevate rekonstrueerimisvariantide maksumust ja leitakse tasuvusajad.

Töö üheksandas osas tuuakse välja selgunud tulemused.

Töö kümnes osas analüüsitakse tulemusi, hinnatakse erinevate rekonstrueerimislahenduste tasuvust ja optimaalsust nii majanduslikust kui ajaloolise kultuuripärandi säilitamise seisukohast.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Muinsuskaitsealuste ja miljööväärtuslike hoonete rekonstrueerimine

Muinsuskaitsealuste ja miljööväärtuslike kivihoonete näol on tegemist unikaalsete ehitistega – iga hoone rekonstrueerimise ja energiatõhusamaks muutmise puhul tuleb arvestada konkreetse hoone omapära ja välja töötada just sellele hoonele sobivad lahendused. Kaitsealuste ja miljööväärtuslike hoonete rekonstrueerimine eeldab võrreldes tavaliste ehitiste rekonstrueerimisega oluliselt põhjalikumaid eeluuringuid, pädevamat ja vastavate kogemustega projekteerijat, ehitajat ning omanikujäreelvalvet. [1]

„Miljööväärtuslikul hoonestusalal ei tohi ehitustegevus minna vastuollu algsete hoonestus- ja ehitustavadega (hoonete ja kinnistute suurus, tänavate ja hoovide kattematerjal, ehitusjoon, hoonete korruselisus, paigutus ja mastaap, traditsioonilised viimistlusmaterjalid, välimiste avatäidete ja fassaadidetailide kujundus, haljastustavad, krundi tänavapoolsed piirded jms). Soodustada tuleb hoonestusala terviklikkuse säilimist ja taastamist.“ [2]

Muinsuskaitsealuste ja miljööväärtuslike kivihoonete keskmine energiatõhususnäitaja (kaalutud energiaerikasutus) on ligikaudu 15 % suurem kui Tartu hoonete keskmine näitaja. [1]

Ehitusseaduse §3 alusel ei ole energiatõhususe miinimumnõuete järgimine nõutav muuhulgas üld- või detailplaneeringu alusel miljööväärtuslikule hoonestusalale jäävad või väärtusliku üksikobjektina määratletud hoonete rekonstrueerimisel. [3]

1.2. Telliselaamute lisasoojustamine

„Telliselaamute välisseinte suure soojusjuhtivuse ja seinas paiknevate külmasildade tõttu võib välisseinte lisasoojustamist pidada möödapääsmatuks (kui pole tegemist kultuuriväärtusliku objektiga või hoonega, mis asub miljööväärtuslikus piirkonnas) ohutu ja tervisliku sisekliima nõudeid ning energiasäästu vajadust arvestades.

Lisasoostamise käigus saab ka olemasolev välisvooder kaitstud edasise lagunemise eest.“ [4]

„Võrreldes välisseinte lisasoostuse liitsüsteemi (krohvitud soostus) niiskustehnilist toimivust tuulutusvahega varustatud fassaadiga lisasoostuse lahendusega on viimane niiskustehniliselt turvalisem lahendus. Tuulutusvahega varustatud fassaadi korral on välissein kaldvihma eest paremini kaitstud. Lisasoostuse liitsüsteemi (krohvitud soostus) korral peab kaitse kaldvihma eest tagama krohvikihht. Krohvi pinnal tekib kiiresti allavalguv veekiht, mis leides ebatihedused krohvis või tarindi liitekohtades, valgub seinale ja põhjustab hulganisti niiskusprobleeme. Detailide ja liitekohtade läbimõeldud projekteerimine ning hoolikas teostus on äärmiselt olulised.“ [4]

„Külmasildade likvideerimiseks piisab üldjuhul 50–70 mm paksusest välisest lisasoostusest. Samas ei ole nii väike soostuse paksus majanduslikult otstarbekas. Soostuse paksuse osakaal kogu lisasoostuse hinnas (viimistlus, tellingud, töö jne.) on väike võrreldes paksemast soostusest saadava energiasäästuga. Seetõttu tuleb lisasoostamisel lähtuda elamu energiatõhususe arvutuste tulemustest.“[4]

„Lisasoostamine muudab kütte- ja ventilatsioonisüsteemi toimimist. Koos hoonepiirete lisasoostamisega tuleb renoveerida ka kütte- ja ventilatsioonisüsteemid. Soojuse läbi seinte liikumise vähenemine iseenesest ei mõjuta õhuvahetuse toimivust. Kuna lisasoostamine muudab piirdetarindid tavaliselt õhupidavamaks, vähendab see läbi tarindi kulgevat õhu ja niiskuse infiltratsiooni ning suurendab siseruumide niiskuskoormust. Loomuliku ja mehaanilise väljatõmbe ventilatsiooni korral võib tekkida vajadus lisada värske õhu klappe.“ [4]

2. METOODIKA

Käesolevas magistritöös lähtutakse arvutuste teostamisel järgnevatest standarditest, normidest ja õigusaktidest: EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire [5], EVS-EN ISO13370:2008 Hoonete soojuslik toimivus. Soojusülekanne pinnasesse. Arvutusmeetodid [6], Vabariigi Valitsuse määrus nr 68 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ [7], EVS-EN ISO 10211:2008 Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid [8], Ehitusseadus [3].

Käesolevas töös vajalikud külmasildade lisajuhtivused leitakse kasutades külmasildade joonsoojusjuhtivuse ja temperatuurivälja arvutustarkvara LBNL THERM 7.2.

Töö raames vajalikud joonised tehakse joonestusprogrammides AutoCAD Revit 2012 ja AutoCAD LT 2012 ning arvutused tarkvaraga MathCad 15 ning MS Office Excel.

3. AJALOOLINE ÜLEVAADE

3.1. Stalinistliku klassitsismi kujunemine arhitektuuris, stiili põhimõtted ja eripära

Stalinism tähistab 1930. aastate Nõukogude Liidus kõigil kunstialadel, eriti aga arhitektuuris kehtestatud stiilisuunda, mis lähtub klassitsistliku arhitektuuri vormist ja detailidest, kombineerides neid rahvuslike elementidega. Eriti oluliseks pärast laastavat sõda kujunes sümboolselt uue riigi ülesehitamist tähistav linnaplaneerimine – tööliste oli vaja elamuid, mahapommitatud hoonete asemele uusi. [9]

Eestis on suhtumine stalinistlikesse ehitistesse vastuoluline. Ühelt poolt on tegu tänavapildis ühe kõige suurlinlikuma ja esinduslikuma arhitektuurikihistusega, teisalt aga tekitavad nii majade välisilme kui ka kõrged toad ning pikad koridorid siinses kontekstis mitmel põhjusel võõristust. Esiteks põhinevad hooned esteetilises mõttes täiesti teisel maitsekoolil, mis erineb tugevasti Eesti varasemast elamuehituse traditsioonist. Teiseks hoonete rajamise majanduslik taust: ehitati need ju väga vaesel sõjajärgsel ajal, mil isegi esmatarbekaupu ja toiduaineid oli keeruline hankida ning rohkete kaunistustega pompöösne arhitektuur näis selle taustal tarbetu priiskamisena. Kolmandaks võib välja tuua sotsiaalsed probleemid: valdav osa sõjajärgsel kümnendil püstitatud hoonetest olid mõeldud peamiselt Venemaalt sisse rännanud tööliste ning suure osa tolle perioodi korterelamute elanikest moodustasidki muukeelsed inimesed.

Olles valminud stalinistlike repressioonide ja normaalselt toimunud Eesti kultuuri süstemaatilise hävitamise perioodil, mõjusid need optimistlikult uut ühiskonnakorda ülistavad ehitised paratamatult võltsina. Aja jooksul on aga stalinistlikud hooned omaks võetud ning kujunenud mitmekihilise linnaarhitektuuri üheks loomulikuks osaks. [10]

Stalinistlik klassitsism lähtub klassitsistliku arhitektuuri vormist ja detailidest, kombineerides neid rahvuslike elementidega. Hoonetele on iseloomulikud räästa- ja soklikarniisid, kolmnurkfrontoonid, väikesed rõdud, rustika kasutamine nii sokliosas kui ehitise nurkades. [10]

3.2. Hoone Puiestee 81, Tartu hetkeseis ning ajalooline ülevaade

3.2.1. Hoone paiknemine ning üldandmed



Joonis 3.1 Hoone paiknemine

Hoone address:	Puiestee 81, Tartu
Ehitisregistri kood:	104031796
Ehitusaasta:	1956
Hoone kasutamise otstarve:	Muu kolme või enama korteriga elamu
Korruste arv:	3
Suletud netopind:	2117,8 m ²
Kõetav pind:	2117,8 m ²
Eluruumide pind:	1594,7
Hoone maht:	9271 m ³
Korterite arv:	27 (sh 2-toalisi 15 kogupinnaga 729,9 m ² , 3-toalisi 10 kogupinnaga 700,2 m ² ja 4- toalisi 2 kogupinnaga 164,6 m ²)
Elanike arv:	58
Keldri olemasolu:	Jah

3.2.2. Hoone ajalooline ülevaade

Puiestee 81 kortermaja on 1956. aastal stalinistliku klassitsismi stiilis ehitatud telliskorterelamu. See on üks hoone kolmest majast koosnevas ansamblis, mis on tänaseni terviklikult säilinud ja suhteliselt heas korras.

Tegemist on Riikliku Projekteerimisinstituudi „Estonprojekt“ tüüpprojektide järgi rajatud sektiioonehitistega. Puiestee 81 ja 77 on projekti ES-33 järgi ehitatud hooned, kusjuures 81 on projekti kauplusega versioon – hoone ühe tiiva esimesel korrusel asusid algselt kaupluseruumid, mis olid kaubanduspinnana kasutusel 2010. aastani. Nüüd asuvad nendes ruumides korterid. Kaupluse juurde kuuluvad laoruumid muudeti elamispinnaks juba 1970. aastate lõpus ning sellega seoses ehitati aknaks ümber õuepoolne laoruumide uks.

Algselt ehitati esinduslik hooneansambel elamuteks Nõukogude Liidu ohvitseridele ning see oli osa Raadil asuvast sõjaväehoonete kompleksist, millest tänaseks on alles jäänud vaid mahajäetud, lagunevad ja lammutamisele kuuluvad hooned. Puiestee tänava ääres on säilinud veel üks hoone kõnealuselt perioodist (Puiestee 73a), mis oli ilmselt kogu kompleksi esinduslikeim ehitist – tegemist oli staabihoonega –, kuid mille fassaad on tänaseks lisasoojustusega kaetud ning arhitektuuriväärtuslikud detailid hävinud.

Teisel pool Puiestee tänavat asuvatel korterelamutel on paremini läinud – kesksel kohal asuv Puiestee 79 hoonel on mõned aastad tagasi fassaad rekonstrueeritud, teised kaks hoonet on üldiselt rahuldavas seisukorras, kui välja arvata mõned lagunened karniisid ja krohvikahjustused seintel.

Puiestee 81 hoone on kolmekorruseline 40° kaldenurgaga kelpkatusega L-kujulise põhiplaaniga tüüpsektiioonelamu. Viimane tähendab seda, et hoone on justkui kokku pandud 3-4 erineva lahendusega sektiioonidest, mis korduvad läbi terve hoone (tualettruumide, köögi, tubade sektiioonid). Hoonel on põhimahus ka keldrikorrus (see puudub vaid kunagiste kaupluseruumide all, vt Graafiline osa Joonis 1. Keldrikorruse plaan).

Välisilmelt on Puiestee tänava hoonetekompleks stalinistliku klassitsismi eeskujulikuks näiteks.

Hoonete soklid on laotud klombitud paekivist ning jäetud viimistlemata. Hoone välisnurki kaunistab krohvrustika (vt Joonis L1.6). Kaupluseruumide avatäiteid ilmestab massiivne ääristus, dekoratiivsed aknaääred on ka kõigil teistel esimese korruse akendel ning trepikodade akendel (Joonis L1.9).

Puiestee 81 hoonel on kolm katusest eenduvat kolmnurkviilu, mida ehivad kaks vaasi kummalgi pool ning kesket ümarakent ääristav pärjakujuline stukkdekoor (Joonis L1.7). Seoses ühe korteri laiendamisega pööningule on üks ümarakendest koos seda ehtinud stukkpärijaga omavoliliselt hävitatud ja ümber ehitatud ümarkaaraknaks (Joonis L1.2). Viilualustel akendel on lisaks krohvääristusele ka konsool allservas, sinna on ette nähtud lillekastid (Joonis L1.9). Kolmanda korruse lillekastiga akende all on ümmargused lillemotiiviga stukkdetailid.

Maja tagaküljel on kahe korruse kõrguselt fassaadist eenduv risaliit, mida liigendavad karniisid ning dekoreeritud poolsambaid kujutavad dekoratsioonid (Joonis L1.14). Keskseks elemendiks on esimese korruse akna kohal olev ehtstalinistlik stukkdetail: viisnurga motiiv, mida kahelt poolt ääristavad lintidesse mähitud viljapeade kimbud. Samasugust detaili leidub samal hoonel veel ühe akna kohal.

Hoone otstes on kolmandal korrusel kaks väikest rõdu. Hoovi pool on trepikodade ülemises osas poolkaare kujulised aknad. Trepikordade uste ümbrus on lahendatud massiivse krohvääristusega ning väikese karniisiga varikatusega.

Hetkel on hoone fassaad rahuldavas seisukorras. Fassaadilt on värv kulunud ning esineb üksikuid mõrasid krohvis. Osaliselt on avatäidete vahetuse käigus lõhutatud akende krohvääristus, kuid põhimahus on fassaadidekoor säilinud ja üpris heas seisukorras.

Kõige kriitilisem on räästakarniisi seisukord, mis on kolmnurkviilude nurkades kohati tõsiselt lagunenu (Joonis L1.17). Põhjuseks on katuse ja viilu ühenduskohas tekkivat neelukohta mööda alla voolav vihmavesi. Väga halvas seisukorras on ka hoone läänepoolses otsas olev rõdu, mis on saanud tugevaid niiskuskahjustusi (Joonis L1.16).

4. VÕIMALIKUD REKONSTRUEERIMISLAHENDUSED

Miljöölal asuvate hoonete puhul on rekonstrueerimise põhieelduseks, et ehitise välisilme jääb originaalilähedaseks ning ei muuda ümbruskonna esteetilist üldmuljet.

Puiestee 81 hoone puhul on välispidise lisasoojustamise vaatenurgast tegemist suhteliselt keerulise fassaadiga. Dekoratiivsete aknaääristuste, räästakarniisi ning üksikute stukkdetailide tõttu ei saa isolatsiooniplaate fassaadile kinnitada ilma eenduvate osade eelneva eemaldamiseta. See omakorda tähendab, et pärast soojustamist tuleb fassaadi esialgne ilme taastada.

Eeldusel, et fassaad valmistatakse soojustamiseks ette nii, et seinale on võimalik kinnitada isolatsiooniplaate, on käesolevas töös võrdluseks valitud kolm võimalikku fassaadi lisasoojustuslahendust.

Kaks neist näevad ette fassaadi lisasoojustamist 50 mm isolatsioonikihiga – esimesel juhul polüuretaanplaat SPU ning teisel juhul vahtpolüstüreen EPS SILVER –, kolmanda variandina on valitud fassaadi isoleerimine 150 mm vahtpolüstüreeniga EPS SILVER. Viimistluseks on kõigil juhtudel krohv.

Lisaks on kaalutud fassaadi soojustamist mineraalvillaga ning seespidist lisaisolatsiooni. Viimase variandina on võrdlusesse lisatud pööningu ja keldri vahelae soojustamine koos fassaadi korrastamisega.

Puiestee 81 hoone vundament ja sokkel on laotud klombitud paekivist. Sokli lisasoojustamisel tuleb originaalilähedase välisilme saavutamiseks olemasolevale soklile külge ehitada tuulutatav fassaadisüsteem (ankurdatud metallkarkass), millele saaks omakorda kinnitada 20-40 mm paksused paekiviplaadid. Kiviplaadi taha tuleb jätta 20...30 mm õhkvahe, mis tähendab, et soklit saab soojustada alates välisseinte lisaisolatsiooni paksusest 50 mm. Põhjuseks see, et välisseinte ja sokli liitumiskoht fassaadil sobiks hoone arhitektuurse üldilmega ning ei tekiks ebasobivat ranti.

4.1. Fassaadi soojustamine mineraalvillaga

Tellishooneid soojustatakse enamasti mineraalvillaga, tavaliselt just kivivillaga. Jäiksid villaplaate saab krohvitud fassaadile kinnitada ilma karkassita ning see muudab paigaldamise kiiremaks ja ökonoomsemaks võrreldes pehme rullvillaga.

Tellishoonetele valitakse mineraalvill võttes arvesse piirdetarindi niiskusrežiimi põhitõde, et tarindi kihtide veeauru läbilaskvus peab suurenema välisõhu poole. See takistab liigse niiskuse sattumist tarindisse ning võimaldab sinna sattunud niiskusel väljapoole aurustuda.

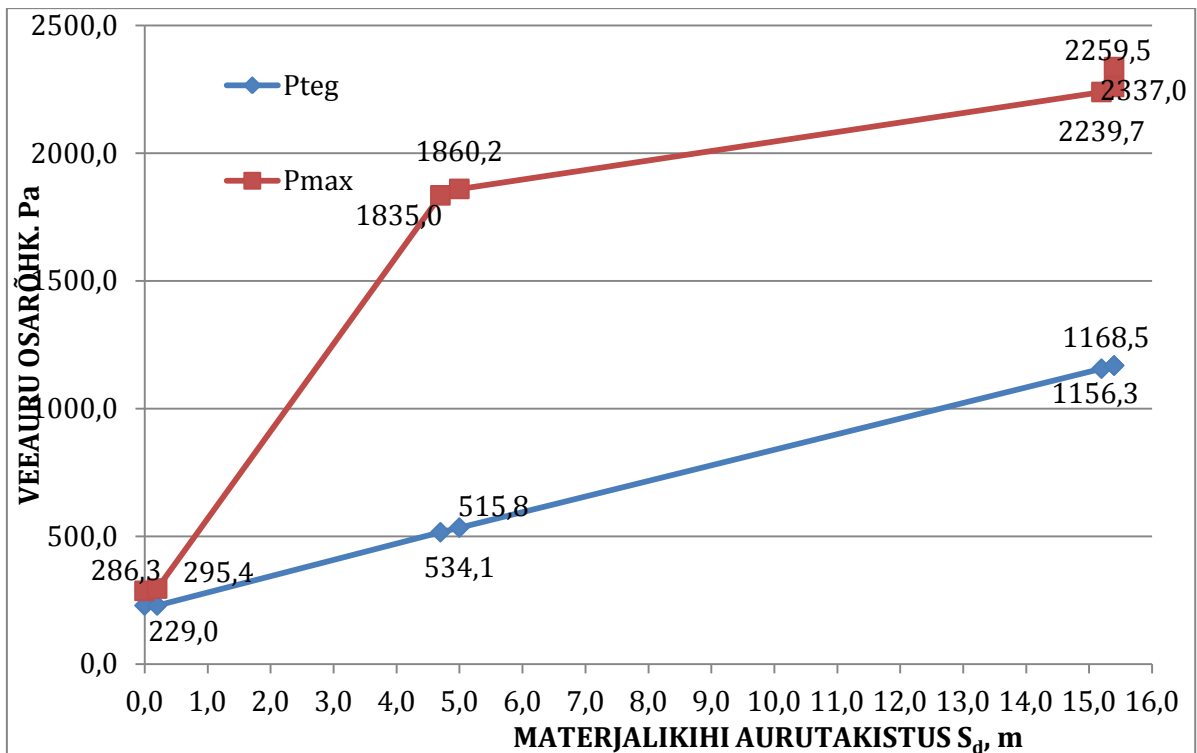
Puiestee 81 hoone fassaadi rekonstrueerimislahenduste valikul on mineraalvill kõrvale jäetud kolmel põhjusel: esiteks majanduslikud kaalutlused, kuna nii materjal ise kui ka selle paigaldus on kallimad kui vahtpolüstüreenil [11], teiseks on mineraalvillaga soojustatud fassaadile keerulisem taastada karniise ning teisi dekoratiivseid elemente [11] ning kolmandaks on uuringud näidanud, et mineraalvillaga ja vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud katseseinte niiskustehniline erinevus on väike samas kui mineraalvillaga lisasoojustatud seinasoojustatuse juhtivus oli ~12% väiksem vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud seinasoojustatuse omast [4].

4.2. Fassaadi soojustamine vahtpolüstüreeniga EPS

Vahtpolüstüreen on väga aurutihe materjal ning seetõttu kasutatakse seda enamasti vaid betoonkonstruktsioonide soojustamiseks, kuna nende materjalide omavaheline auruerijuhtivuste erinevus pole väga suur: betoonil $\delta = 2 \dots 10 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ ja vahtpolüstüreenil $\delta = 1,2 \dots 7 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ [12].

Töös käsitletav hoone on nii seest- kui väljastpoolt krohvitud massiivsete tellis-seintega ehitis, kus vahtpolüstüreen niiskusprobleeme ei tekita (vt Joonis 4.1). Seetõttu võib fassaadi vahtpolüstüreeniga soojustada ning edaspidiseks käsitlemiseks on valitud kaks erinevat varianti välisseinte soojustamiseks EPS plaatidega.

Piirde niiskusrežiimi 150mm vahtpolüstüreenist lisasoojustuse puhul on kontrollitud Glaseri meetodiga vastavalt meetodikale Eesti Ehitusteabe kartoteegis [13]. Arvutusmeetodika ning -tabelid on toodud Lisas 5.



Joonis 4.1 Difusioon piirdes. Veeaur ei kondenseeru, kuna ei saavuta maksimaalset osarõhku.

4.2.1. Fassaadil 50 mm vahtpolüstüreen EPS60 SILVER

Õhukese, 50 mm lisasoojustuse puhul ei muutu hoone üldilme silmnähtavalt ning see tähendab, et avatäiteid ei pea väljapoole tooma.

Vahtpolüstüreen on valitud kui levinud ja suhteliselt soodne soojustuslahendus. Tootel EPS60 SILVER ($\lambda = 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) on paremad soojusjuhtivuse näitajad kui tavalisel EPS-plaadil ($\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) tänu soojusülekanne optimeerimisele spetsiaalsete lisanditega EPS vahus. [14]

4.2.2. Fassaadil 150 mm vahtpolüstüreen EPS60 SILVER

Teise variandina on valitud fassaadi isoleerimine 150 mm vahtpolüstüreeniga EPS SILVER. Selline lahendus annab ilmselt parima soojapidavuse, kuid eeldab ka lisatööd: kõik avatäited tuleb tuua väljapoole, kuna vastasel juhul jääksid need silmnähtavalt liiga sügavale seina sisse ning seeläbi muutuks hoone välisilme. Samuti väheneks siseruumidesse pääseva valguse hulk.

Puiestee 81 hoone puhul moodustab suure osa rekonstrueerimistöde maksumusest ilmselt fassaadi iludetailide taastamine, mida tuleb igal juhul teha. Niisiis on käesolev variant kaalumisele võetud eeldades, et 150 mm soojustusega saavutatav energia kokkuvõid kaalub üles avatäidete ümber tõstmisega seonduvad lisakulud. Avatäidete tõstmise käigus on mõistlik veel vahetamata avatäited asendada uute ja energiatõhusamatega. Kuna vahetatud akende hulgas pole hetkel ühtegi nõuetekohast algse ruudujaotusega kahe raamiga ja õhuaknaga puitakent, on arvutustes arvestatud kõigi akende asendamine sobivate avatäidetega, mille soojusjuhtivus vastavalt Energiatõhususe miinimumnõuetele [7] on $U \leq 1,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

4.3. Fassaadi soojustamine 50mm vahtpolüuretaaniga SPU P

Vahtpolüuretaan on erakordselt heade soojustehniliste näitajatega materjal, mida on kõrgema klassi isolatsioonimaterjalina kasutatud juba ligi 40 aastat. Külmseadmed (nt külmikud, sügavkülmikud, külmlaad ja külmtranspordiseadmed) ning tööstuslikes tingimustes kasutatavate torude isolatsioon on mõnede valdkondade näited, kus polüuretaan on tänapäeval praktiliselt ainus kasutatav soojusisolatsioonimaterjal. [15]

Seoses kõrgemate nõudmistega soojusisolatsioonile ehituses on välja töötatud spetsiaalsed tooted nii uusehitistele kui rekonstrueerimiseks. Nende põhiline eelis teiste isolatsioonimaterjalide juures on suur soojapidavus ka väga õhukese plaadi puhul ($\lambda = 0,023 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$).[16]

Käesolevas töös on SPU-plaadid valitud üheks variandiks just võrdluseks EPS SILVERiga, sest kuigi soojustehniliste näitajate poolest on SPU-plaadid pea kaks korda paremate näitajatega, on ka nende hind kallim ning kokkuvõttes ei pruugi võit küttekuludelt üles kaaluda lisasoojustamise maksumust.

4.4. Seespidine soojustamine

Üks võimalus ajalooliste ja miljööaladel asuvate hoonete lisasoojustamiseks on seespidine soojustamine. Kuni viimase ajani on olnud levinud seisukoht, et telliselamute seespidine lisasoojustamine ei ole aktsepteeritav, kuna rikub piirde

niiskusrežiimi ja loob võimaluse hallituse kasvuks konstruktsiooni ja soojustuse vahel. Eriti ohtlik on asjaolu, et hallitus areneb seina sees, seda pole märgata ning see avastatakse alles siis, kui ulatuslikud kahjustused on tekkinud. [4]

Seespidine soojustamine on alati riskantsem kui välispidine soojusisoleerimine, kuna kandeseina sisepinnatemperatuuri alandamisega võib suhteline niiskus piirdes tõusta üle kriitilise piiri, mis omakorda põhjustab hallituse kasvu või veeauru kondenseerumise soojustatava välisseina sisepinnale. Lisaks on riskideks külmahälgade mõju suurenemine, välisseina välispinna temperatuuri alanemine ja sellega kaasnev suurem risk külmakahjustuste tekkeks. Seespidisel soojustamisel hoonete soojuslik massiivsus väheneb ning väheneb ka võimalus niiskuse ruumi poole välja kuivamiseks. [17]

Järjest enam pannakse aga rõhku energiatõhususele ning hoonete energiatarbe vähendamisele ning seda ka ajalooliste, muinsuskaitsealuste ja miljööladel paiknevate hoonete puhul, kus hoone välisilmel tuleb säilitada. Seetõttu on sisemise soojustamise teema jälle aktuaalseks kerkinud ning seda on rohkem uuritud.

Aastal 2013 programmi „Co2ol Bricks“¹ raames läbi viidud uuring näitas, et sisemise soojustuse toimivus sõltub lisaks isolatsioonimaterjalidele suurel määral konkreetsetest kliimatingimustest (vihm, sisemine niiskuskoormus, kütte- ja ventilatsioonilahendus jne), konstruktsiooni tüübist ja kasutatud materjalidest. Tasakaalus niiskus- ja soojusrežiimi saavutamiseks piirdes tuleb lahendus iga objekti puhul välja töötada eraldi. [17]

Käsitletava objekti puhul ei ole seespidine soojustamine Tellija sooviks. Põhjuseks see, et sisemine soojustamine puudutaks kõigi elanike isiklike elamispiindu, mitte üldkasutatavaid alasid ning seetõttu ei saa seda elanikele peale sundida. Samuti puudub võimalus piisavalt kontrollida tööde teostamise kvaliteeti, mis on sisemise

¹¹ Projekt „Interreg IVB Baltic Sea Region Project Co2olBricks - Climate Change, Cultural Heritage & Energy Efficient Monuments“

soojustamise puhul eriti kriitilise tähtsusega. Seetõttu pole käesolevas töös teostatud lisauuringuid ja –arvutusi seespärase soojustuse toimivuse kohta konkreetsel objektil.

4.5. Fassaadi korrastamine ilma lisasoojustuseta ning pööningu ja keldri vahelagede soojustamine

Viimase variandina on võrdlusesse lisatud ka fassaadi korrastamine ilma lisasoojustuseta. See tähendab, et hoone välisilm ei muudeta, fassaadil teostatakse vajalikud krohviparandused, taastatakse puuduvad või kahjustatud karniisid ja dekoratiivsed elemendid ning remonditakse rõdud. Fassaad värvitakse originaalilähedastes toonides (oranž ja valge) lubivärvidega.

Selleks, et saavutada paremat energiatõhusust, on välja pakutud pööningu vahelae soojustamine 250 mm puistekivivillaga Rockwool Granrock ($\lambda = 0,042 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [18]) ning keldri lae (ehk I korruse põranda aluse) soojustamine 100 mm EPS50 vahtpolüstüreenplaatidega ($\lambda = 0,039 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [19]).

Käsitlev soojustuslahendus on valitud alternatiivina fassaadi soojustamisele, kuna on suhteliselt lihtsasti teostatav ning ei puuduta maja välisilmet. Kuigi Tellija soovis leida lahendust välisseinte lisasoojustamiseks ja korrastamiseks, võimaldab kõnealune meetod võrrelda fassaadi soojustamise optimaalsust teiste lahendustega.

Nimelt mängib hoone soojakadudes suurt rolli lisaks horisontaalsele soojusvoole (läbi seinte) ka vertikaalne soojusvoog ehk soojuskaod läbi põranda ja katuse, katuslae või – nagu käesoleval juhul – pööningu vahelae.

Seetõttu valiti üheks alternatiivseks lahenduseks just pööningu vahelae ja keldri lae soojustamine. Kuna Tellija sooviks oli eelkõige rekonstrueerida fassaad, siis on seda lahendust käsitletud koos fassaadi parandus- ja viimistlustöödega. Sellisel juhul on täidetud nii Tellija soov maja välisilme korrastamiseks kui ka leitud lahendus soojakuludelt kokku hoidmiseks.

5. VÄLISPIIRETE SOOJUSJUHTIVUS

Hoone piirdetarindite soojusjuhtivused määratakse vastavalt standarditele EVS 908-1:2010 [5] ning EVS-EN ISO 13370:2008 [6]. Materjalide soojuseri juhtivused määratakse vastavalt raamatule „Ehituskonstruktori käsiraamat“ [12] ja tootjate andmetele [14], [16].

5.1. Homogeense piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusmetoodika

Piirde soojusjuhtivus U , $W/(m \cdot K)$ leitakse alljärgneva valemiga:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5.1)$$

kus:

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

Käsitleva hoone puhul on tegemist krohvitud massiivseintega, järelkult on tegemist soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindiga ning kogusoojustakistuse R_T saab arvutada valemiga (5.2).

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (5.2)$$

kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. Tabel 5.1;

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 5.1.

Soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus R , $(m^2 \cdot K)/W$, leitakse valemiga (5.3):

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (5.3)$$

kus:

d materjalikihi paksus, m;

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

Piirde soojusjuhtivuse arvutusel kasutatakse pindade soojustakistuse arvutussuursi vastavalt standardile EVS 908-1:2010[5], vt tabel (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Piirde pindade soojustakistused [5]

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

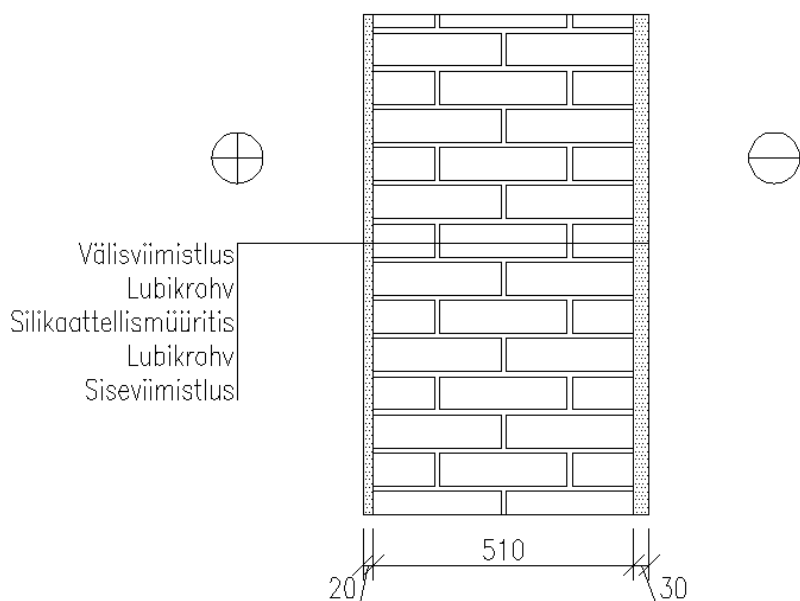
Käesolevas töös ei ole algolukorra ega ka rekonstrueerimislahenduste juures leitud korrigeeritud välispiirde soojusjuhtivust, mis võtaks arvesse võimalikke tühimikke müürikivide vahel, soojustuse ebakvaliteetset paigaldust ja sellest tulenevalt seina soojusjuhtivuse halvenemist. Samal perioodil ehitatud lammutusjärgus olevad sarnased hooned teisel pool Puiestee tänavat annavad välisel vaatlusel tunnistust tolle ehitusperioodi kvaliteetsest tööst, mistõttu pole põhjust arvata, et käsitletava hoone ehituskvaliteet oleks halb. Lisasoojustuse puhul on eeldatud, et selle panevad paika kogemustega spetsialistid kasutades nõuetele vastavaid kinnitus- ja abivahendeid ning kuhugi ei teki lisakülmasildu.

5.1.1. Olemasoleva välisseina soojusjuhtivus

Välisseina kandekonstruktsioon on silikaattellistest mõõtudega 250x120x65mm massiivne kaks kiviseotisega müüritis, mis on mõlemalt poolt kaetud lubikrohviga (vt Joonis 5.1 ning Tabel 5.2). Soojusjuhtivuse arvutused teostatakse lähtuvalt standardist EVS 908-1:2010 [5]. Materjalide soojuseri juhtivused võetakse Ehituskonstruktori käsiraamatu ehitusfüüsikat käsitlevast peatükist 7 [12] ning vajadusel materjalide tootjate veebilehekülgedelt ([14], [16]). Lisasoojustusega seinte soojusjuhtivuse arvutused on toodud Lisas 2.

Tabel 5.2 Piirdetarindi materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseri juhtivus $\lambda, W/(m \cdot K)$	Soojustakistus $R, (m^2 \cdot K)/W$
Välispind	-	-	0,04
Lubikrohv	0,03	0,80	-
Silikaatkivimüüritis	0,51	0,95	-
Lubikrohv	0,02	0,80	-
Sisepind	-	-	0,13



Joonis 5.1 Olemasoleva välisseina lõige

Tarindi kogusoojustakistus R_T arvutatakse valemiga (5.2):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,02}{0,80} + \frac{0,51}{0,95} + \frac{0,03}{0,80} + 0,04 = 0,77 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Piirde soojusjuhtivus arvutatakse valemiga (5.1):

$$U = \frac{1}{0,77} = 1,30 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

5.1.2. Lisasoojustusega välisseina soojusjuhtivus

Lisasoojustamiseks eemaldatakse olemasolevalt välisseinalt lahtine krohv ning tehakse vajadusel parandused. Seejärel soojustatakse piire vahtpolüstüreenplaatidega EPS60 SILVER või vahtpolüuretaanplaatidega SPU P ning fassaad krohvitakse 20 mm lubikrohviga.

Tarindi soojusjuhtivus leitakse analoogselt soojustamata seinale (vt jaotis 5.1.1, lk 22), arvutused ning seinte lõiked on toodud Lisas 2.

Soojustusega 50 mm EPS SILVER on välisseina soojusjuhtivus:

$$U_{EPS50} = 0,43 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Soojustusega 150 mm EPS SILVER on välisseina soojusjuhtivus:

$$U_{EPS150} = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Soojustusega 50 mm SPU P on välisseina soojusjuhtivus:

$$U_{SPU50} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Käesolevas töös pole arvestatud külmasildadega, mis tekivad soojustusplaatide kinnititest, sest nii EPS kui SPU kinnitatakse seinale vahtpolüstüreenist või vahtpolüuretaanist kattega plasttüüblitega. Plastik ise on võrdlemisi halb soojusjuht ning tüübli peale käiv soojustusega samast materjalist kate löikab tekkiva külmasilla ära.

5.1.3. Pööningu vahelae soojusjuhtivus

Hoonel on 140 mm raudbetoonist pööningu vahelagi, mille peal on soojustuseks keskmiselt 150 mm liiva. Et tegemist on sarnaselt välisseintele homogeense piirdetarindiga, on selle soojusjuhtivuse leidmine analoogne välisseina soojusjuhtivuse arvutusega (vt jaotis 5.1.1, lk 22). Täpsed arvutused on toodud Lisas 2.

Olemasoleva pööningu vahelae soojusjuhtivus: $U_{PL} = 1,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Lisasoojustusega 250 mm Rockwool Granrock on pööningu vahelae soojusjuhtivus:

$$U_{PL250} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

5.2. Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutusmetoodika

Pinnasel põrandas tekkiva soojusvoo kolmemõõtmelisusega arvestamiseks kasutatakse põranda „tunnusmõõtmeid“ B' , m [6]:

$$B' = \frac{A}{0,5P} \tag{5.4}$$

kus:

A	põranda pindala, m^2 ;
P	põranda välisperimeeter, m.

Soojusjuhtivus sõltub põranda tunnusmõõdust B' ja võrdväärse paksuse d_t , m koguväärtusest, mis on arvutatav valemiga (5.5):

$$d_t = w + \lambda_s(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (5.5)$$

kus:

w	seinte kogupaksus koos kõikide kihtidega, m;
λ_s	külmumata pinnase soojuserijuhtivus, $W/(m \cdot K)$;
R_f	põrandaplaadi soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.
R_{si}, R_{se}	piirde pindade soojustakistused, (vt Tabel 5.1).

Tihedate betoonplaatide ja õhukeste põrandakatete soojustakistused võib jätta arvestamata, sellisel juhul $R_f = 0$.

Mõõdukalt soojustatud põranda puhul (kui $d_t < B'$) leitakse soojusjuhtivus vastavalt valemile (5.6):

$$U_f = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (5.6)$$

Hästi soojustatud põranda puhul (kui $d_t > B'$) saab soojusjuhtivuse leida alljärgneva valemi (5.11) abil:

$$U_f = \frac{\lambda}{0,457 * B' + d_t} \quad (5.7)$$

5.2.1. Kaupluseruumide põranda soojusjuhtivus

Hoone kunagiste kaupluseruumide osas keldrit ei ole ja tegemist on pinnasele toetuva 200 mm raudbetoonpõrandaga ($\lambda_s = 2,0 W/(m \cdot K)$ [12]), millele on kleebitud 15 mm puidust lipp-parkett ($\lambda_s = 0,13 W/(m \cdot K)$ [12]) – vt Tabel 5.3. Pinnaseks on arvestatud liiv või kruus ($\lambda_s = 2,0 W/(m \cdot K)$ [6]). Vundament ja sokli seinad on laotud klombitud paekivist paksusega 540...590 mm, arvutustes kasutatud keskmist paksust 570 mm, millele lisandub seespool lubikrohv 20 mm.

Pinnasele toetuv põrandaosa on ristküliku-kujuline, selle mõõtmed on 5,1 x 27,5 m (vt Graafiline osa, Joonis 1).

Põranda tunnusmõõtmed vastavalt valemile (5.4):

$$B'_{PP} = \frac{A}{0,5P} = \frac{5,1 \cdot 27,5}{0,5 \cdot 2(5,1 + 27,5)} = 4,30 \text{ m}$$

Tabel 5.3 Olemasoleva pinnasel põranda materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseri juhtivus $\lambda, \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Soojustakistus $R, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$
Sisepind R_{Si}	-	-	0,17
Puitparkett	0,015	0,13	-
Raudbetoon	0,20	2,00	-
Välispind R_{Se}^*	-	-	0,17

* Välispind ei asu väljas ja see on võetud võrdseks sisepinna soojustakistusega.

Olemasoleva põranda võrdväärne paksus vastavalt valemile (5.5):

$$d_{t,PP} = (0,57) + 2,0 \left(0,17 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,20}{2,00} + 0,17 \right) = 1,68 \text{ m}$$

Olemasoleva pinnasel põranda soojusjuhtivus vastavalt valemile (5.6), sest $d_t < B'$:

$$U_{PP} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 4,30 + 1,68} \ln \left(\frac{\pi \cdot 4,30}{1,68} + 1 \right) = 0,58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

5.3. Kütmata keldri kohal asuva põranda soojusjuhtivuse arvutusmeetodika

Soojuskadu läbi I korruse keldri kohal asuva põranda leitakse kasutades alljärgnevat valemit [6]:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(AU_{bf}) + (zPU_{bw}) + (hPU_w) + (0,33nV)} \quad (5.8)$$

kus:

U_f põranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
(hoone siseruumi ja õhkvahe vahel);

A põranda pindala, m^2 ;

U_{bf} keldripõranda soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

z keldri sügavus maapinna suhtes, m;

P põranda avatud perimeeter, m;

U_{bw} keldriseinte soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

- h põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes, m;
 U_w õhkvahe seinte soojusjuhtivus välise maapinna kohal, W/(m² · K);
 n keldri õhuvahetuskordsus tunni kohta, -;
 V keldri sisekubatuur, m³.

Keldri põranda puhul on tegemist soojustamata konstruktsiooniga ehk eelduslikult $d_t + 0,5z < B'$ ning keldri põranda soojusjuhtivus U_{bf} , W/(m² · K) on leitav valemiga (5.9):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1\right) \quad (5.9)$$

kus:

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

Põranda tunnusmõõtmed B' ning võrdväärne kogupaksus d_t leitakse vastavalt pinnasel põranda arvutusmetoodikale (vt jaotis 5.2, valemid (5.4) ja (5.5)).

Keldriseinte soojusjuhtivus U_{bw} , W/(m² · K) leitakse alljärgneva valemiga:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (5.10)$$

kus:

- d_w keldriseinte võrdväärne kogupaksus, m.

Keldriseinte kogupaksus d_w leitakse omakorda valemist (5.11):

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (5.11)$$

kus:

- R_w keldriseinte soojustakistus, (m² · K)/W.

Täpsema informatsiooni puudumise korral kasutatakse õhuvahetuskordsuseks suurust $n = 0,3h^{-1}$.

5.3.1. Olemasoleva I korruse keldriga põrandaosa soojusjuhtivus

Puiestee 81 hoone põhimahus on kütmata kelder, millel on keskmiselt 570 mm paksused laotud paekivist ($\lambda = 1,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [12]) seinad ning raudbetoonist ($\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [12]) põrand. Pinnaseks on arvestatud liiv või kruus ($\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [6]).

Keldri kohal asuva põrandaosa pindala $A = 498,35 \text{ m}^2$ ning avatud perimeeter $P = 161,7 \text{ m}$. Sokli keskmine kõrgus maapinnast on $h = 0,9 \text{ m}$ ning keldri sügavus maapinna suhtes $z = 0,9 \text{ m}$ (vt Graafiline osa, Joonis 5).

Välisõhu kohal asuva põranda soojusjuhtivus leitakse vastavalt valemitele (5.2) ja (5.1):

$$R_{f,KP} = 0,17 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,200}{2,0} + 0,17 = 0,56 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U_{f,KP} = \frac{1}{0,56} = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Sama meetodikaga leitakse ka sokli seinte soojusjuhtivus:

$$R_{w,KP} = 0,13 + \frac{0,57}{1,7} + 0,04 = 0,51 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$U_{w,KP} = \frac{1}{0,51} = 1,97 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Keldri põranda tunnismõõtmed vastavalt valemile (5.4):

$$B'_{KP} = \frac{498,35}{0,5 \cdot 161,7} = 6,16 \text{ m}$$

Keldri põranda võrdväärne kogupaksus vastavalt valemile (5.5), kusjuures raudbetoonpõranda soojustakistust ei arvestata:

$$d_{t,KP} = 0,57 + 2,0(0,17 + 0 + 0,17) = 1,25 \text{ m}$$

Keldri põranda soojusjuhtivus vastavalt valemile (5.9):

$$U_{bf,KP} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 6,16 + 1,25 + 0,5 \cdot 1,5} \ln \left(\frac{\pi \cdot 6,16}{1,25 + 0,5 \cdot 1,5} + 1 \right) = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Keldri seinte võrdväärne kogupaksus vastavalt valemile (5.11):

$$d_{w,KP} = 2,0 \left(0,13 + \frac{0,57}{1,7} + 0,04 \right) = 1,01 \text{ m}$$

Keldri seinte soojustakistus vastavalt valemile (5.10):

$$U_{bw,KP} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 1,5} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 1,25}{6,16 + 1,5} \right) \ln \left(\frac{1,5}{1,01} + 1 \right) = 0,84 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Keldri kubatuur:

$$V_{kelder} = A \cdot (z + h) = 498,35 \cdot (1,5 + 0,9) = 1196,04 \text{ m}^3$$

Kütmata keldri kohal asuva põranda soojusjuhtivus valemi (5.8) järgi:

$$\frac{1}{U_{KP}} = \frac{1}{1,80} + \frac{498,35}{(498,35 \cdot 0,44) + (1,5 \cdot 161,7 \cdot 0,84) + (0,9 \cdot 161,7 \cdot 2,00) + (0,33 \cdot 0,3 \cdot 0,9^{-1} \cdot 1196,04)} = 1,15$$

$$U_{KP} = 0,87 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

5.3.2. Soojustatud I korruse keldriga põrandaosa soojusjuhtivus

Soojakadude vähendamiseks isoleeritakse keldri lagi ehk I korruse põranda alune soojustamisel 100 mm vahtpolüstüreeniga EPS50. Sellisel juhul muutub soojusjuhtivuse arvutuses vaid keldri lae U-väärtus, mis leitakse analoogselt soojustamata variandile valemitega (5.2) ja (5.1):

$$R_{f,KP,EPS100} = 0,17 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,200}{2,0} + \frac{0,100}{0,039} + 0,17 = 3,12 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$$

$$U_{f,KP,EPS100} = \frac{1}{3,12} = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Kütmata keldri kohal asuva soojustatud põranda soojusjuhtivus:

$$\frac{1}{U_{KP}} = \frac{1}{0,32} + \frac{498,35}{(498,35 \cdot 0,44) + (1,5 \cdot 161,7 \cdot 0,84) + (0,9 \cdot 161,7 \cdot 2,00) + (0,33 \cdot 0,3 \cdot 0,9^{-1} \cdot 1196,04)} = 3,71$$

$$U_{KP} = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

5.4. Avatäidete soojusjuhtivus

Hoone aknad on suuremas mahus (69%) vahetatud viimase 10 aasta jooksul uute puit- või PVC-akende vastu. Ülejäänud aknad on puitaknad, mis on suure tõenäosusega ehitusaegsed (Joonis L1.12). Hoone trepikodade ukсед on terasest, kunagiste kaupluseruumide ukсед on alumiiniumprofiilis.

Et puuduvad täpsed andmed avatäidete kohta, on olemasolevate avatäidete jaoks arvutustes kasutatud hinnangulisi soojusjuhtivuse väärtusi vastavalt Ehituskonstruktori käsiraamatus toodud soovitudele [12].

Uute akende soojusjuhtivus on määratud vastavalt kehtivatele energiatõhususe miinimumnõuetele [7]. Uste soojusjuhtivus on määratud vastavalt tootjate andmetele [20]. Uute avatäidetega on arvestatud juhul, kui fassaad soojustatakse 150mm EPS60 SILVERiga, kõik aknad ja ukсед tõstetakse väljapoole ning asendatakse uute ja energiatõhusamatega. Eeldatud on, et aknad ja ukсед valmistatakse ehitusaegsete avatäidete koopiatena.

Vanade puitakende soojusjuhtivus on hinnanguliselt $U_{A1} = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Vahetatud akende soojusjuhtivus on hinnanguliselt $U_{A2} = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Uute akende soojusjuhtivus on hinnanguliselt $U_{A3} = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Olemasolevate välisuste soojusjuhtivus on hinnanguliselt $U_{U1} = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Uute puidust soojustatud tahveluste soojusjuhtivus on hinnanguliselt $U_{U2} \leq 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

6. KÜLMASILLAD

Külmasillad on piirdetarindite suurema lokaalse soojusjuhtivusega kohad. Need võivad olla geomeetrilised (välisseina välisnurk, põranda või siseseina liitumine välisseinaga, räästakonstruktsioon jne.) või ehitustehnilised (välisvoodri konstruktsiooni sidemed, läbiviigud tarinditest jne.). Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu, vähendavad soojuslikku mugavust (suurem õhuliikumine, soojuse ebahühtlane jaotumine ja kiirgus ruumis) ning on kriitilisteks kohtadeks ka piirde niiskuse- ja temperatuurirežiimi hindamisel.

Külmasildade lisasoojuskaod võetakse piirete soojusjuhtivuse arvutustes eraldi arvesse külmasildade lisajuhtivustega: joonkülmasillad $\Psi, W/(m \cdot K)$ ja punktkülmasillad $\chi, W/(tk \cdot K)$. Lisajuhtivus on soojuskadu vattides läbi külmasilla, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. [4]

6.1. Termograafia

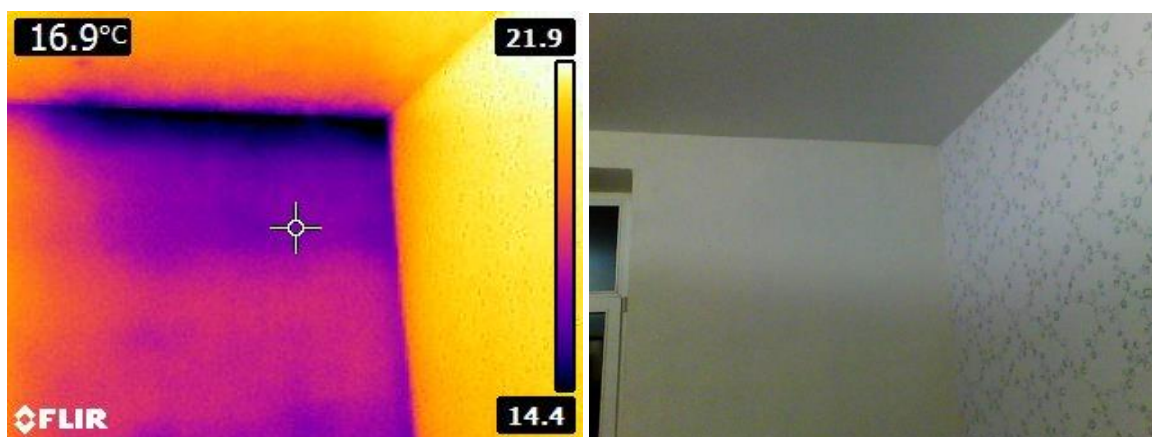
Keha, mille temperatuur on kõrgem kui absoluutne null, s.o. $-273,15^{\circ}\text{C}$, kiirgab soojusenergiat. Termovisiooni abil mõõdetakse kehalt või esemelt kiirgunud või peegeldunud soojusenergiat ning teades keskkonnatingimusi ja kiirgava pinna omadusi, saab arvutada selle pinna temperatuuri. [4]

Käesolevas töös kasutati termograafiat hoone seisukorra, ehituskvaliteedi ja õhulekkekohtade üldiseks hindamiseks. Täppismõõdistusi ei tehtud, selle asemel määrati põhilised külmasillad ning veenduti, et hoones ei esine soojuslevi anomaaliaid.

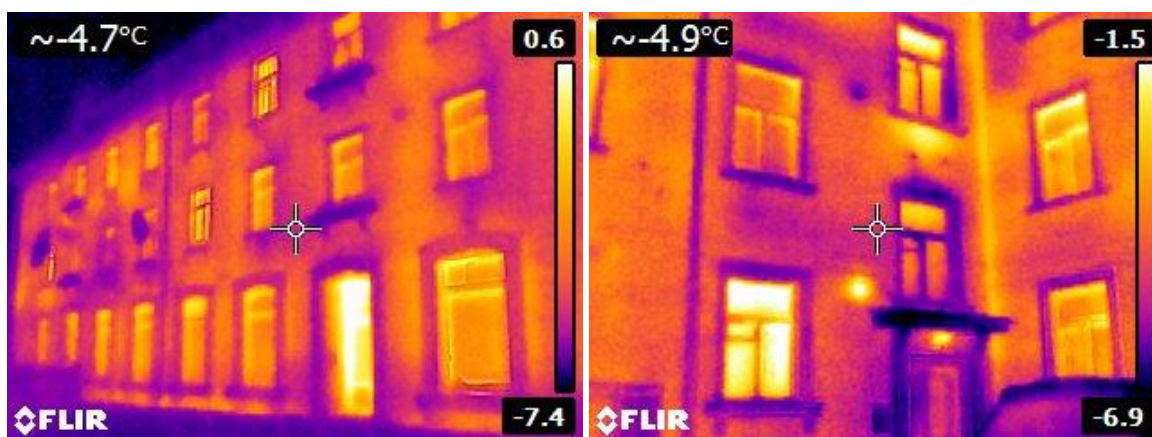
Töös kasutati FLIR Systems E6 termokaamerat (mõõtevahemik $-20^{\circ}\text{C} \dots +250^{\circ}\text{C}$, tundlikkus: $0,06^{\circ}\text{C}$, mõõtmistäpsus: $\pm 2\%$, sensor: 160×120 pikslit).

Termograafilised vaatlused näitasid, et põhilised soojuslekked kohad hoones on välisseinte liitekohad, pööningu vahelae ja I korruse põranda ühendus välisseinaga, lisaks uste ja akende liitekohad seinaga (vt Joonis 6.1, Joonis 6.2 ja Joonis 6.3).

Tegemist on geomeetriliste joonkülmasildadega, mille mõju hoone soojuskadudele on täpsemalt arvatud temperatuurivälja programmiga THERM 7.2.



Joonis 6.1. III korruse korteri välisseina, siseseina ja pööningu vahelae liitekoht



Joonis 6.2 ja Joonis 6.3 Termograafilised fotod hoone fassaadist.

6.2. Külmasildade arvutamise meetodika programmiga THERM 7.2

Geomeetriliste külmasildade soojusjuhtivuse arvutamiseks kasutatakse programmi THERM 7.2, millega on võimalik välja arvutada summaarne soojuslevi läbi tarindi ning üksikute osade soojusjuhtivus.

Vaadeldavad geomeetrilised külmasillad on: välisseinte välis- ja sisenurgad; välisseina kontaktpind vahelagede ja sokliga ning avatäidete ühendused välisseinaga. Välisseina ja siseseina liitumiskoht tellishoonetes külmasillaks ei ole, kuna ka sisesein on tellistest ja erinevus materjalide soojusjuhtivuses puudub.

THERM-i joonestatakse konstruktsiooni sõlm koos kõigi materjalidega, määratakse nii materjalide omadused kui keskkonna- ja soojusvoo suunast tulenevad ääritingimused. Tulemusena annab programm käsitletava mudeli soojusjuhtivuse, samuti võimaluse temperatuuri muutust konstruktsioonis isothermidena vaadelda.

Mudelite joonestamisel THERM-i tuleb lisaks keskkonna- ja soojusvoo suunast tulenevatele ääritingimustele järgida ka programmi eripärast tulenevaid geomeetrilisi ääritingimusi:

1. Mudeli osa pikkus on minimaalselt 1000 mm või kolmekordne konstruktsiooni paksus.
2. Soklisõlme arvutamisel kasutatakse põranda laiusmõõdet b , m, seejuures:
 - a. Horisontaalne kaugus vertikaalsest tasapinnast hoone sees: min $0,5b$
 - b. Horisontaalne kaugus vertikaalsest tasapinnast väljaspool hoonet: min $2,5b$
 - c. Vertikaalne kaugus horisontaalsest tasapinnast maapinnast allpool: min $2,5b$
 - d. Vertikaalne kaugus horisontaalsest tasapinnast allpool põranda tasandit (juhul, kui vaadeldav põrandapind asub enam kui 2 m maapinnast madalamal): min $2,5b$

Vabakujulise põranda puhul võetakse põranda laius b võrdseks põranda tunnismõõtmega B' (vt jaotis 5.2, valem (5.4)).

Joonkülmasilla lisajuhtivuse Ψ väärtused arvutatakse programmist saadud tulemustest valemi (6.1) põhjal [8]:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j \quad (6.1)$$

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 kahemõõtmelise 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.

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

Arvutuste käigus selgus, et THERM-is leitud tarindite soojusjuhtivused erinevad käsitsi arvutatutest, välisseinte puhul näiteks 1,7...2,8% ulatuses (vt Tabel 6.1). See tuleneb asjaolust, et programmis ümardatakse arvutuste vahetulemused ülespoole sajandiku täpsuseni ning lõpptulemused muutuvad seega veidi ebatäpsemateks.

Tabel 6.1 Erinevused THERM-is ja käsitsi arvutatud piirde U-väärtuste, $W/(m \cdot K)$, vahel

TARIND	Soojustamata	Fassaadil 50 mm EPS60 SILVER	Fassaadil 150 mm EPS60 SILVER	Fassaadil 50 mm SPU P
Krohvitud välissein	1,2998	0,4330	0,1873	0,3369
sama THERM-is	1,2784	0,4220	0,1820	0,3359
erinevus %	1,65%	2,54%	2,82%	0,30%

Täpsema lõpptulemuse huvides on külmasildade lisajuhtivuse leidmisel THERM-i arvutustes kasutatud kõiki sama programmiga leitud U-väärtusi (vt arvutustabeleid Lisas 3), piirete soojuskadude leidmisel aga käsitsi arvutatud täpsemaid tulemusi.

6.3. Joonkülmasildade lisajuhtivused

Lisasoojusjuhtivuste väärtused leitakse põhilistele geomeetrilistele külmasildadele: välisseina liitekohad välisseinte, vahelagede ja I korruse põrandaga.

Avatäidete puhul on lihtsustamise eesmärgil kasutatud Eesti telliskorterelamute uuringu lõppraportis [4] märgitud väärtusi, kuna avatäidete täpsed konstruktsioonid ja soojusjuhtivuse väärtused pole teada. Et fassaadi lisasoojustamisel on aknapalesid võimalik vaid minimaalselt (15...20 mm) soojustada, siis on samasugust joonkülmasilla väärtust kasutatud kõikide variantide puhul, v.a 150 mm lisasoojustuse juures, kus aknad tõstetakse soojustuse tasapinda ja külmasilla mõju väheneb oluliselt.

Avatäidete keskmine lisajuhtivus perimeetri kohta soojustamata aknapale korral on $\Psi = 0,41 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Avatäidete keskmine lisajuhtivus perimeetri kohta soojustatud aknapale korral on $\Psi = 0,11 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Arvutuste tabelid on toodud Lisas 3. Tulemused esitatud koondtabelites Tabel 6.2, Tabel 6.3, Tabel 6.4, Tabel 6.5 ja Tabel 6.6.

6.4. Välispiirete summaarne soojuserikadu

Erinevate soojustusvariantide võrdlemiseks leitakse välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta kõikide soojustusvariantide puhul.

Tulemused esitatud koondtabelites Tabel 6.2, Tabel 6.3, Tabel 6.4, Tabel 6.5 ja Tabel 6.6.

Tabel 6.2 Piirete summaarne soojuserikadu algolukorras

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	$H_{külmasild}$ W/K	Omadus	Suurus	
Välisseinad	1,28	1420,6	1816,0	Välissein-välissein välisnurk	0,314	90,5	28,4	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	3,0	
Pööningu vahelagi	1,96	707,0	1385,8	Välissein-välissein sisenurk	-0,983	50,3	-49,4			
Põrand pinnasel	0,58	140,3	81,3	Pööningu vahelagi-välissein	0,371	150,8	56,0	A_{vp} (välispiirded), m ²	3097,7	
Põrand keldri kohal	0,88	521,2	459,1	Korruse vahelagi-välissein	0,089	301,6	13,5	Korruste arv	3	
Välisüksed	3,00	19,0	56,9	Põrand pinnasel-välissein	0,885	44,5	39,3	\dot{V}_{inf} , m ³	0,1291	
Vanad aknad	2,70	82,5	222,6	Põrand keldri kohal-välissein	0,024	162,4	3,9			
Vahetatud aknad	1,60	207,3	331,7	Akna seinakinnitus	0,410	708,0	290,3			
				Ukse seinakinnitus	0,410	39,3	16,1			
Kokku:	$H_{piirded}$, W/K		4353,4	$H_{külmasillad}$, W/K			398,1	$H_{õhulekked}$, W/K		155,7
Välispiirete summaarne soojuserikadu				ΣH W/K	4907,2					
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\Sigma H/A_{vp}$ W/(m ² ·K)	1,6					
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$ m ²	2117,8					
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H/A_{köetav}$ W/(m ² ·K)	2,32					

Tabel 6.3. Piirete summaarne soojuserikadu fassaadi soojustamisel 50 mm vahtpolüstüreenplaatidega EPS SILVER

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	$H_{külmasild}$ W/K	Omadus	Suurus
Välisseinad	0,42	1420,6	599,5	Välissein-välissein välisnurk	0,292	90,5	26,5	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	3,0
Pööningu vahelagi	1,96	707,0	1385,8	Välissein-välissein sisenurk	-0,462	50,3	-23,2		
Põrand pinnasel	0,58	140,3	81,3	Pööningu vahelagi-välissein	0,407	150,8	61,4	A_{vp} (välispiirded), m ²	3097,7
Põrand keldri kohal	0,88	521,2	459,1	Korruse vahelagi-välissein	0,009	301,6	1,4	Korruste arv	3
Välisüksed	3,00	19,0	56,9	Põrand pinnasel-välissein	1,110	44,5	49,4	\dot{V}_{inf} , m ³	0,1291
Vanad aknad	2,70	82,5	222,6	Põrand keldri kohal-välissein	0,171	162,4	27,7		
Vahetatud aknad	1,60	207,3	331,7	Akna seinakinnitus	0,410	708,0	290,3		
				Ukse seinakinnitus	0,410	39,3	16,1		
Kokku:	$H_{piirded}$, W/K		3136,9	$H_{külmasillad}$, W/K			449,6	$H_{õhulekked}$, W/K	155,7
Välispiirete summaarne soojuserikadu				ΣH W/K				3742,1	
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\Sigma H/A_{vp}$ W/(m ² ·K)				1,2	
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$ m ²				2117,8	
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H/A_{köetav}$ W/(m ² ·K)				1,77	

Tabel 6.4. Piirete summaarne soojuserikadu fassaadi soojustamisel 150 mm vahtpolüstüreenplaatidega EPS SILVER

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Külmasild	Ψ_j	l_j	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus
	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välisseinad	0,18	1420,6	258,5	Välissein-välissein välisnurk	0,182	90,5	16,5	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	3,0
Pööningu vahelagi	1,96	707,0	1385,8	Välissein-välissein sisenurk	-0,236	50,3	-11,9		
Põrand pinnasel	0,58	140,3	81,3	Pööningu vahelagi-välissein	0,433	150,8	65,2	A_{vp} (välispiirded), m ²	3097,7
Põrand keldri kohal	0,88	521,2	459,1	Korruse vahelagi-välissein	0,004	301,6	0,6	Korruste arv	3
Uued välisüksed	1,00	19,0	56,9	Põrand pinnasel-välissein	0,337	44,5	15,0	\dot{V}_{inf} , m ³	0,1291
Uued aknad	1,10	289,8	318,7	Põrand keldri kohal-välissein	0,103	162,4	16,8		
				Akna seinakinnitus	0,110	708,0	77,9		
				Ukse seinakinnitus	0,410	39,3	16,1		
Kokku:	$H_{piirded}$, W/K		2522,4	$H_{külmasillad}$, W/K			196,2	$H_{õhulekked}$, W/K	155,7
Välispiirete summaarne soojuserikadu				ΣH W/K	2874,2				
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\Sigma H/A_{vp}$ W/(m ² ·K)	0,9				
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$ m ²	2117,8				
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H/A_{köetav}$ W/(m ² ·K)	1,36				

Tabel 6.5. Piirete summaarne soojuserikadu fassaadi soojustamisel vahtpolüuretaanplaatidega 50 mm SPU P

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	$H_{külmasild}$ W/K	Omadus	Suurus
Välisseinad	0,34	1420,6	477,2	Välissein-välissein välisnurk	0,256	90,5	23,2	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	3,0
Pööningu vahelagi	1,96	707,0	1385,8	Välissein-välissein sisenurk	-0,376	50,3	-18,9		
Põrand pinnasel	0,58	140,3	81,3	Pööningu vahelagi-välissein	0,415	150,8	62,6	A_{vp} (välispiirded), m ²	3097,7
Põrand keldri kohal	0,88	521,2	459,1	Korruse vahelagi-välissein	0,004	301,6	0,6	Korruste arv	3
Välisüksed	3,00	19,0	56,9	Põrand pinnasel-välissein	1,226	44,5	54,5	\dot{V}_{inf} , m ³	0,1291
Vanad aknad	2,70	82,5	222,6	Põrand keldri kohal-välissein	0,138	162,4	22,4		
Vahetatud aknad	1,60	207,3	331,7	Akna seinakinnitus	0,410	708,0	290,3		
				Ukse seinakinnitus	0,410	39,3	16,1		
Kokku:	$H_{piirded}$, W/K		3014,6	$H_{külmasillad}$, W/K			450,8	$H_{õhulekked}$, W/K	155,7
Välispiirete summaarne soojuserikadu				ΣH W/K	3621,0				
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\Sigma H/A_{vp}$ W/(m ² ·K)	1,2				
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$ m ²	2117,8				
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H/A_{köetav}$ W/(m ² ·K)	1,71				

Tabel 6.6. Piirete summaarne soojuserikadu pööningu vahelae soojustamisel 250 mm puistekivivillaga Rockwool Granrock ning keldri lae soojustamisel 100 mm vahtpolüstüreenplaatidega EPS50

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade		
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	$H_{külmasild}$ W/K	Omadus	Suurus	
Välisseinad	1,28	1420,6	1816,0	Välissein-välissein välisnurk	0,314	90,5	28,4	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	3,0	
Pööningu vahelagi	0,15	707,0	106,1	Välissein-välissein sisenurk	-0,983	50,3	-49,4			
Põrand pinnasel	0,58	140,3	81,3	Pööningu vahelagi-välissein	0,659	150,8	99,4	A_{vp} (välispiirded), m ²	3097,7	
Põrand keldri kohal	0,25	521,2	302,0	Korruse vahelagi-välissein	0,089	301,6	13,5	Korruste arv	3	
Välisüksed	3,00	19,0	56,9	Põrand pinnasel-välissein	0,885	44,5	39,3	\dot{V}_{inf} , m ³	0,1291	
Vanad aknad	2,70	82,5	222,6	Põrand keldri kohal-välissein	0,200	162,4	32,5			
Vahetatud aknad	1,60	207,3	331,7	Akna seinakinnitus	0,410	708,0	290,3			
				Ukse seinakinnitus	0,410	39,3	16,1			
Kokku:	$H_{piirded}$, W/K		2916,7	$H_{külmasillad}$, W/K			470,1	$H_{õhulekked}$, W/K		155,7
Välispiirete summaarne soojuserikadu				ΣH W/K	3542,4					
Välispiirete keskmine soojusläbivus				$\Sigma H/A_{vp}$ W/(m ² ·K)	1,1					
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$ m ²	2117,8					
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H/A_{köetav}$ W/(m ² ·K)	1,67					

7. SOOJAKULUDE VÕRDLUS

Võrdlemaks erinevate soojustuslahenduste otstarbekust hinnatakse kadude vähenemisega seotud soojusenergia kokkuhoiust tulenevat rahasäästu ühe kütteperioodi vältel.

Aastane soojakulu köetava pinna kohta leitakse alljärgneva valemiga:

$$H_A = \frac{\Sigma H \cdot n \cdot h}{A_{köetav}} \quad (7.1)$$

kus:

$\frac{\Sigma H}{A_{köetav}}$	soojuserikadu köetava pinna kohta, W/(m ² ·K);
n	kraadpäevade arv, –;
h	tundide arv kraadpäevas, h.

Tartu normaalaasta kraadpäevade arv vana tüüpi rekonstrueerimata korterelamus (tasakaalutemperatuuriga 17°C) on $n = 4295$. [21]

Konkurentsiameti otsusega nr. 7.1-3/12-071 28.05.12 kooskõlastati 1. juulist 2012 kehtima hakkavaks AS Tartu Keskkatlamaja soojuse piirhinnaks 53,35 €/MWh, millele lisandub käibemaks. [22]

Arvestades kadusid läbi välispiirete on aastase arvutuslike soojakulude võrdlus hoone köetava pinna ruutmeetri kohta erinevate rekonstrueerimislahenduste korral on toodud tabelis (Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Soojakaod läbi välispiirete erinevate soojustuslahenduste korral

	W/(m ² ·K)	kWh/m ² aastas	EUR/m ² aastas	Sääst aastas EUR/m ²
Soojustamata fassaad	2,32	238,85	12,74	
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	1,77	182,14	9,72	-3,03
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	1,36	139,90	7,46	-5,28
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	1,71	176,25	9,40	-3,34
Pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS	1,67	172,42	9,20	-3,54

8. REKONSTRUEERIMISLAHENDUSTE MAKSUMUS

8.1. Rekonstrueerimislahenduste maksumuse hindamine

Optimaalseima rekonstrueerimislahenduse valimiseks tuleb lisaks energiasäästust tulenevale kokkuhoiule hinnata ka vastavate meetmete maksumust.

Käesolevas töös on maksumuse hindamiseks kasutatud konstruktiivelemendi maksumuse määramise metoodikat. Ühikhinnad sisaldavad nii ehitamise otsekulusid (materjal, tööjõud, ehitusmasinad-seadmed) kui ka ehitusettevõtja üld- ja korralduskulusid. Ühikhinnad on toodud ilma käibemaksuta.

Arvutustes kasutatud ühikhinnad põhinevad kahe ehitusfirma hinnangulistele pakkumistele konkreetse hoone rekonstrueerimiseks. Samas tuleb arvesse võtta, et koostatud maksumustabel on orienteeruv, kuna ehituse hinda mõjutab nii hetkeolukord turul, ehitamise aeg kui ka Tellija poolt koostatud konkreetne töövõtuprogramm. Seetõttu tuleb enne reaalse töödega alustamist kindlasti valitud lahenduse hind täpsustada.

Juhul kui valitakse fassaadi lisasoojustamine, tuleb kindlasti ehitajaga läbi rääkida täpsed konstruktiivsed lahendused fassaadi taastamise osas (on võimalik, et hoone arhitektuurne ilme muutub minimaalselt seoses lisasoojustuse paigaldamise ja viimistlemise tehniliste lahenduste võimalikkusega) ning samuti tuleb saada nõusolek Tartu Linnavalitsuse Kultuuriväärtuste Ametilt, kes kontrollib valitud lahenduse sobivust miljöövärtusliku ala piirangutega.

Alljärgnevas tabelis (Tabel 8.1) on toodud arvutustes kasutatud mahud ja ühikhinnad. Tulbas 4 „Ühiku hind – uus“ on toodud maksumused juhul, kui fassaad soojustatakse ning kogu dekoor taastatakse hiljem soojustuse peale (karniisid ja aknaääred ehitatakse soojustusplaatidest ja krohvitakse originaalilähedase välisilme saavutamiseks, keerukamad detailid taastatakse kips-stukina). Tulbas 5 „Ühiku hind – taastamine“ on ühikhinnad juhul, kui fassaad puhastatakse, tehakse vajalikud karniiside ja seinte krohviparandused ning värvitakse. Tulbas 6 on toodud viited Lisas 1 asuvatele fotodele, et illustreerida mahutabelis kirjeldatud tööliike.

Tabel 8.1 Teostatavate tööde ühikhinnad eurodes

TÖÖ	MAHT	ÜHIK	ÜHIKHIND UUS	ÜHIKHIND TAASTAMINE	JOONIS
1	2	3	4	5	6
Lahtise krohvi ja fassaadidekoori eemaldamine	1552,6	m ²	7,00	3,00	
Sokli osaline puhastamine	24,5	m ²	23,00	15,00	
Seinte ja sokli soojustamine SPU plaat 50 mm	1577,1	m ²	33,20	-	
Seinte ja sokli soojustamine EPS60 Silver 50 mm	1577,1	m ²	18,40	-	
Seinte ja sokli soojustamine EPS60 Silver 150 mm	1577,1	m ²	25,70	-	
Aknapalede soojustamine 20 mm	132,0	m ²	17,00	-	
Akende ja välisuste vahetamine ning töstmine sein välispinda (150mm soojustamise puhul)	103	tk	560,00	-	
Kaupluse akende ja uste vahetus	6	tk	1 380,00	-	
Seinte ja aknapalede krohvimine lubikrohviga, värvimine	1552,6	m ²	26,00	33,00	
<i>Sokli krohvimine lubikrohviga, värvimine (vt märkust tabeli järel)</i>	122,4	m ²	26,00	30,00	
Sokli viimistlemine paekiviplaadidega või korrastamine ilma soojustuseta	122,4	m ²	150,00	20,00	
Kaupluse akende ja uste ümbruse viimistlus koos sokliosaga	8	tk	300,00	300,00	L1.8
Väikesed karniisid akende allservas, aknaääristus	58	tk	40,00	23,00	L1.11
I korruse ja trepikodade dekoratiivne aknaääristus	36	tk	250,00	220,00	L1.9
Lillekastiga akende konsool	6	tk	600,00	300,00	L1.10
Kolmnurkviilude viimistlus koos vaaside taastamisega	28,8	m ²	33,00	33,00	L1.7
Ümmargused stukkdetailid fassaadil	2	tk	200,00	100,00	L1.10
Viisnurkadega stukkdetailid fassaadil	2	tk	650,00	350,00	L1.9
Stukkdetailid viiludel	2	tk	1 200,00	600,00	L1.7
Rõdude taastamine	2	tk	950,00	950,00	L1.16
Räästakarniisi taastamine	153,1	jm	27,00	27,00	L1.13
Risaliidi viimistlus, karniisid, detailid	1	kmpl	20 000,00	12 000,00	L1.14
Trepikodade uste ümbruse korrastamine	3	kmpl	1 500,00	1 500,00	L1.12
Keldri sissepääsu varikatuse korrastamine	1	kmpl	4 000,00	4 000,00	L1.19
Endiste laorumide trepi remonttööd	1	kmpl	450,00	450,00	L1.20
Pööningu vahelae soojustamine puistevillaga	212,34	m ³	-	16,00	
Käiguteede ehitamine	80	jm	-	43,00	
Keldri lae soojustamine 100mm EPS	636,3	m ²	-	20,60	

Märkus: Sokli krohvimine lubikrohviga muudab hoone arhitektuurset välisilmet ning kohalik omavalitsus sellist lahendust ei aktsepteeri. Maksumus on siinkohal välja toodud võrdluseks alternatiivsele lubatud lahendusele, milleks on sokli katmine paekiviplaadidega. Koondmaksumuse leidmisel on kasutatud paekiviimistluse hinda.

Erinevate rekonstrueerimislahenduste kogumaksumused ning maksumused köetava pinna ruutmeetri kohta on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 8.2). Eraldi on välja toodud soojustamise, avatäidete vahetuse ning fassaadi taastamise maksumused. Meetmete detailed maksumustabelid on toodud Lisas 4.

Tabel 8.2 Rekonstrueerimislahenduste maksumused

REKONSTRUEERIMIS-LAHENDUS	Lisa-soojustamine, €	Avatäidete vahetus, €	Fassaadi puhastamine ja taastamine, €	KOGU-MAKSUMUS, €	€/m²
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	33 064,00	-	127 512,90	160 576,94	75,82
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	45 291,50	68 720,00	127 512,90	241 524,44	114,04
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	57 854,00	-	127 512,90	185 366,94	87,53
Fassaad korrastatud, pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS50	19 945,22	-	101 246,50	121 191,72	57,23

8.2. Rekonstrueerimislahenduste tasuvusaeg

Rekonstrueerimislahenduste paremaks võrdluseks on leitud kõigi meetmete lihttasuvusajad arvestamata inflatsiooni või küttehinna tõusuga ning võrdluseks ka arvestades soojusenergia hinnatõusu 5% aastas. Tulemused esitatud vastavalt tabelites Tabel 8.3 ja Tabel 8.4.

Tabel 8.3 Rekonstrueerimislahenduste lihttasuvusaeg

	Sääst aastas, EUR/m²	Meetme maksumus, EUR/m²	Lihttasuvusaeg, aastat
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	-3,03	75,82	25
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	-5,28	114,04	22
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	-3,34	87,53	26
Fassaad korrastatud, pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS	-3,54	57,23	16

Tabel 8.4 Rekonstrueerimislahenduste tasuvusaeg arvestades soojusenergia hinnatõusu

	Esialgne sääst aastas, EUR/m²	Meetme maksumus, EUR/m²	Tasuvusaeg, aastat
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	-3,03	75,82	17
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	-5,28	114,04	15
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	-3,34	87,53	17
Fassaad korrastatud, pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS	-3,54	57,23	12

9. TULEMUSED

9.1. Välispiirete soojusjuhtivus

Töö käigus leiti hoone välispiirete soojusjuhtivused kõikide rekonstrueerimislahenduste puhul. Kuigi avatäidete soojusjuhtivuse väärtusi ei arvatatud, on need siinkohal välja toodud ülevaatlikkuse mõttes. Tulemused on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 9.1).

Tabel 9.1 Välispiirete ja avatäidete soojusjuhtivused U, W/(m · K)

TARIND	Soojustamata	Fassaadil 50 mm EPS60 SILVER	Fassaadil 150 mm EPS60 SILVER	Fassaadil 50 mm SPU P	Rockwool Granrock 250mm ja EPS50 100 mm
Krohvitud välissein	1,30	0,43	0,19	0,34	1,30
Pööningu vahelagi	1,96	1,96	1,96	1,96	0,15
I korruse põrand/keldri lagi	0,88	0,88	0,88	0,88	0,25
I korruse põrand pinnasel	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Algsed puitaknad	2,70	2,70	-	2,70	2,70
Vahetatud aknad	1,60	1,60	-	1,60	1,60
Uued aknad	-	-	1,10	-	-
Olemasolevad välisüksed	3,00	3,00	-	3,00	3,00
Uued välisüksed	-	-	1,00	-	-

9.2. Soojuskaod läbi välispiirete

Välispiirete soojusjuhtivuste ning külmasildade lisajuhtivuste kaudu leiti soojakaod läbi välispiirete ning arvestati saadud tulemused ümber aastaseks soojakaoks hoone kätava pinna ruutmeetri kohta. Tulemused on esitatud tabelis (Tabel 9.2).

Tabel 9.2 Soojuskaod läbi välispiirete hoone kätava pinna ruutmeetri kohta

	W/(m ² ·K)	kWh/m ² aastas	EUR/m ² aastas	Sääst aastas EUR/m ²
Soojustamata fassaad	2,32	238,85	12,74	
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	1,77	182,14	9,72	-3,03
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	1,71	176,25	9,40	-3,34
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	1,36	139,90	7,46	-5,28
Pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS	1,67	172,42	9,20	-3,54

9.3. Rekonstrueerimislahenduste maksumus

Töö käigus hinnati erinevate rekonstrueerimislahendustega seonduvate tööde maksumusi ning leiti erinevate meetmete teostamise maksumused hoone köetava pinna ruutmeetri kohta. Tulemused on esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 9.3).

Tabel 9.3 Rekonstrueerimislahenduste maksumused

REKONSTRUEERIMIS-LAHENDUS	Lisa-soojustamine, €	Avatäidete vahetus, €	Fassaadi puhastamine ja taastamine, €	KOGU-MAKSUMUS, €	€/m ²
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	33 064,00	-	127 512,90	160 576,94	75,82
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	45 291,50	68 720,00	127 512,90	241 524,44	114,04
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	57 854,00	-	127 512,90	185 366,94	87,53
Fassaad korrastatud, pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS50	19 945,22		101 246,50	121 191,72	57,23

9.4. Rekonstrueerimislahenduste tasuvusaeg

Töö käigus leiti erinevate meetmete tasuvusajad arvestades soojusenergia hinnatõusu 5% aastas. Tulemused esitatud alljärgnevas tabelis (Tabel 9.4).

Tabel 9.4 Rekonstrueerimislahenduste tasuvusaeg

	Esialgne sääst aastas, EUR/m ²	Meetme maksumus, EUR/m ²	Tasuvusaeg, aastat
Fassaad soojustatud 50mm EPS SILVER	-3,03	75,82	17
Fassaad soojustatud 150mm EPS SILVER	-5,28	114,04	15
Fassaad soojustatud 50mm SPU P	-3,34	87,53	17
Fassaad korrastatud, pööningu vahelagi soojustatud 250mm puistekivikillaga Rockwool Granrock ning keldri lagi soojustatud 100mm EPS50	-3,54	57,23	12

10. ARUTELU

Töö käigus leitud hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutused näitasid, et olemasolevas olukorras on piirete soojusjuhtivused suurte väärtustega ning et nende kaudu toimub märgatav energiakadu. Eelpool toodud tabelist (Tabel 9.1) selgub, et vastavalt valitud lahendusele on välisseinte soojusjuhtivust võimalik vähendada 67...86% ning vahelagede puhul isegi 92%. Saadud tulemused tõestavad, et isegi õhuke kiht isolatsioonimaterjali muudab piirde kordades soojapidavamaks.

Algse olukorra soojuskadusid kirjeldavast tabelist (Tabel 6.2) selgub, et kõige suurem osakaal kogu hoone soojakadudest on välisseintel ja pööningu vahelael, vastavalt 37% ja 28%. Avatäited moodustavad soojakadudest 13%, keldri vahelagi 9% ja külmasillad 8%. Siinkohal tasub märkida, et kuigi pööningu pindala on ligikaudu kaks korda väiksem kui välisseinte kogupindala, siis soojuskadud läbi nende tarindite on täiesti võrreldavates suurusjärgudes. Kui juurde lisada ka keldri vahelae osakaal, siis on tulemused (pindala ja soojuskadude suhe summaarse soojuserikao suhtes) peaaegu võrdsed. See näitab, et lisaks horisontaalsele soojusvoole läbi seinte on väga oluline osa hoone soojuskadudes ka vertikaalsel soojusvool ehk kadudel läbi lagede ja põrandate. Niisiis võib väita, et lisasoojustusvariantide kaalumisel tulekski eelkõige mõelda välisseinte ning pööningu ja keldri vahelagede soojustamisele, järgmiseks avatäidete vahetusele ning külmasildade likvideerimisele. Käesolevas töös on ka selle loogika järgi toimitud.

Analüüsides välispiirete summaarse soojuserikao muutumist erinevate soojustuslahenduste korral (Tabel 9.2) selgub, et soojuserikadu väheneb fassaadi lisa-soojustamisel 24...41% ning vahelagede soojustamisel 28%. Kõige enam väheneb soojuserikadu kasutades 150 mm materjali EPS SILVER (41%), järgmisel kohal on pööningu ja keldri vahelagede soojustamisega saavutatav soojuserikao vähenemine (28%) ning kõige vähem paraneb olukord fassaadi soojustamisel 50 mm paksuse isolatsiooniga: SPU P korral 26% ja EPS60 SILVER-i puhul 24%.

Tulemused on ootuspärased, kuna on otseses sõltuvuses lisatava soojustuse paksusest, materjali omadustest ning soojustamisega seotud täiendavatest töödest. Näiteks fassaadi soojustamisel 50 mm EPS SILVER-iga on loogiline, et saavutatav võit

energiakadude pealt jääb väiksemaks kui sama paksusega SPU P plaadi puhul, kuna SPU on materjalina soojapidavam. 150 mm kiht EPS SILVER-it annab parima tulemuse, sest lisaks välisseinte soojapidavusele muutub selle lahenduse puhul ka avatäidete soojusjuhtivus – aknad ja uksed vahetatakse uute ja soojapidavamate vastu. Kui akende vahetust mitte arvestada oleks saavutatav sääst ilmselt võrreldav pööningu ja keldri vahelagede soojustamisel saavutatavaga.

Kui soojuskaod rahasse ümber arvestada (Tartu Keskkatlamaja piirhinna järgi), selgub, et soojakadude pealt on võimalik kokku hoida 3,03...5,28 €/m² kohta aastas. Keskmise 60 m² pinnaga korteri jaoks tähendab see aastas umbes 180...315 eurot säästu.

Teisalt tuleb arvestada ka rekonstrueerimislahenduste endi maksumust. Võrreldes suurpaneelilamute või teiste renoveerimist vajavate lihtsa fassaadiga kortermajadega, on käsitletava Puiestee 81 hoone fassaadi korrastamine või taastamine suhteliselt kulukas. Ainuüksi fassaadi taastamine lisasoojustamise korral võib olenevalt valitud lahendusest kogu rekonstrueerimismeetme maksumusest moodustada 53...79%. Pööningu ja keldri vahelagede soojustamise puhul on soojustamise maksumus veelgi väiksema osakaaluga ning fassaadi korrastamine moodustab lausa 84% meetme kogumaksumusest.

Kui arvestada eeldatavaks soojusenergia hinnatõusuks 5% aastas, on end kõige kiiremini tagasi teenivaks soojustuslahendusteks pööningu ja keldri vahelagede soojustamine koos fassaadi korrastamisega. Tasuvusajalt järgmine on välisseinte katmine 150 mm EPS60 SILVER-iga. Nende meetmete tasuvusaeg on vastavalt 12 ja 15 aastat. Pikema tasuvusajaga, 17 aastat, on õhemate soojustuskihtidega lahendused EPS60 SILVER-i ja SPU P plaatidega.

Saadud tulemuste põhjal võib öelda, et Puiestee 81 hoone fassaadi rekonstrueerimiseks ning energiatõhususe parandamiseks on kaks mõistlikku lahendust: kas jätta välisseinad nii nagu on, teostades vaid remonttööd ning energia säästmiseks soojustada pööningu ja keldri vahelage või siis võtta ette põhjalik välisseinte soojustamine koos avatäidete vahetusega. Kuigi viimane on tasuvusajalt pikem, räägib selle lahenduse kasuks eelkõige avatäidete asendamisega saavutatav ühtne ja korrektne hoone välisilme.

Tegelikult tuleks aga energiatõhususe ning hoone sisekliima ning elamismugavuse parendamiseks alustada tõenäoliselt tehnosüsteemidest. Kuna käesolevas töös tehtud arvutused ja esitatud tulemused eeldavad ühtlast hoone sisekliimat, siis rekonstrueerimata kütte- ja ventilatsioonisüsteemiga ehitises ei saavutata lisasoojustamisel kindlasti selliseid tulemusi nagu teoreetilised arvutused näitavad.

Piltlikult öeldes tähendab see seda, et kui praegu on hoones küttesüsteem amortiseerunud ning soojuse jaotumine ebaühtlane, siis võib hoone lisasoojustamisel tekkida olukord, kus tingimused lähevad küll maja üldtulemusi vaadates paremaks, kuid korterite lõikes võib sisekliima muutuda veel ebaühtlasemaks. See tähendab, et korterites, kus on praegu kütteperioodil liiga soe (kõrgemad korrused), läheb veel palavamaks (eriti juhul, kui soojustatakse pööningu vahelagi), samas kui teistes korterites temperatuur märgatavalt ei tõuse.

Fassaadi lisasoojustamisel muutub kindlasti piirete õhupidavus nii seoses isolatsioonimaterjalide paigaldamisega välisseinale kui ka avatäidete vahetamisega. See tähendab, et loomulik õhuvahetus läbi akende ja piirdetarindite halveneb ning normaalse sisekliima tagamiseks tuleks paigaldada (soojustagastusega) sund-ventilatsioon.

Tulles aga tagasi Tellija poolt seatud ülesande juurde, milleks oli fassaadi rekonstrueerimine, siis kahe võimaliku variandi vahel valimiseks tuleks korteriühistul esiteks hinnata oma rahalisi võimalusi. Summaarselt on kahe meetme (fassaadile 150 mm lisasoojustust või pööningu ja keldri vahelagede soojustamine koos fassaadi korrastamisega) rahaline vahe kaks korda, suurusjärgus 120 000 eurot, mis ruutmeetri peale jagatuna teeb peaaegu 57 eurot ja keskmise (60 m²) korteri peale kokku üle 3 400-eurose summa.

Teiseks tuleb paika panna tulevikuplaanid: kui praegu valida rahaliselt soodsam lahendus (fassaadi korrastamine) ning hiljem leida, et ka välisseinu tuleks ikkagi soojustada, siis on esimese hooga tehtud fassaadi remonttööd asjatu vaev.

Kolmas aspekt, mis otsuse tegemist mõjutab, on Tellija subjektiivne arvamus. Kuigi fassaadi lisasoojustamisel ja hilisemal dekoratiivsete elementide taastamisel ei eksita otseselt ühegi seaduse ega määruse vastu, siis lähtudes kultuuriväärtuste säilitamise

põhimõttest võiks võimalusel alati eelistada originaali säilitamist ja eksponeerimist koopiategemisele.

Käsitletav hoone asub miljööväärtuslikul alal, mis on loodud just selleks, et säilitada kogu ümbruskonna ajaloolist ilmet. Käesoleva töö autori meelest on nn võidutseva stalinismi ajastul ehitatud hooned viimased nõukogude ajal ehitatutest, millel on lisaks inimeste majutamise eesmärgile ka arhitektuurne väärtus. Võrdluseks võib tuua stalinismile järgneval paaril kümnendil ehitatud „hruštšovkad“ ning suurpaneelramud, mis nüüd fassaadi rekonstrueerimise käigus tihti ilmekama arhitektuurse välisilme saavad (eri värvi rõdud, toonilahendused fassaadil).

Praegu vaatavad muinsuskaitstjad ebameeldivustundega vanu mõisahooneid, mis nõukogude ajal koolideks, haiglateks või sanatooriumiteks ümber ehitatud – suurtesse saalidesse on ehitatud vaheseinad, dekoratiivsed maalingud ja muud elemendid on hävitatud või kaetud. Restaureerijad näevad kurja vaeva, et mõnekümne aasta vanuste lateksvärvi kihtide alt autentset viimistlust leida ja taastada. Kunagi võivad samas olukorras olla just II maailmasõja järgsed ehitised ning siis oleks kahju tõdeda, et kogu väärtus, mis ehitisel oli, on asendatud vahtplastist karniiside ja kipsdekoratsioonidega.

Seetõttu julgeb töö autor parima lahendusena soovitada fassaadi taastamist originaalkujul ja -materjalidega ning energiatõhususe tõstmiseks otsida alternatiive välisseinte soojustamisele: soojustada pööningu ja keldri vahelaed nagu ka töö käigus välja pakutud, lisaks mõelda avatäidete vahetusele ning tehnosüsteemide rekonstrueerimisele.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli vastavalt Tellija soovile leida võimalikult optimaalne lahendus miljööväärtuslikul hoonestusalal paikneva telliskorterelamu Puiestee 81, Tartu fassaadi korrastamiseks ning hoone energiatõhususe parandamiseks.

Esmalt on antud lühiülevaade telliselamute rekonstrueerimisest ning ehitustegevuse piirangutest miljööväärtuslikel aladel. Seejärel on tutvustatud arvutusmetoodikaid ja põhimõtteid, millest energiatõhususe arvutustes lähtuti. Edasi on tutvustatud hoone ajalugu, hetkeseisukorda ning kirjeldatud võimalikke rekonstrueerimislahendusi ja lisasoojustamiseks kasutatavaid materjale.

Järgnevalt on arvatud hoone välispiirete ning külmasildade soojusjuhtivused ning nendest põhjustatud energiakaod. Viimasena on hinnatud erinevate rekonstrueerimislahenduste maksumust ning leitud kõigi meetmete tasuvusajad vastavalt iga lahenduse puhul säästetud kuludele soojusenergia arvelt.

Töö lõpuosas on esitatud tulemused ning analüüs. Välja on toodud rekonstrueerimismeetmete erisused ning hinnatud, milline lahendus oleks käsitletava hoone jaoks optimaalseim.

Töös välja pakutud rekonstrueerimismeetmete seast osutus end majanduslikult kõige kiiremini, 12 aasta jooksul ära tasuvaks lahendus, mis hõlmab endas fassaadi korrastamist ilma lisasoojustamiseta ning energiatõhususe parandamiseks soojustuse paigaldamist pööningu ja keldri vahelagedele.

Lisaks majanduslikule aspektile sobib mainitud lahendus teiste variantidega võrreldes kõige paremini miljööväärtusliku keskkonna ja kultuuriväärtuste säilitamise põhimõttega, kuna hoone fassaad taastatakse võimalikult originaalilähedaselt ning säilinud detaile ei hävitata ega kaeta kinni.

KIRJANDUS

- [1] Hevac OÜ, „Soovitused muinsuskaitse ja miljööväärtuslike kivihoonete energiatõhusamaks muutmiseks,“ 2013. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tartu.ee/data/Energiat%C3%B5husus%20eesti%20keelne%20vormistatud.pdf>. [Kasutatud 21 05 2014].
- [2] „Tartu linna ehitusmäärus,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://info.raad.tartu.ee/webaktid.nsf/web/viited/VOLM2013121900007>. [Kasutatud 22 05 2014].
- [3] „Ehitusseadus,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/104072013008?leiaKehtiv>. [Kasutatud 22 05 2014].
- [4] T. Kalamees ja R. Liias, „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga,“ TTÜ, Tallinn, 2010.
- [5] EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2010.
- [6] EVS-EN ISO 13370:2008. Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2008.
- [7] „Määrus nr 68 "Energiatõhususe miinimumnõuded",“ Vabariigi Valitsus, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/124012014007>. [Kasutatud 02 05 2014].
- [8] *EVS-EN ISO 10211:2008 Külmasillad hoones. Soojavood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid.*, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2008.
- [9] M. Kalm, Eesti 20. sajandi arhitektuur, Tallinn, 2001.
- [10] L. Välja, Stalinistlik maja. Kortermaja tüübid ja säästev uuendamine, Tallinn: Tallinna Kultuuriväärtuste Amet, 2012.
- [11] Ü. Juhanson ja R. Teppo, Intervjueeritavad, *Miljööväärtuslike telliskortermajade soojustamisest ja selle maksumusest.* [Intervjuu]. 29 04 2014.
- [12] T. Masso, Ehituskonstruktori käsiraamat, Tallinn: EHITAME, 2012.
- [13] „ET-2 0404-0764. Välisseina difusiooniarvutus,“ *Eesti Ehitusteave*, 2009.

- [14] „EPS SILVER. Innovatiivne soojustamine,“ Estplast Tootmine OÜ, [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.estplast.ee/files/u2/EPS_60_Silver_EST.pdf. [Kasutatud 19 04 2014].
- [15] „SPU Isolatsioonimaterjalid – Soome kvaliteet üle 35 aasta,“ SPU Oy / SPU Insulation Baltics OÜ, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.spu.ee/tooted/>. [Kasutatud 19 04 2014].
- [16] „SPU P,“ SPU Oy / SPU Insulation Baltics OÜ, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.spu.ee/tooted/toote/spu-p/>. [Kasutatud 19 04 2014].
- [17] P. Klõšeiko, E. Arumägi ja T. Kalamees, „Muinsuskaitse all oleva koolimaja tellistest välisseina seespoolse lisasoojustuse soojus- ja niiskustehnilise toimivuse uuring,“ TTÜ, Tallinn, 2013.
- [18] „Granrock,“ Rockwool OÜ, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.rockwool.ee/tooted+ja+lahendused/u/3833/ehitusisolatsioon/granrock>. [Kasutatud 02 05 2014].
- [19] „ESTplast vahtpolüstüreenist soojustusplaadid,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.estplast.ee/files/u2/Tootekataloog.pdf>. [Kasutatud 05 04 2014].
- [20] „Kenover välisüksed,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.kenover.ee/sisu/26_24Lae_alla_tapsem_valisukse_tootekaart_PDF_formaadis_siit_15_KB_.pdf. [Kasutatud 15 05 2014].
- [21] „Kraadpäevad,“ SA KredEx, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/>. [Kasutatud 19 04 2014].
- [22] „Kooskõlastatud piirhinnad,“ Konkurentsiamet, [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.konkurentsiamet.ee/?id=18308>. [Kasutatud 19 04 2014].
- [23] „Fassaadid,“ Estplast Tootmine OÜ, [Võrgumaterjal]. Saadaval: www.estplast.ee/et/fassaadid. [Kasutatud 10 04 2014].
- [24] Eesti Standardikeskus, *EVS-EN ISO 10456:2008 Ehitusmaterjalid ja tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid*, 2008.

LISAD

Lisa 1. Pildid Puiestee 81 olemasolevast olukorrast



Joonis L1.1 Vaade hoonele idast



Joonis L1.2 Vaade hoonele edelast



Joonis L1.3 Vaade hoonele edelast



Joonis L1.4 Vaade hoonele läänest



Joonis L1.5 Vaade hoone siseõue kirdest



Joonis L1.6 Vaade hoone siseõue põhjast



Joonis L1.7 Kolmnurkviil vaaside ning ümaraknaga



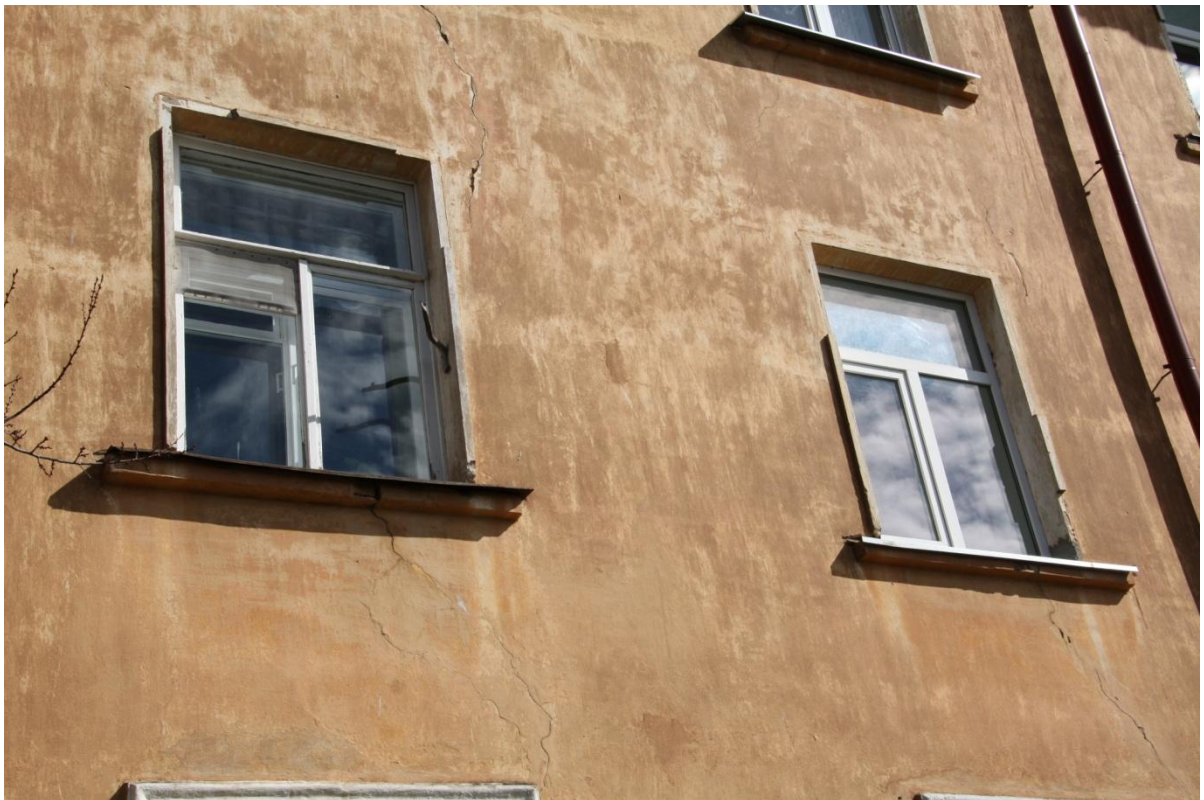
Joonis L1.8 Kunagise kaupluse sissepääs ning vaateaken



Joonis L1.9 I korruse aken, viisnurgaga stukkdetail ning lillekastikonsooliga II korruse aken



Joonis L1.10 Lillekastikonsooliga aken ning selle alune stukkdetail



Joonis L1.11 II ja III korruse akendel on osaliselt lagununud krohvääristus, fassaadikrohvis on mōrad



Joonis L1.12 Trepikoja sissepääs. Vasakpoolne ning trepikoja aken ilmselt ehitusaegne, paremal näha vale ruudujaotusega PVC-aken



Joonis L1.13 Trepikoja poolkaaraken. Räästakarniis ja fassaadikrohv on saanud niiskuskahjustusi



Joonis L1.14 Risaliit hoone tagaküljel



Joonis L1.15 Risaliidi dekoratiivsed elemendid



Joonis L1.16 Tugevate niiskuskahjustustega rõdu hoone läänepoolses otsas



Joonis L1.17 Räästakarniisi kahjustused kolmnurkviilu servas



Joonis L1.18 Vale profiiliga ning tsementkrohviga remonditud karniis



Joonis L1.19 Keldri sissepääsu lagunenud varikatus



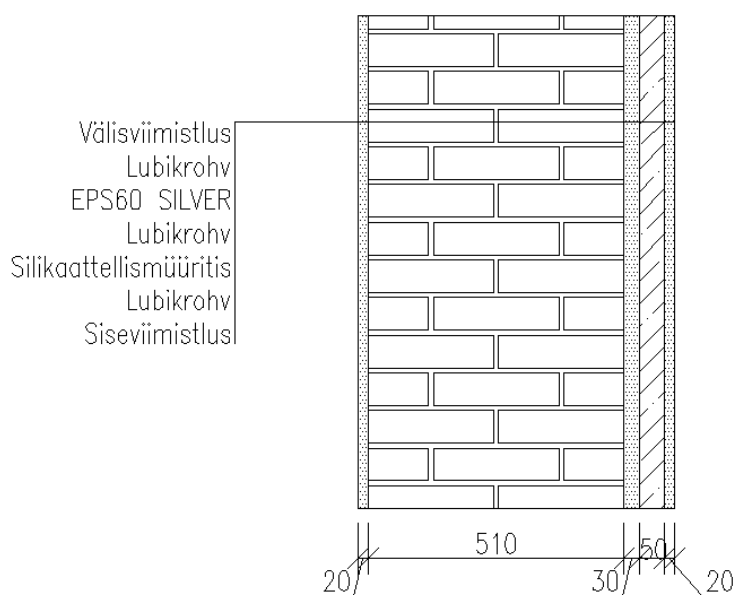
Joonis L1.20 Kaupluse laoruumide endine sissepääs, ukseava kinni laotud aknaks

Lisa 2. Homogeensete piirdetarindite soojusjuhtivused

L2.1 Telliskivist massiivse kakskiviseina soojusjuhtivus, variant 1: soojustus 50mm EPS SILVER

Olemasolevalt välisseinalt eemaldatakse lahtine krohv ning tehakse vajadusel parandused. Seejärel soojustatakse piire 50mm vahtpolüstüreenplaatidega EPS60 SILVER ning fassaad krohvatakse lubikrohviga (vt Joonis L2.1. ja Tabel L2.1).

Joonis L2.1 Välisseina löige soojustusega 50mm EPS60 SILVER



Tabel L2.1 Piirdetarindi materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseri juhtivus ehitises $\lambda, W/(m \cdot K)$	Soojustakistus $R, (m^2 \cdot K)/W$
Välispind	-	-	0,04
Lubikrohv	0,02	0,80	-
EPS60 SILVER	0,05	0,033[14]	-
Lubikrohv	0,03	0,80	-
Silikaatkivimüüritis	0,51	0,95	-
Lubikrohv	0,02	0,80	-
Sisepind	-	-	0,13

Tarindi kogusoojustakistus R_T arvutatakse valemiga (5.11):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,02}{0,80} + \frac{0,51}{0,95} + \frac{0,03}{0,80} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,02}{0,80} + 0,04 = 2,31 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

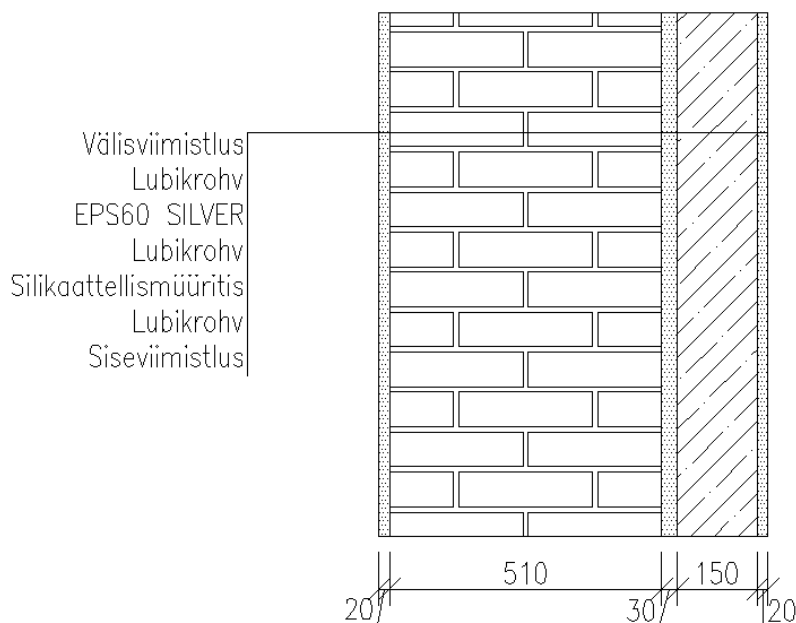
Piirde soojusjuhtivus arvutatakse valemiga (5.1):

$$U_{EPS50} = \frac{1}{2,31} = 0,42 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

L2.2 Telliskivist massiivse kakskiviseina soojustatus, variant 2: soojustus 150mm EPS SILVER

Olemasolevalt välisseinalt eemaldatakse lahtine krohv ning tehakse vajadusel parandused. Seejärel soojustatakse piire 150mm vahtpolüstüreenplaatidega EPS60 SILVER ning fassaad krohvatakse (vt Joonis L2.2 ja Tabel L2.2).

Joonis L2.2 Välisseina löige soojustusega 150mm EPS60 SILVER



Tabel L2.2 Piirdetarindi materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseriijuhtivus ehitises $\lambda, W/(m \cdot K)$	Soojustakistus $R, (m^2 \cdot K)/W$
Välispind	-	-	0,04
Lubikrohv	0,02	0,80	-
EPS60 SILVER	0,15	0,033[23]	-
Lubikrohv	0,03	0,80	-
Silikaatkivimüüritis	0,51	0,95	-
Lubikrohv	0,02	0,80	-
Sisepind	-	-	0,13

Tarindi kogusoojustakistus R_T arvutatakse valemiga (5.11):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,02}{0,80} + \frac{0,51}{0,95} + \frac{0,03}{0,80} + \frac{0,15}{0,033} + \frac{0,02}{0,80} + 0,04 = 5,31 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

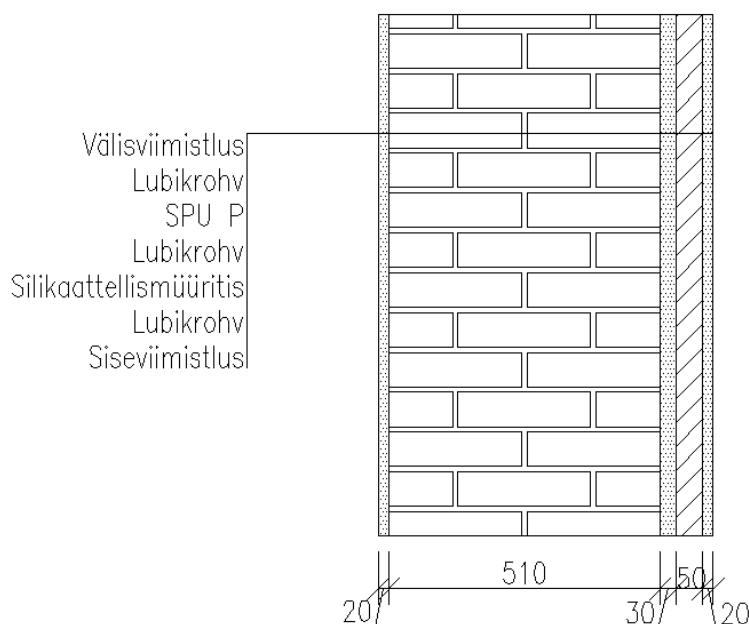
Piirde soojustatus arvutatakse valemiga (5.1):

$$U_{EPS150} = \frac{1}{5,34} = 0,18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

L2.3 Telliskivist massiivse kakskiviseina soojustuvitus, variant 3: soojustus 50mm SPU P

Olemasolevalt välisseinalt eemaldatakse lahtine krohv ning tehakse vajadusel parandused. Seejärel soojustatakse piire 50mm vahtpolüüretaanplaatidega SPU P ning fassaad krohvatakse lubikrohviga (vt Joonis L2.3 ja Tabel L2.3).

Joonis L2.3 Välisseina löige soojustusega 50mm EPS60 SILVER



Tabel L2.3 Piirdetarindi materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseri juhtivus ehitises $\lambda, W/(m \cdot K)$	Soojustakistus $R, (m^2 \cdot K)/W$
Välispind	-	-	0,04
Lubikrohv	0,02	0,80	-
SPU P	0,05	0,023 [16]	-
Lubikrohv	0,03	0,80	-
Silikaatkivimüüritis	0,51	0,95	-
Lubikrohv	0,02	0,80	-
Sisepind	-	-	0,13

Tarindi kogusoojustakistus R_T arvutatakse valemiga (5.2):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,02}{0,80} + \frac{0,51}{0,95} + \frac{0,03}{0,80} + \frac{0,05}{0,023} + \frac{0,02}{0,80} + 0,04 = 2,97 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

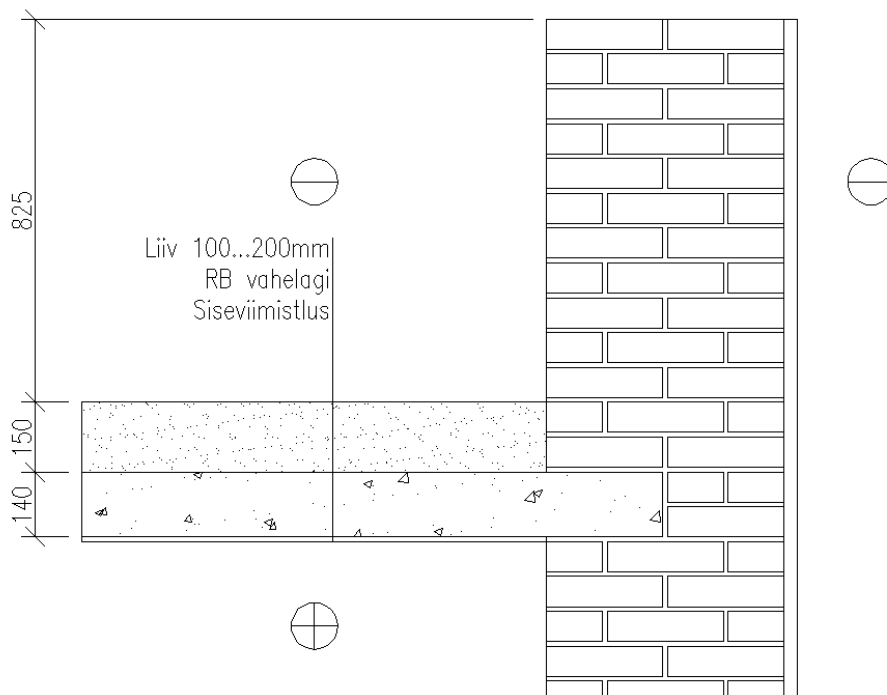
Piirde soojusjuhtivus arvutatakse valemiga (5.1):

$$U_{SPU50} = \frac{1}{2,97} = 0,34 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

L2.4 Olemasoleva pööningu vahelae soojusjuhtivus

Olemasolev pööningu vahelagi on 140mm raudbetoon-õõnespaneelidest, millele on soojustuseks puistatud 100...200mm liiva (vt Joonis L2.4 ja Tabel L2.4).

Joonis L2.4 Olemasoleva pööningu vahelae lõige



Tabel L2.4 Piirdetarindi materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseri juhtivus ehitises $\lambda, \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Soojustakistus $R, (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$
Välispind	-	-	0,04
Tuulutatav pööning plekk- katusega	-	-	0,20
Liiv	0,15	2,00	-
Raudbetoon	0,14	2,00	-
Lubikrohv	0,02	0,80	-
Sisepind	-	-	0,10

Tarindi kogusoojustakistus R_T arvutatakse valemiga (5.2):

$$R_T = 0,10 + \frac{0,02}{0,80} + \frac{0,14}{2,00} + \frac{0,15}{2,00} + 0,20 + 0,04 = 0,51 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

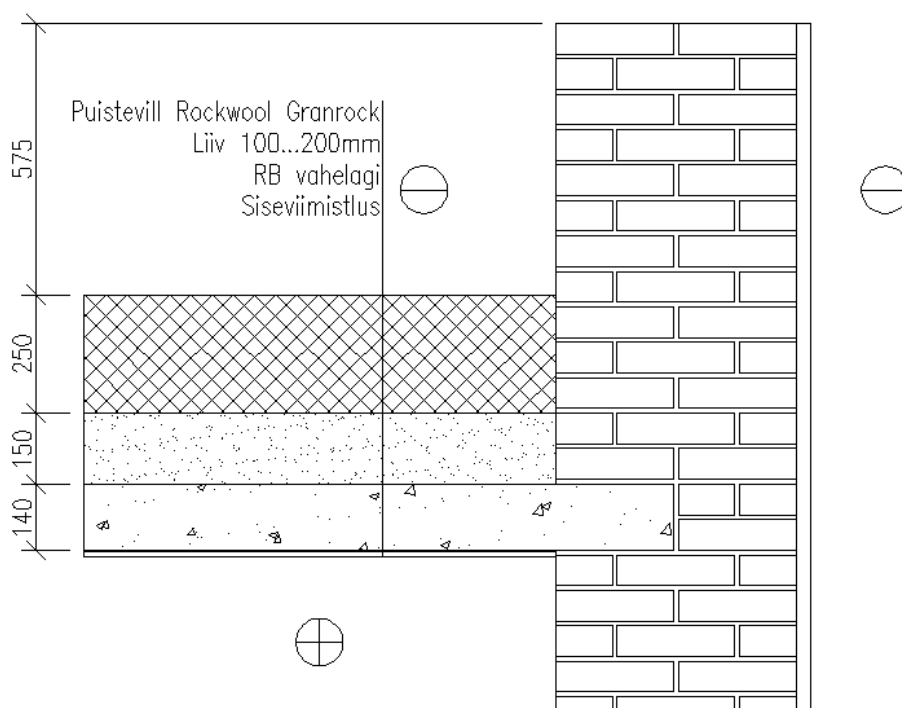
Piirde soojusjuhtivus arvutatakse valemiga (5.1):

$$U_{PL} = \frac{1}{0,51} = 1,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

L2.5 Soojustatud pööningu vahelae soojusjuhtivus

Olemasolevat pööningu vahelae on hea soojustada puistevillaga, kuna selle paigaldamine on võrreldes soojustusplaatidega kiire ning efektiivne – puistevill täidab võimalikud ebatasasused ühtlaselt, samuti ei pea korstnate ja torude läbiviikude juures plaate sobivaks lõikama. Ainuke lisakulutus seoses pööningu vahelae soojustamisega on puidust käiguteede ehitamine pööningule, et tagada pääs korstnate ning katuseluukide juurde. Soojustatud pööningu vahelae kihid ja nende omadused on toodud joonisel 2.5 ja tabelis 2.5.

Joonis L2.5 250mm lisasoojustusega pööningu vahelae lõige



Tabel L2.5 Piirdetarindi materjalide kihtide paksused ja omadused

Materjal	Toote paksus, m	Soojuseri juhtivus ehitises $\lambda, W/(m \cdot K)$	Soojustakistus $R, (m^2 \cdot K)/W$
Välispind	-	-	0,04
Tuulutatav pööning plekk- katusega	-	-	0,20
Puistekivivill Rockwool Granrock	0,25	0,042[18]	-
Liiv	0,15	2,00	-
Raudbetoon	0,14	2,00	-
Lubikrohv	0,02	0,80	-
Sisepind	-	-	0,10

Tarindi kogusoojustakistus R_T arvutatakse valemiga (5.2):

$$R_T = 0,10 + \frac{0,02}{0,80} + \frac{0,14}{2,00} + \frac{0,15}{2,00} + \frac{0,25}{0,042} + 0,20 + 0,04 = 6,46 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Piirde soojusjuhtivus arvutatakse valemiga (5.1):

$$U_{PL250} = \frac{1}{6,46} = 0,15 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Lisa 3. Külmasildade arvutuse abitabelid

L3.1 THERM külmasildade arvutused: välissein-välissein

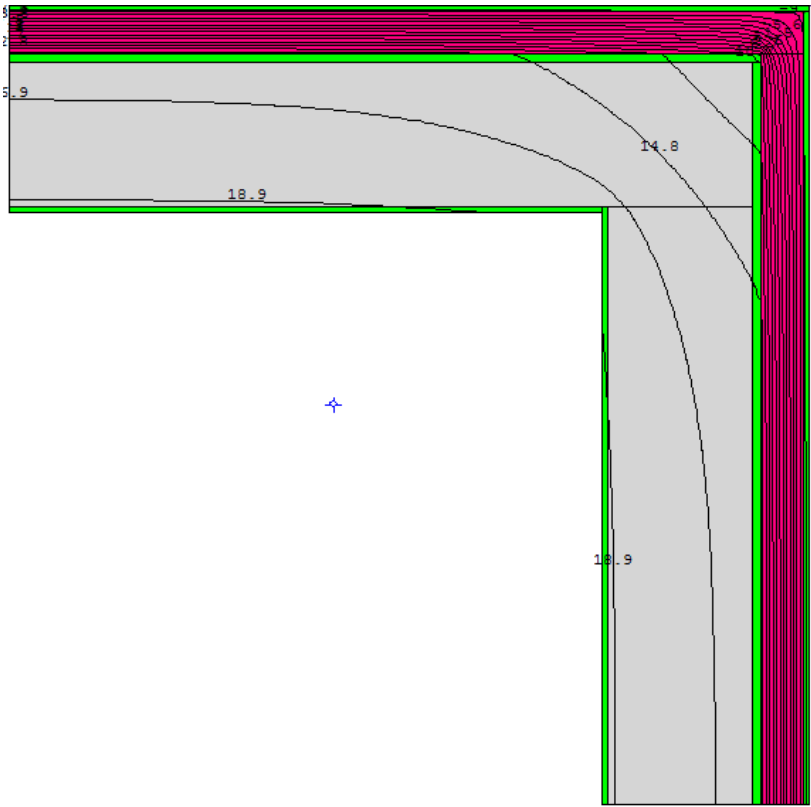
Tabel L3.0.1 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein algolukorras

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmasild	VÄLISSEIN-VÄLISSEIN: ALGNE	
U _{1D}	1,28 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1680 mm	
U _{2D}	1,28 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1680 mm	
U _{2D}	1,3719 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	3360 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	4,295 W/mK	
L _{2D}	4,610 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,314	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.2 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein EPS60 SILVER 50 mm

Tarkvara: LBNL THERM 7.2		
Arvutuste kuupäev: 15.05.2014		
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VÄLISSEIN: EPS60 SILVER 50mm		
U _{1D}	0,42 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1890 mm	
U _{2D}	0,42 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1890 mm	
U _{2D}	0,4993 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	3780 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	1,595 W/mK	
L _{2D}	1,887 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,292	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.3 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein EPS60 SILVER 150 mm

Tarkvara: LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev: 15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused	
	R_s (m ² K/W) θ (°C)
sisepind	0,13 20,0
välispind	0,04 -10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VÄLISSEIN: EPS60 SILVER 150mm	
U _{1D}	0,18 W/m ² K
l ₁ (sisemõõtmed)	2190 mm
U _{2D}	0,18 W/m ² K
l ₂ (sisemõõtmed)	2190 mm
U _{2D}	0,2236 W/m ² K
U _{2D} pikkus mudelis	4380 mm
L _{1D} (sisemõõtmed)	0,797 W/mK
L _{2D}	0,979 W/mK
Ψ (sisemõõtmed)	0,182 W/mK
MUDEL:	
	

Tabel L3.0.4 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein SPU P 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VÄLISSEIN: SPU 50mm		
U _{1D}	0,34 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1890 mm	
U _{2D}	0,34 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1890 mm	
U _{2D}	0,4036 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	3780 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	1,270 W/mK	
L _{2D}	1,526 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,256	W/mK
MUDEL:		

L3.2 THERM külmasildade arvutused: välissein-välissein sisenurk

Tabel L3.0.5 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein sisenurk algolukorras

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmasild	VÄLISSEIN-VÄLISSEIN SISENURK	ALGNE
U _{1D}	1,28 W/m ² K	
l1 (sisemõõtmed)	2230 mm	
U _{2D}	1,28 W/m ² K	
l2 (sisemõõtmed)	2230 mm	
U _{2D}	1,0581 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4460 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	5,702 W/mK	
L _{2D}	4,719 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	-0,983	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.6 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein sisenuk EPS60 SILVER 50 mm

Tarkvara: LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev: 15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused	
	R_s (m ² K/W) θ (°C)
sisepind	0,13 20,0
välispind	0,04 -10,0
Joonkülmäsild	VÄLISSEIN-VÄLISSEIN SISENURK EPS60 SILVER 50mm
U _{1D}	0,42 W/m ² K
l ₁ (sisemõõtmed)	2380 mm
U _{2D}	0,42 W/m ² K
l ₂ (sisemõõtmed)	2380 mm
U _{2D}	0,3250 W/m ² K
U _{2D} pikkus mudelis	4760 mm
L _{1D} (sisemõõtmed)	2,009 W/mK
L _{2D}	1,547 W/mK
Ψ (sisemõõtmed)	-0,462 W/mK
MUDEL:	

Tabel L3.0.7 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein sisenuk EPS60 SILVER 150 mm

Tarkvara: LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev: 15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused	
	R_s (m ² K/W) θ (°C)
sisepind	0,13 20,0
välispind	0,04 -10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VÄLISSEIN SISENURK EPS60 SILVER 150mm	
U _{1D}	0,18 W/m ² K
l ₁ (sisemõõtmed)	2680 mm
U _{2D}	0,18 W/m ² K
l ₂ (sisemõõtmed)	2680 mm
U _{2D}	0,1380 W/m ² K
U _{2D} pikkus mudelis	5360 mm
L _{1D} (sisemõõtmed)	0,976 W/mK
L _{2D}	0,740 W/mK
Ψ (sisemõõtmed)	-0,236 W/mK
MUDEL:	

Tabel L3.0.8 THERM arvutuste abitabel – välissein-välissein sisenuk SPU P 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	15.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VÄLISSEIN SISENURK SPU 50mm		
U _{1D}	0,34 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	2380 mm	
U _{2D}	0,34 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	2380 mm	
U _{2D}	0,2569 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4760 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	1,599 W/mK	
L _{2D}	1,223 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	-0,376	W/mK
MUDEL:		

L3.3 THERM külmasildade arvutused: välissein-pööningu vahelagi

Tabel L3.0.9 THERM arvutuste abitabel – välissein-pööningu vahelagi algolukorras

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmasild	VÄLISSEIN-PÖÖNINGU VAHELAGI	ALGNE
U _{1D}	1,96 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1000 mm	
U _{2D}	1,28 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1680 mm	
U _{2D}	1,6713 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2680 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	4,108 W/mK	
L _{2D}	4,479 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,371	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.10 THERM arvutuste abitabel – välissein-pööningu vahelagi EPS60 SILVER 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild	VÄLISSEIN-PÖÖNINGU VAHELAGI	EPS60 SILVER 50mm
U _{1D}	1,96 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1000 mm	
U _{2D}	0,42 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1830 mm	
U _{2D}	1,1094 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2830 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	2,732 W/mK	
L _{2D}	3,140 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,407	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.11 THERM arvutuste abitabel – välissein-pööningu vahelagi EPS60 SILVER 150 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild	VÄLISSEIN-PÖÖNINGU VAHELAGI	EPS60 SILVER 150mm
U _{1D}	1,96 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1000 mm	
U _{2D}	0,18 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	2190 mm	
U _{2D}	0,8750 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	3190 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	2,359 W/mK	
L _{2D}	2,791 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,433	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.12 THERM arvutuste abitabel – välissein-pööningu vahelagi SPU P 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild	VÄLISSEIN-PÖÖNINGU VAHELAGI	SPU 50mm
U _{1D}	1,96 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1000 mm	
U _{2D}	0,34 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1890 mm	
U _{2D}	1,0415 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2890 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	2,595 W/mK	
L _{2D}	3,010 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,415	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.13 THERM arvutuste abitabel – välissein-pööningu vahelagi Rockwool Granrock 250 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind	0,13	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-PÖÖNINGU VAHELAGI Rockwool Granrock 250mm		
U _{1D}	0,15 W/m ² K	
l ₁ (sisemõõtmed)	1660 mm	
U _{2D}	1,28 W/m ² K	
l ₂ (sisemõõtmed)	1680 mm	
U _{2D}	0,9149 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	3340 mm	
L _{1D} (sisemõõtmed)	2,397 W/mK	
L _{2D}	3,056 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,659	W/mK
MUDEL:		

L3.4 THERM külmasildade arvutused: välissein-vahelagi

Tabel L3.0.14 THERM arvutuste abitabel – välissein- vahelagi algolukorras

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (sein, hor)	0,13	20,0
sisepind (põrand, vert)	0,17	20,0
sisepind (lagi, vert)	0,10	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild		
	VÄLISSEIN-VAHELAGI	ALGNE
U_{1D}	1,28 W/m ² K	
l_1 (välismõõtmed)	3630 mm	
U_{2D}	1,3030 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	3630 mm	
L_{1D} (välismõõtmed)	4,640 W/mK	
L_{2D}	4,729 W/mK	
Ψ (välismõõtmed)	0,089	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.15 THERM arvutuste abitabel – välissein- vahelagi EPS60 SILVER 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (sein, hor)	0,13	20,0
sisepind (põrand, vert)	0,17	20,0
sisepind (lagi, vert)	0,10	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VAHELAGI EPS60 SILVER 50mm		
U _{1D}	0,42 W/m ² K	
l ₁ (välismõõtmed)	4050 mm	
U _{2D}	0,4243 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4050 mm	
L _{1D} (välismõõtmed)	1,709 W/mK	
L _{2D}	1,718 W/mK	
Ψ (välismõõtmed)	0,009	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.16 THERM arvutuste abitabel – välissein- vahelagi EPS60 SILVER 150 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (sein, hor)	0,13	20,0
sisepind (põrand, vert)	0,17	20,0
sisepind (lagi, vert)	0,10	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VAHELAGI EPS60 SILVER 150mm		
U _{1D}	0,18 W/m ² K	
l ₁ (välismõõtmed)	4651 mm	
U _{2D}	0,1828 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4651 mm	
L _{1D} (välismõõtmed)	0,846 W/mK	
L _{2D}	0,850 W/mK	
Ψ (välismõõtmed)	0,004 W/mK	
MUDEL:		

Tabel L3.0.17 THERM arvutuste abitabel – välissein- vahelagi SPU P 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (sein, hor)	0,13	20,0
sisepind (põrand, vert)	0,17	20,0
sisepind (lagi, vert)	0,10	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-VAHELAGI SPU 50mm		
U _{1D}	0,34 W/m ² K	
l ₁ (välismõõtmed)	4050 mm	
U _{2D}	0,3369 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4050 mm	
L _{1D} (välismõõtmed)	1,360 W/mK	
L _{2D}	1,364 W/mK	
Ψ (välismõõtmed)	0,004	W/mK
MUDEL:		

L3.5 THERM külmasildade arvutused: välissein-pinnasel pörand

Tabel L3.0.18 THERM arvutuste abitabel – välissein-pinnasel pörand algolukorras

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-PINNASEL PÕRAND ALGNE		
U _{w1D}	1,28 W/m ² K	
hw (välismõõtmed)	2060 mm	
U _{2D} kogu mudel	0,34 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	14910 mm	
U _{2D} pinnase mudel	0,1170 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	12850 mm	
h _w u _w (L _{1D} sein)	2,634 W/mK	
L _{2D,a} osamudel ISO10211 meetod B	1,503 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	5,022 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,885	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.19 THERM arvutuste abitabel – välissein-pinnasel pörand EPS 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-PINNASEL PÖRAND EPS60 SILVER 50mm		
U_{w1D}	0,42 W/m ² K	
hw (välismõõtmed)	2260 mm	
U_{2D} kogu mudel	0,24 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	15110 mm	
U_{2D} pinnase mudel	0,1170 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	12850 mm	
$h_w u_w$ (L _{1D} sein)	0,954 W/mK	
L _{2D,a} osamudel ISO10211 meetod B	1,503 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	3,567 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	1,110	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.20 THERM arvutuste abitabel – välissein-pinnasel põrand EPS 150 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-PINNASEL PÕRAND EPS60 SILVER 150mm		
U_{w1D}	0,18 W/m ² K	
hw (välismõõtmed)	2160 mm	
U_{2D} kogu mudel	0,15 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	15010 mm	
U_{2D} pinnase mudel	0,1170 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	12850 mm	
$h_w u_w$ (L _{1D} sein)	0,393 W/mK	
L _{2D,a} osamudel ISO10211 meetod B	1,503 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	2,233 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,337	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.21 THERM arvutuste abitabel – välissein-pinnasel põrand SPU P 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-PINNASEL PÕRAND SPU 50mm		
U_{w1D}	0,34 W/m ² K	
hw (välismõõtmed)	2260 mm	
U_{2D} kogu mudel	0,23 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	15110 mm	
U_{2D} pinnase mudel	0,1170 W/m ² K	
U_{2D} pikkus mudelis	12850 mm	
$h_w u_w$ (L _{1D} sein)	0,759 W/mK	
L _{2D,a} osamudel ISO10211 meetod B	1,503 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	3,489 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	1,226	W/mK
MUDEL:		

L3.6 THERM külmasildade arvutused: välissein-keldri lagi

Tabel L3.0.22 THERM arvutuste abitabel – välissein-keldri lagi algolukorras

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmasild	VÄLISSEIN-KELDRI PÕRAND	ALGNE
U _{1D} sein	1,28 W/m ² K	
U _{1D} pikkus mudelis	1975 mm	
U _{2D} põrand	0,97 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2540 mm	
U _{2D} kogu mudel	1,1102 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4515 mm	
L _{1D}	2,525 W/mK	
L _{2D}	2,464 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	5,013 W/mK	
Ψ (sisemõõtmed)	0,024	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.23 THERM arvutuste abitabel – välissein-keldri lagi EPS60 SILVER 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild	VÄLISSEIN-KELDRI PÕRAND	EPS60 SILVER 50mm
U _{1D} sein	0,42 W/m ² K	
U _{1D} pikkus mudelis	1975 mm	
U _{2D} põrand	0,97 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2540 mm	
U _{2D} kogu mudel	0,7681 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4515 mm	
L _{1D}	0,833 W/mK	
L _{2D}	2,464 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	3,468 W/mK	
Ψ (sisemõõtmel)	0,171	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.24 THERM arvutuste abitabel – välissein-keldri lagi EPS60 SILVER 150 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m ² K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild	VÄLISSEIN-KELDRI PÕRAND	EPS60 SILVER 150mm
U _{1D} sein	0,18 W/m ² K	
U _{1D} pikkus mudelis	1975 mm	
U _{2D} põrand	0,97 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2540 mm	
U _{2D} kogu mudel	0,6482 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4515 mm	
L _{1D}	0,359 W/mK	
L _{2D}	2,464 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	2,927 W/mK	
Ψ (sisemõõtmel)	0,103	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.25 THERM arvutuste abitabel – välissein-keldri lagi SPU P 50 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-KELDRI PÕRAND SPU 50mm		
U _{1D} sein	0,37 W/m ² K	
U _{1D} pikkus mudelis	1975 mm	
U _{2D} põrand	0,97 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2540 mm	
U _{2D} kogu mudel	0,7362 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4515 mm	
L _{1D}	0,722 W/mK	
L _{2D}	2,464 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	3,324 W/mK	
Ψ (sisemõõtmel)	0,138	W/mK
MUDEL:		

Tabel L3.0.26 THERM arvutuste abitabel – välissein-keldri lagi EPS50 100 mm

Tarkvara:	LBNL THERM 7.2	
Arvutuste kuupäev:	16.05.2014	
Keskkondade temperatuurid/pinnatakistused		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
sisepind (hor)	0,13	20,0
sisepind (vert)	0,17	20,0
välispind	0,04	-10,0
Joonkülmäsild VÄLISSEIN-KELDRI PÕRAND EPS50 100mm		
U _{1D} sein	1,28 W/m ² K	
U _{1D} pikkus mudelis	1975 mm	
U _{2D} põrand	0,28 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	2540 mm	
U _{2D} kogu mudel	0,7610 W/m ² K	
U _{2D} pikkus mudelis	4515 mm	
L _{1D}	2,525 W/mK	
L _{2D}	0,711 W/mK	
L _{2D} kogu mudel	3,436 W/mK	
Ψ (sisemõõtmel)	0,200	W/mK
MUDEL:		

Lisa 4. Rekonstrueerimislahenduste maksumustabelid

L4.1 Fassaadi soojustamise ja rekonstrueerimise maksumus - EPS60 SILVER 50 mm

TÖÖ	MAHT	ÜHIK	ÜHIKU HIND	KOKKU
Lahtise krohvi ja fassadidekooi eemaldamine	1 552,6	m ²	7,00	10 868,20
Sokli osaline puhastamine	24,5	m ²	23,00	563,04
Seinte ja sokli soojustamine EPS60 Silver 50mm	1 675,0	m ²	18,40	30 820,00
Aknapalede soojustamine 20mm	132,0	m ²	17,00	2 244,00
Seinte krohvimine lubikrohviga + värvimine	1 552,6	m ²	26,00	40 367,60
Sokli viimistlemine originaali sarnaseks	122,4	m ²	150,00	18 360,00
Kaupluse akende ja uste ümbruse viimistlus koos sokliosaga	8,0	tk	300,00	2 400,00
Väikesed karniisid akende allservas, aknaääristus	58,0	tk	40,00	2 320,00
I korruse ja trepikodade dekor. aknaääristus	36,0	tk	250,00	9 000,00
Lillekastiga akende karniis	6,0	tk	600,00	3 600,00
Kolmnurkviilude viimistlus koos vaaside taastamisega	28,8	m ²	33,00	950,40
Ümmargused stukkdetailid fassaadil	2,0	tk	200,00	400,00
Viisnurkadega stukkdetailid fassaadil	2,0	tk	650,00	1 300,00
Stukkdetailid viiludel	2,0	tk	1 200,00	2 400,00
Rõdude taastamine	2,0	tk	950,00	1 900,00
Räästakarniisi taastamine	153,1	jm	27,00	4 133,70
Erkeri viimistlus, karniisid, detailid	1,0	kmpl	20 000,00	20 000,00
Trepikodade uste ümbrus	3,0	kmpl	1 500,00	4 500,00
Keldri sissepääs	1,0	kmpl	4 000,00	4 000,00
Endiste laoruumide trepp	1,0	kmpl	450,00	450,00
KOKKU (KM 0%)				160 576,94

L4.2 Fassaadi soojustamise ja rekonstrueerimise maksumus - EPS60 SILVER 150 mm

TÖÖ	MAHT	ÜHIK	ÜHIKU HIND	KOKKU
Lahtise krohvi ja fassadidekoori eemaldamine	1 552,6	m ²	7,00	10 868,20
Sokli osaline puhastamine	24,5	m ²	23,00	563,04
Seinte ja sokli soojustamine EPS60 Silver 150mm	1 675,0	m ²	25,70	43 047,50
Aknapalede soojustamine 20mm	132,0	m ²	17,00	2 244,00
Akende vahetus ning tõstmise seinavälispinda	103,0	tk	560,00	57 680,00
Kaupluse akende ja uste vahetus	8,0	tk	1 380,00	11 040,00
Seinte krohvimine lubikrohviga + värvimine	1 552,6	m ²	26,00	40 367,60
Sokli viimistlemine originaali sarnaseks	122,4	m ²	150,00	18 360,00
Kaupluse akende ja uste ümbruse viimistlus koos sokliosaga	8,0	tk	300,00	2 400,00
Väikesed karniisid akende allservas, aknaääristus	58,0	tk	40,00	2 320,00
I korruse ja trepikodade dekor. aknaääristus	36,0	tk	250,00	9 000,00
Lillekastiga akende karniis	6,0	tk	600,00	3 600,00
Kolmnurkviilude viimistlus koos vaaside taastamisega	28,8	m ²	33,00	950,40
Ümmargused stukkdetailid fassaadil	2,0	tk	200,00	400,00
Viisnurkadega stukkdetailid fassaadil	2,0	tk	650,00	1 300,00
Stukkdetailid viiludel	2,0	tk	1 200,00	2 400,00
Rõdude taastamine	2,0	tk	950,00	1 900,00
Räästakarniisi taastamine	153,1	jm	27,00	4 133,70
Erkeri viimistlus, karniisid, detailid	1,0	kmpl	20 000,00	20 000,00
Trepikodade uste ümbrus	3,0	kmpl	1 500,00	4 500,00
Keldri sissepääs	1,0	kmpl	4 000,00	4 000,00
Endiste laoruumide trepp	1,0	kmpl	450,00	450,00
KOKKU (KM 0%)				241 524,44

L4.3 Fassaadi soojustamise ja rekonstrueerimise maksumus – SPU P 50 mm

TÖÖ	MAHT	ÜHIK	ÜHIKU HIND	KOKKU
Lahtise krohvi ja fassadidekoori eemaldamine	1 552,6	m ²	7,00	10 868,20
Sokli osaline puhastamine	24,5	m ²	23,00	563,04
Seinte ja sokli soojustamine SPU P 50mm	1 675,0	m ²	33,20	55 610,00
Aknapalede soojustamine 20mm	132,0	m ²	17,00	2 244,00
Seinte krohvimine lubikrohviga + värvimine	1 552,6	m ²	26,00	40 367,60
Sokli viimistlemine originaali sarnaseks	122,4	m ²	150,00	18 360,00
Kaupluse akende ja uste ümbruse viimistlus koos sokliosaga	8,0	tk	300,00	2 400,00
Väikesed karniisid akende allservas, aknaääristus	58,0	tk	40,00	2 320,00
I korruse ja trepikodade dekor. aknaääristus	36,0	tk	250,00	9 000,00
Lillekastiga akende karniis	6,0	tk	600,00	3 600,00
Kolmnurkviilude viimistlus koos vaaside taastamisega	28,8	m ²	33,00	950,40
Ümmargused stukkdetailid fassaadil	2,0	tk	200,00	400,00
Viisnurkadega stukkdetailid fassaadil	2,0	tk	650,00	1 300,00
Stukkdetailid viiludel	2,0	tk	1 200,00	2 400,00
Rõdude taastamine	2,0	tk	950,00	1 900,00
Räästakarniisi taastamine	153,1	jm	27,00	4 133,70
Erkeri viimistlus, karniisid, detailid	1,0	kmpl	20 000,00	20 000,00
Trepikodade uste ümbrus	3,0	kmpl	1 500,00	4 500,00
Keldri sissepääs	1,0	kmpl	4 000,00	4 000,00
Endiste laoruumide trepp	1,0	kmpl	450,00	450,00
KOKKU (KM 0%)				185 366,94

L4.4 Fassaadi korrastamise maksumus koos pööningu ja keldri vahelagede soojustamisega

TÖÖ	MAHT	ÜHIK	ÜHIKU HIND	KOKKU
Lahtise krohvi ja fassadidekoori eemaldamine	1 552,60	m ²	3,00	4 657,80
Sokli osaline puhastamine	24,48	m ²	15,00	367,20
Seinte krohvimine lubikrohviga + värvimine	1 552,60	m ²	33,00	51 235,80
Sokli parandused, viimistlus	122,40	m ²	20,00	2 448,00
Kaupluse akende ja uste ümbruse viimistlus koos sokliosaga	8,00	tk	300,00	2 400,00
Väikesed karniisid akende allservas, aknaääristus	58,00	tk	23,00	1 334,00
I korruse ja trepikodade dekor. aknaääristus	36,00	tk	220,00	7 920,00
Lillekastiga akende karniis	6,00	tk	300,00	1 800,00
Ümmargused stukkdetailid fassaadil	2,00	tk	100,00	200,00
Viisnurkadega stukkdetailid fassaadil	2,00	tk	350,00	700,00
Stukkdetailid viiludel	2,00	tk	600,00	1 200,00
Rödude taastamine	2,00	tk	950,00	1 900,00
Räästakarniisi taastamine	153,10	jm	27,00	4 133,70
Risaliidi viimistlus, karniisid, detailid	1,00	kmpl	12 000,00	12 000,00
Trepikodade uste ümbrus	3,00	kmpl	1 500,00	4 500,00
Keldri sissepääs	1,00	kmpl	4 000,00	4 000,00
Endiste laoruumide trepp	1,00	kmpl	450,00	450,00
Pööningu vahelae soojustamine puistevillaga	212,34	m ³	16,00	3 397,44
Käiguteede ehitamine	80	jm	43,00	3 440,00
Keldri lae soojustamine 100mm EPS	636,3	m ²	20,60	13 107,78
				121 191,72

Lisa 5. Piirde niiskusrežiimi arvutusmetoodika

Difusioon on nähtus, kus gaas liigub suurema osarõhuga keskkonnast madalama rõhuga keskkonna poole. Protsess toimub, kuni rõhud ühtlustuvad ning difundeerunud veeauru kogus sõltub kihtide difusioonitakistusest ning osarõhkude vahest.

Ehitistes toimub enamasti veeauru difusioon läbi välispiirete. Selle intensiivsust mõjutab materjali poorsus: mida poorem materjal, seda rohkem laseb see veeauru läbi. Difusioon saab piirdetarindis toimuda nii seest väljapoole kui ka vastupidi. [13]

Veeaur kondenseerub piirdekonstruktsioonis juhul kui selle osarõhk jõuab küllastusrõhuni ehk kui õhuniiskus tõuseb 100% juurde. Sellisel juhul märgub vastav materjali kiht konstruktsioonis, mis omakorda võib endaga kaasa tuua erinevaid niiskuskahjustusi. [13]

Piirdetarindi difusiooni arvutus, mis arvestab materjalide aurujuhtivusomadustega, näitab, kas konstruktsioonis on veeauru kondenseerumise oht või mitte.

Difusiooni arvutus teostatakse Eesti Ehitusteabe kartoteegi järgi [13] Glaseri meetodil.

Keskkonna raamtingimused, mida arvestada arvutuste tegemiseks DIN 4108-3 järgi kondenseerumisperiodil (talvel):

- väliskliima: -10 °C , suhteline õhuniiskus 80%;
- sisekliima: $+20\text{ °C}$, suhteline õhuniiskus 50%

Materjalikihi aurutakistuse S_d , m, saab leida alljärgneva valemiga:

$$S_d = \mu \cdot d \quad (L5.1)$$

kus:

μ ehitismaterjali difusioonitakistustegur, -;

d materjalikihi paksus, m.

Seejärel leitakse materjalikihi temperatuuri muut Δt , K:

$$\Delta t = \frac{R}{100} \cdot (t_v - t_s) \quad (L5.2)$$

kus:

t_v piirde välistemperatuur, °C;
 t_s piirde sisetemperatuur, °C

Maksimaalne veeauru osarõhk p_{max} , Pa leitakse vastavalt:

a) temperatuuridel 0 kuni +30 °C:

$$p_{max} = 288,68 \cdot \left(1,098 + \frac{t}{100}\right)^{8,02} \quad (\text{L5.3})$$

b) temperatuuridel -20 kuni 0 °C kehtib:

$$p_{max} = 4,689 \cdot \left(1,486 + \frac{t}{100}\right)^{12,30} \quad (\text{L5.4})$$

Veeauru osarõhudiferentsi Δp , Pa saab leida valemiga:

$$\Delta p = (p_{teg,s} - p_{teg,v}) \cdot \frac{S_d}{\Sigma S_d}, Pa \quad (\text{L5.5})$$

kus:

$p_{teg,s}$ tegelik veeauru osarõhk hoones sees, Pa;
 $p_{teg,v}$ tegelik veeauru osarõhk hoonest väljas, Pa.

Temperatuuri materjalikihtide vahel ning tegeliku veeauru osarõhu p seinamaterjalikihil saab välja arvutada liites käsitletava kihi leitud väärtused eelnenud kihi vastavatele diferentsidele.

Tabel L5.1 ja Tabel L5.2 esitavad arvutused vastavalt käsitletavale piirdekonstruktsioonile. Materjalide soojuserijuhtivused λ , (W/m · K) on kirjeldatud jaotises 4.2, lk 16 ning soojustakistus R, (m²K/W) on leitud vastavalt valemile (5.2). Materjalide difusioonitakistustegurid on võetud vastavalt standardile EVS-EN ISO 10456:2008 [24] ja tootja andmetele [14].

Veeauru maksimaalse ning tegeliku osarõhu väärtused piirde kihtide vahel on esitatud graafikuna. Kui tegelik veeauru osarõhk ületab maksimaalse osarõhu vastavalt temperatuuril, tekib kondenseerumine.

Vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud välisseina niiskusrežiimi iseloomustav graafik on toodud jaotises 4.2, Joonis 4.1.

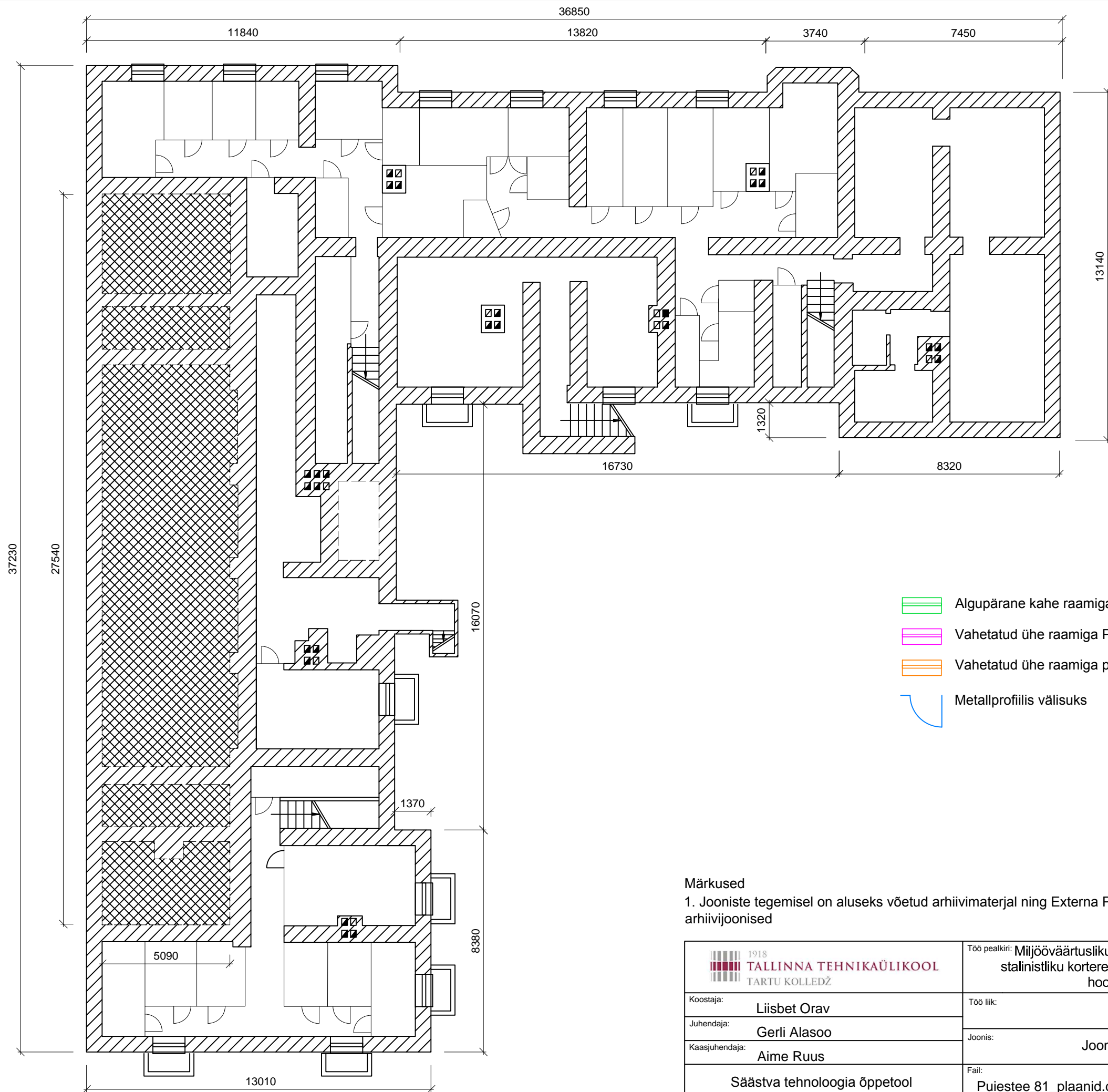
Tabel L5.1 Maksimaalsed veeauru osarõhud tarindi kihtide vahel





Tarindi kiht	d (m)	λ (W/m·K)	R (m ² K/W)	R väärtusest %	Δt (°C)	Temp. kihtide vahel (°C)		p_{\max} (Pa)	
Välispind			0,040	0,73	0,22	-9,78	-10	291,5	286,3
Krohv	0,020	0,800	0,025	0,46	0,14		-9,64		294,7
EPS	0,150	0,032	4,688	85,98	25,79	16,15	16,36	1835,0	1860,2
Krohv	0,030	0,800	0,038	0,69	0,21				
Tellis	0,510	0,950	0,537	9,85	2,95	19,31	19,45	2239,7	2259,5
Krohv	0,020	0,800	0,025	0,46	0,14				
Sisepind			0,100	1,83	0,55	20,00		2337,0	

Tabel L5.2 Tegelikud veeauru osarõhud tarindi kihtide vahel

Tarindi kiht	d (m)	μ	S_d (m)	S_d väärtusest %	Δp (Pa)	p_{teg} (Pa)	
Välispind						229,0	229,0
Krohv	0,020	10	0,2000	1,30	12,20		241,2
EPS	0,150	30	4,5000	29,22	274,52	515,8	534,1
Krohv	0,030	10	0,3000	1,95	18,30		
Tellis	0,510	20	10,2000	66,23	622,24	1156,3	1168,5
Krohv	0,020	10	0,2000	1,30	12,20		
Sisepind						1168,5	

GRAAFILINE OSA

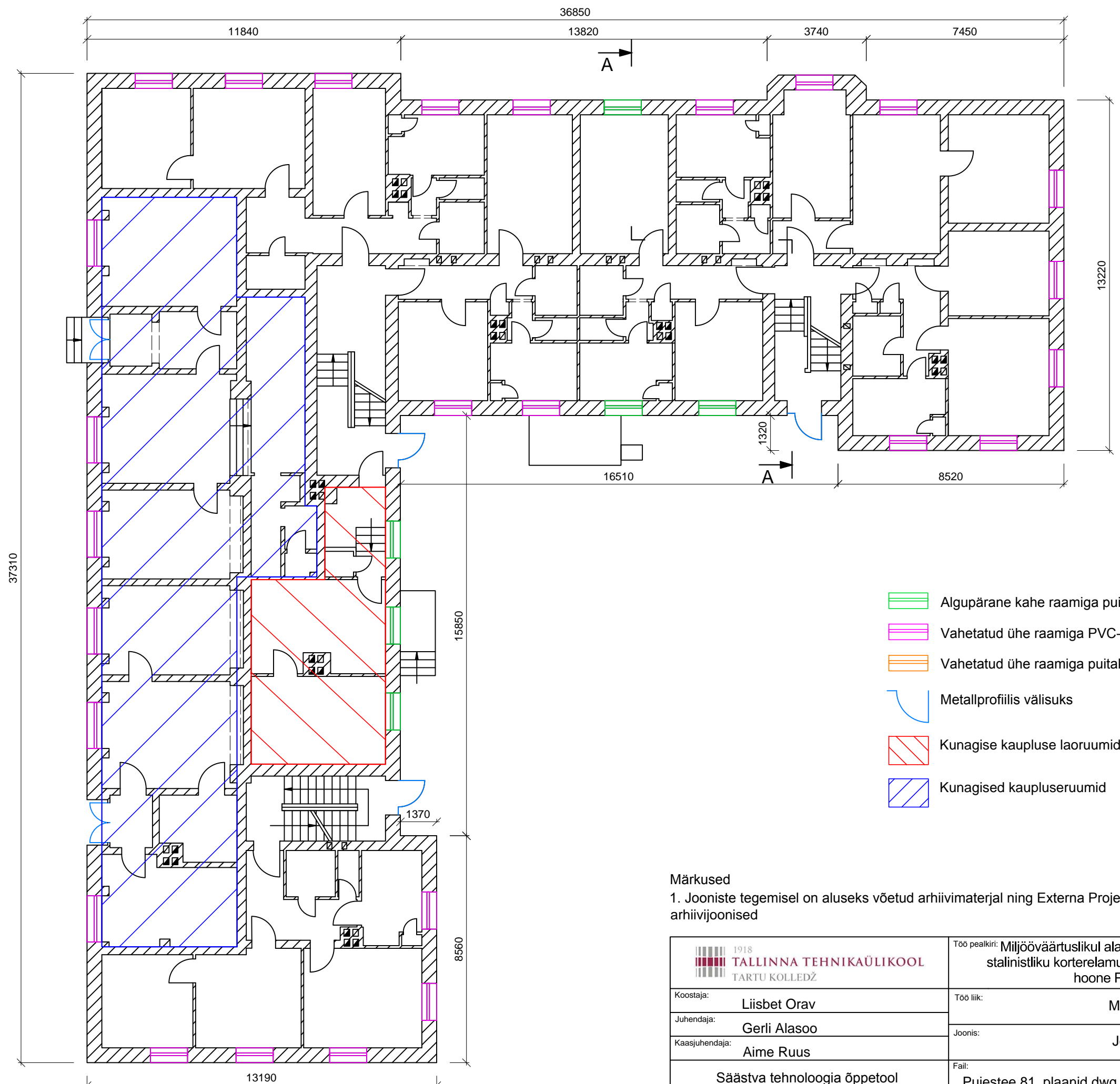








-  Algupärane kahe raamiga puitaken
-  Vahetatud ühe raamiga PVC-aken
-  Vahetatud ühe raamiga puitaken
-  Metallprofiilis välisuks

Märkused

1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivimaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised


 1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel			
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö	
Juhendaja: Gerli Alasoo	Joonis: Joonis 1. Keldrikorruse plaan			
Kaasjuhendaja: Aime Ruus	Fail: Puiestee 81_plaanid.dwg	Möötkava: 1:150	Kuupäev: 26.05.2014	Joonise nr.: 1
Säästva tehnoloogia õppetool				

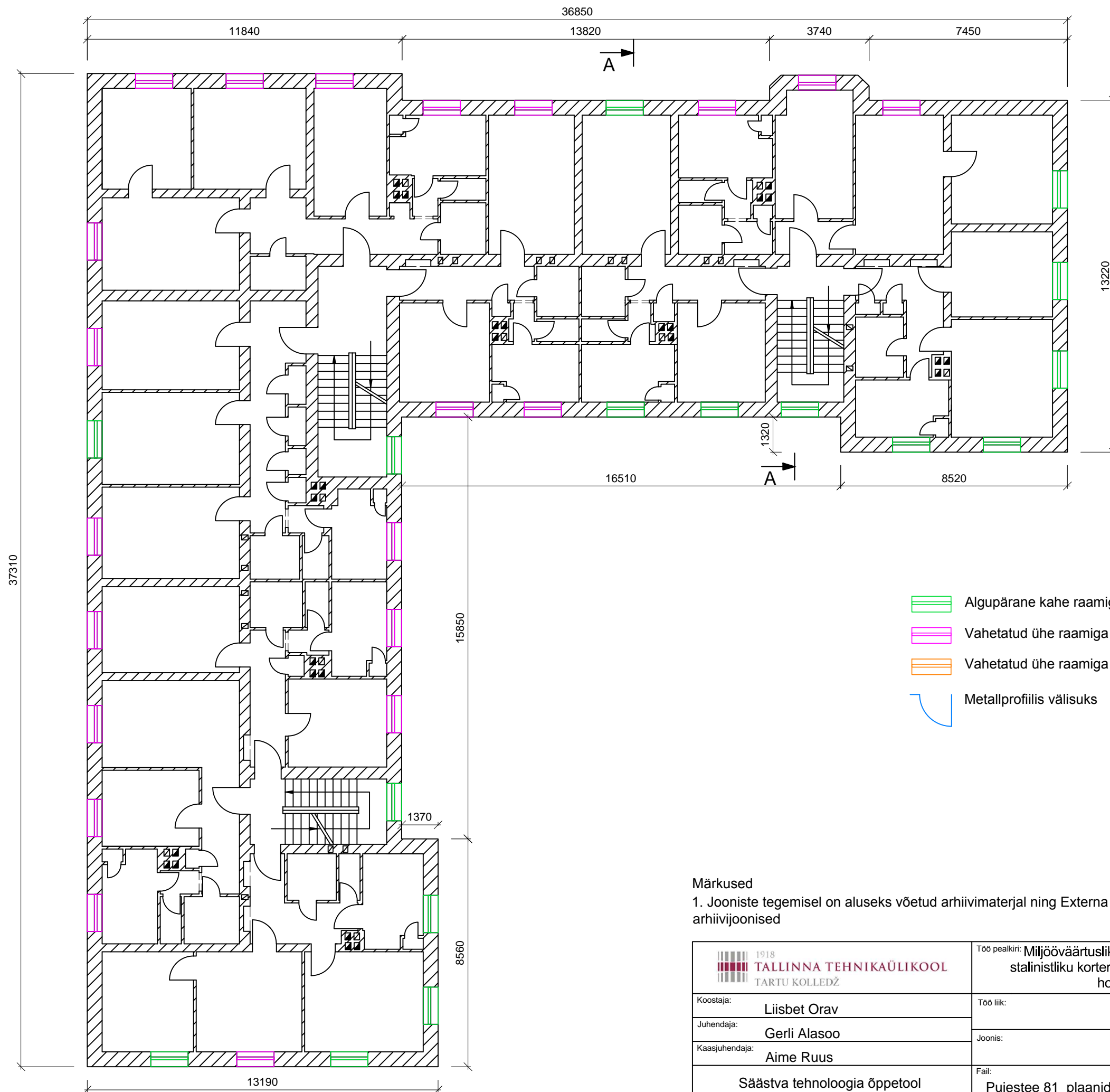






-  Algupärane kahe raamiga puitaken
-  Vahetatud ühe raamiga PVC-aken
-  Vahetatud ühe raamiga puitaken
-  Metallprofiilis välisuks
-  Kunagise kaupluse laoruumid
-  Kunagised kaupluseruumid

Märkused

1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivimaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised


 <p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel				
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö		
	Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 2. I korruse plaan		
Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: Puiestee 81_plaanid.dwg	Möötkava: 1:150	Kuupäev: 26.05.2014	Joonise nr.: 2

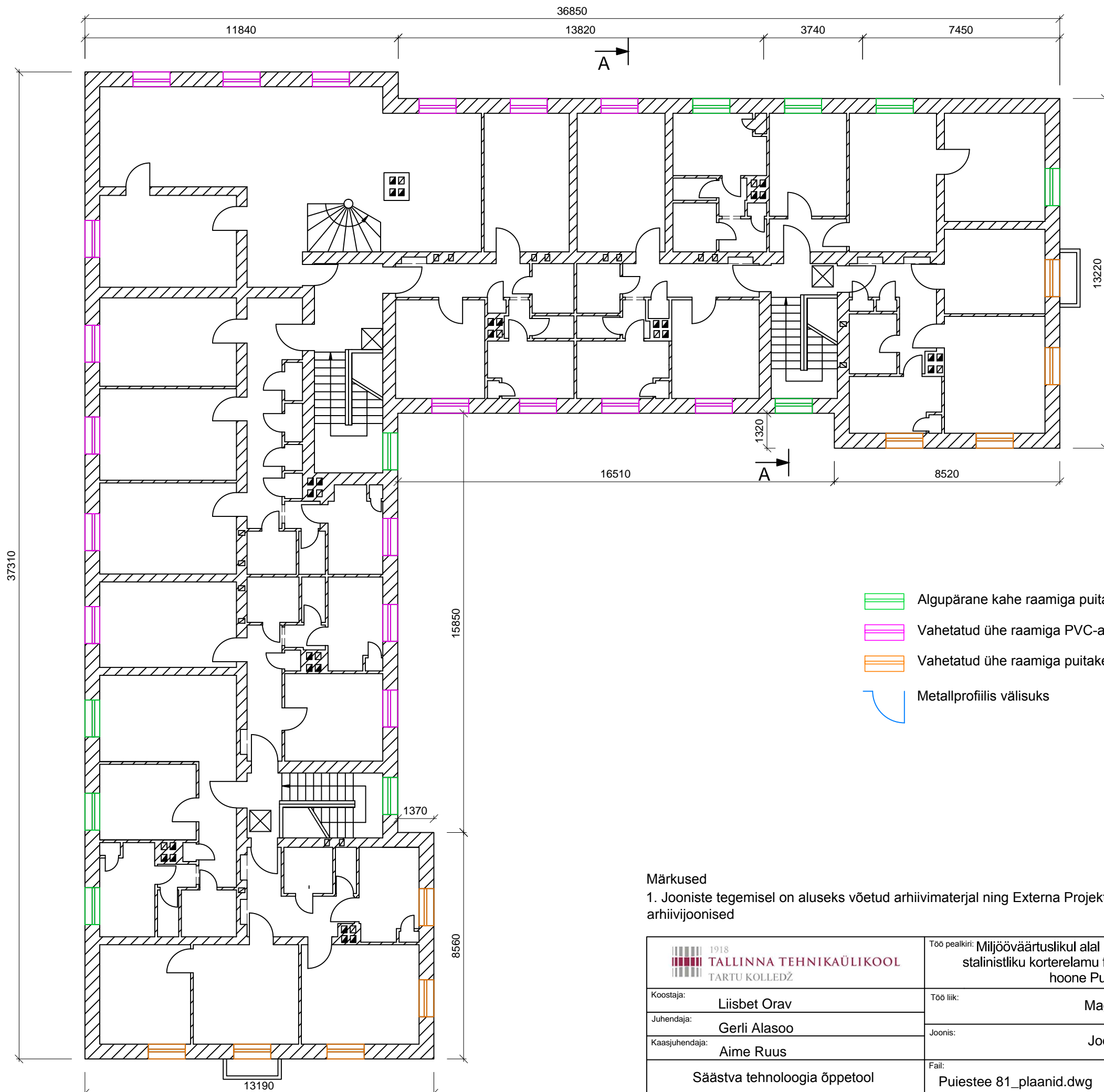


-  Algupärane kahe raamiga puitaken
-  Vahtatud ühe raamiga PVC-aken
-  Vahtatud ühe raamiga puitaken
-  Metallprofiilis välisuks

Märkused


1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivimaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

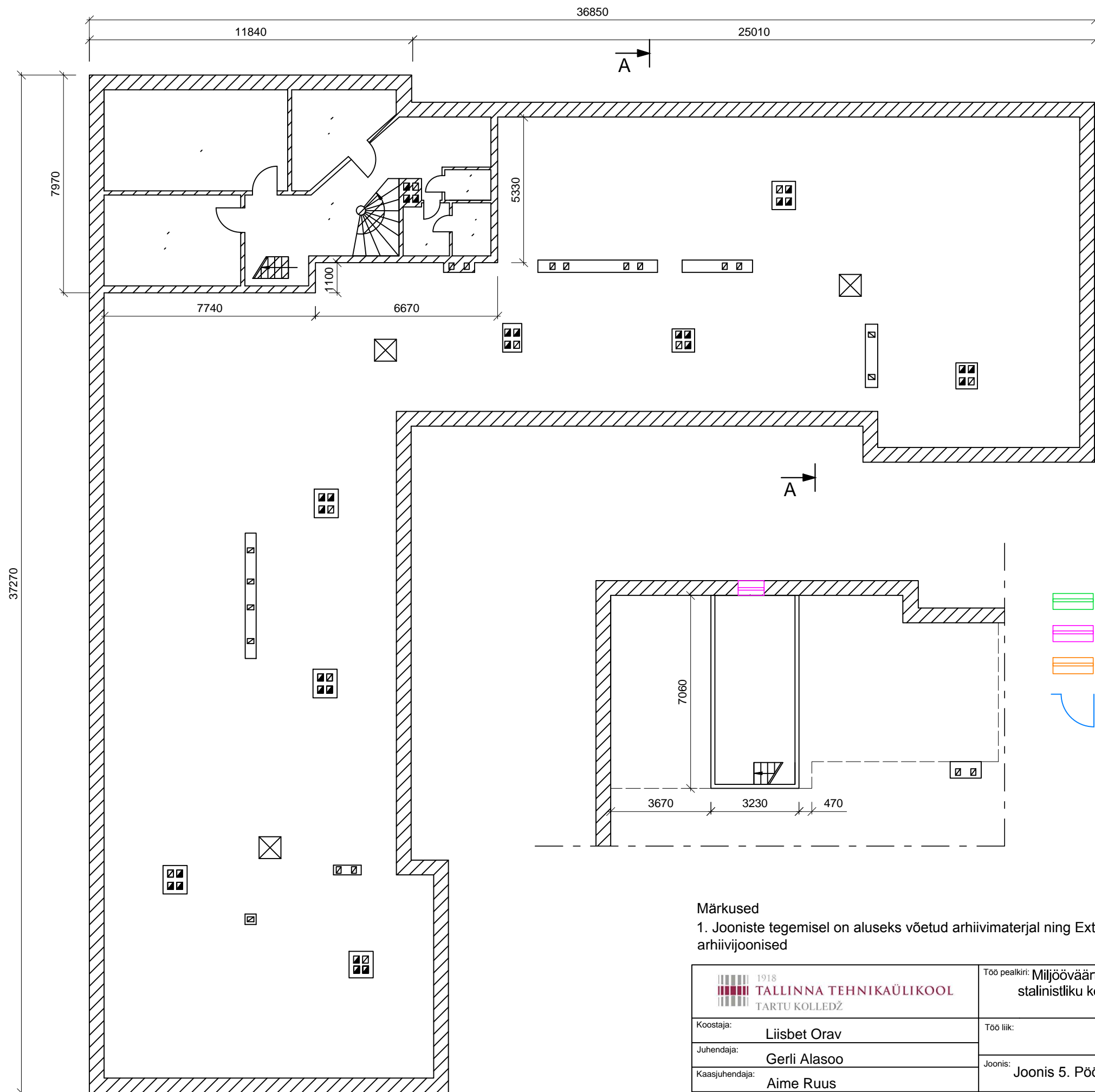
 <p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel			
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö	
Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 3. II korruse plaan		
Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: Puiestee 81_plaanid.dwg	Möötkava: 1:150	Kuupäev: 26.05.2014
Säästva tehnoloogia õppetool				Joonise nr.: 3



Märkused

1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivimaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised


 <p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel			
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö	
Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 4. III korruse plaan		
Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: Puiestee 81_plaanid.dwg	Möötkava: 1:150	Kuupäev: 26.05.2014
Säästva tehnoloogia õppetool				Joonise nr.: 4

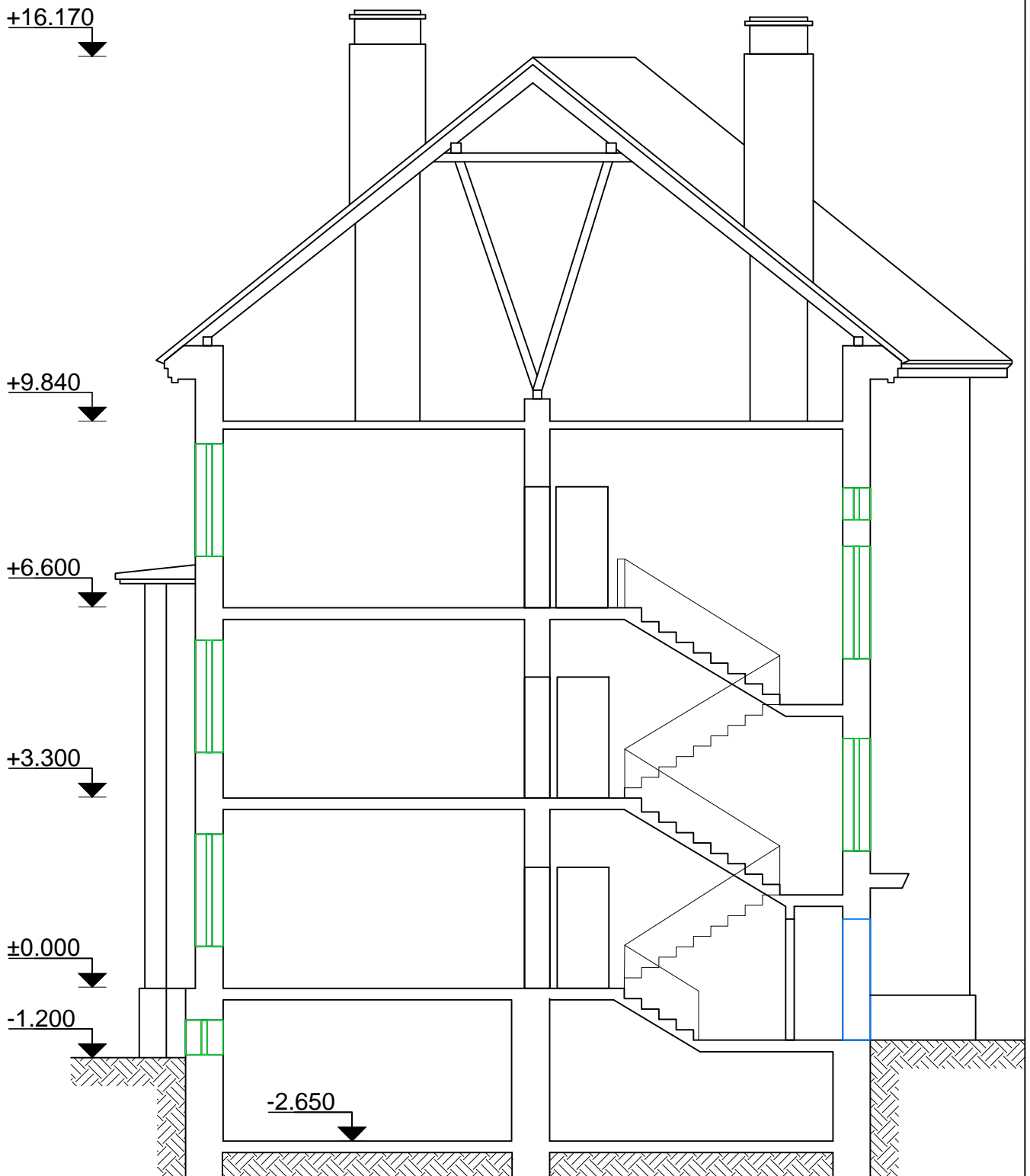


- Algpärane kahe raamiga puitaken
- Vahetatud ühe raamiga PVC-aken
- Vahetatud ühe raamiga puitaken
- Metallprofiilis välisuks

Märkused


1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivimaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

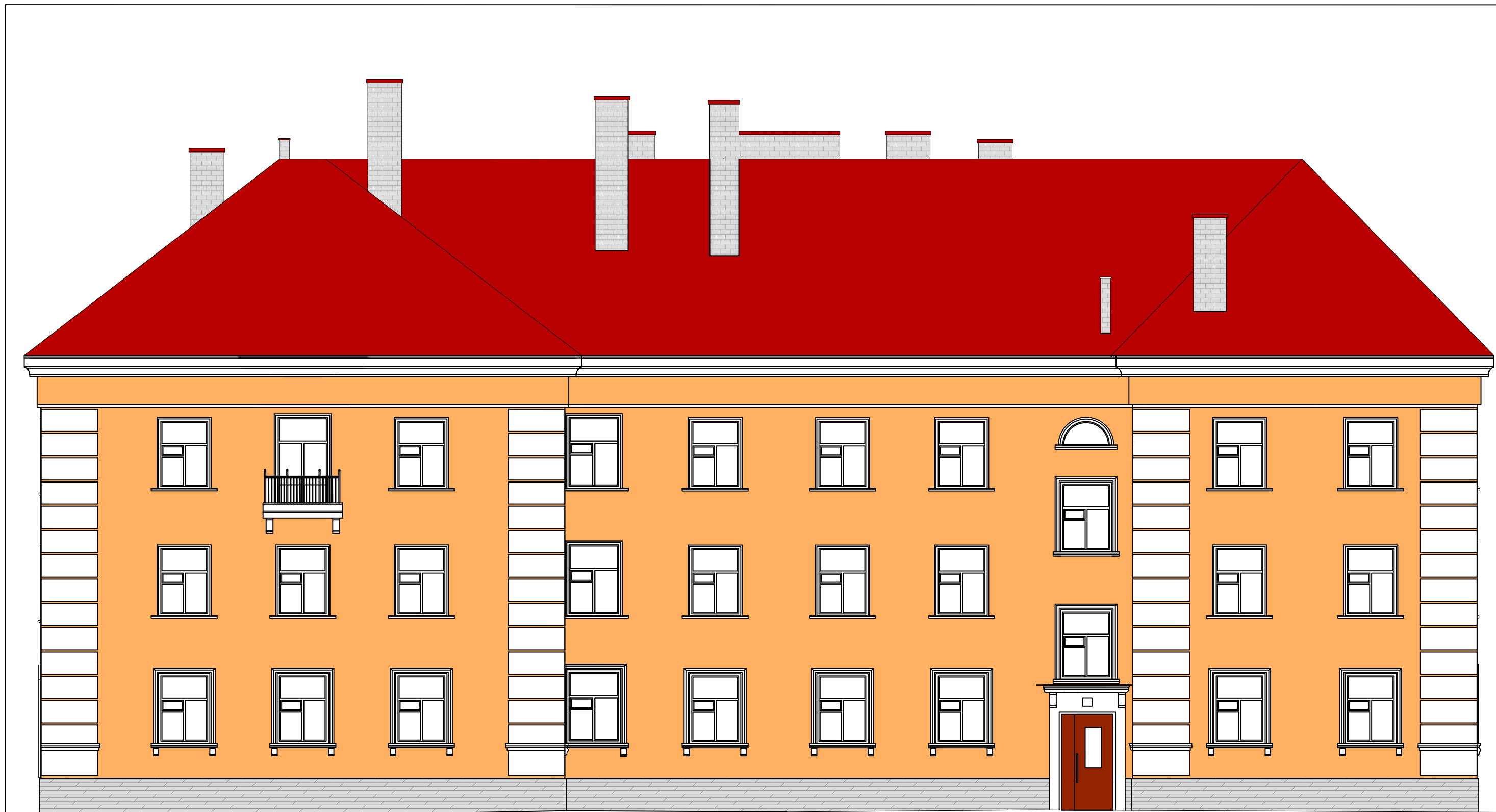
 <p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel				
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö		
	Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 5. Pööningukorruse plaan ning krt 14 juurdeehitus		
Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: Puiestee 81_plaanid.dwg	Möötkava: 1:150	Kuupäev: 26.05.2014	Joonise nr.: 5



Märkused


1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivimaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

 <p>1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ</p>	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel			
	Koostaja: Lisbet Orav		Töö liik: Magistritöö	
	Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 6. Lõige A-A	
	Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: Puiestee 81_plaanid.dwg	Mõõtkava: 1:100
Säästva tehnoloogia õppetool		Joonise nr: 6		



Märkused


1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivi- ja fotomaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

 1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel			
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö	
	Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 7. Vaade kirdest	
	Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: P81_vaated-NE_NW.dwg	Möötkava: 1:150
Säästva tehnoloogia õppetool				Joonise nr: 7



Märkused


1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivi- ja fotomaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

 1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel				
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö		
	Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 8. Vaade kagust		
Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: P81_vaated-SE_SW.dwg	Möötkava: 1:100	Kuupäev: 26.05.2014	Joonise nr.: 8
Säästva tehnoloogia õppetool					



Märkused

1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivi- ja fotomaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

 1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TARTU KOLLEDŽ	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel			
	Koostaja: Liisbet Orav		Töö liik: Magistritöö	
Juhendaja: Gerli Alasoo		Joonis: Joonis 9. Vaade edelast		
Kaasjuhendaja: Aime Ruus		Fail: P81_vaated-SE_SW.dwg	Mootkava: 1:150	Kuupäev: 26.05.2014
Säästva tehnoloogia õppetool		Joonise nr.: 9		



Märkused

1. Jooniste tegemisel on aluseks võetud arhiivi- ja fotomaterjal ning Externa Projekt OÜ poolt digitaliseeritud arhiivijoonised

	Töö pealkiri: Miljööväärtuslikul alal paikneva teise maailmasõja järgse stalinistliku korterelamu fassaadi rekonstrueerimisvõimalused hoone Puiestee 81, Tartu näitel						
	Koostaja:	Liisbet Orav		Töö liik:	Magistritöö		
	Juhendaja:	Gerli Alasoo		Joonis:	Joonis 10. Vaade loodest		
	Kaasjuhendaja:	Aime Ruus		Fail:	P81_vaated-NE_NW.dwg		
Säästva tehnoloogia õppetool		Möötkava:	1:150	Kuupäev:	26.05.2014	Joonise nr:	10