



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

# SAADJÄRVE MÕISA KÄRNERIHOONE ENERGIATÕHUSUS

ASPECTS OF ENERGY EFFICIENCY AT SAADJÄRVE MANOR GARDENER'S HOUSE

Magistritöö

Materjalide taaskasutuse erialal

Üliõpilane: Karin Torim

Juhendaja: Aime Ruus

Tartu, 2016

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: EAKI 110650

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: ..... (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: ..... (allkiri)

## **ABSTRACT**

Torim, K. Aspects of energy efficiency at Saadjärve manor gardener's house. Tartu 2016. 128 pages. 28 tables. 46 drawings. Master's thesis is written in Estonian.

The aim of the thesis is to give an overview of aspects of energy efficiency at the Saadjärve manor gardener's house as a dwelling house made of earth stones. U-values were calculated according to the valid Estonian Standard. Thermal camera was used to assess the scope of thermal bridges. All the critical places were drawn with program Therm 7.4 and the values of thermal bridges were calculated. Thermal indexes were calculated using the values from the program Therm 7.4 and values received from thermal camera images. The amount of condensation water and water which dries out of building's constructions were calculated. The energy performance number was calculated using all the previously calculated values. Finally solutions for rising the comfortability level in the house were given.

Keywords: earth stone house, thermal conductivity, thermal bridges, thermal transmittance, thermal camera, building construction U-value, water in building construction, temperature indexes.

## SISUKORD

ABSTRACT .....	2
Sissejuhatus .....	5
Terminoloogia .....	6
1. Kirjanduse ülevaade .....	8
1.1 Saadjärve mõisa kärnerihoone ajaloost .....	8
1.2 Maakivimaja soojustamine .....	9
1.3 Puitkiudvill ehk tselluvill .....	11
1.4 Termovaht.....	13
1.5 Põrandaliistküte .....	14
1.6 Energiatõhususe miinimumnõuded Eestis .....	15
1.7 Külmasillad.....	17
1.8 Hoonepiirete õhulekked.....	18
1.9 Termograafia ja piirete soojusjuhtivuse mõõtmine .....	19
1.10 Niiskus ehituskonstruktsioonides .....	20
2. Töö eesmärk ja ülesanded .....	23
3. Materjal ja meetodika .....	24
3.1. Hoone kirjeldus.....	24
3.2. Ehituskonstruktsioonide kirjeldus .....	25
3.3. Hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutus .....	33
3.4. Hoone piirete kondenseerumisriski ja väljakuivamise arvutus Glaseri meetodiga .....	43
3.5. Programm Therm 7.4.....	48
3.6. Joonkülmasildade arvutus.....	51
3.7. Termopildistamine.....	52

3.8. Temperatuuriindeksite arvutus .....	52
4. TULEMUSED JA ARUTELU .....	56
4.1. Hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutus .....	56
4.2. Välispiirde kondenseerumisriski ja väljakuivamise arvutus Glaseri meetodiga .....	63
4.3. Joonkülmasildade arvutus.....	68
4.4. Joonkülmasildade lisakonduktantside arvutus.....	72
4.5. Termograafia mõõtmistulemused .....	75
4.6. Külmasilla hindamine temperatuurivälja arvutusega .....	89
4.7. Tähtsamate sõlmede temperatuuriindeksite arvutused Thermi tulemuste põhjal.....	97
4.8. Piirde soojusjuhtivuse mõõtmine.....	98
4.9. Võimalikud lahendused mugavustunde suurendamiseks .....	100
5. KOKKUVÕTE.....	102
Kasutatud kirjandus .....	105
LISAD .....	108
LISA 1. Saadjärve Mõisa kärnerihoone joonised.....	109
LISA 2. Välisseina soojusjuhtivuse arvutus .....	110
LISA 3. Põrand pinnasel soojusjuhtivuse arvutus .....	111
LISA 4. Pööningu põranda soojusjuhtivuse arvutus .....	112
LISA 5. Välispiirde kondenseerumisriski ja väljakuivamise arvutus Glaseri meetodiga ...	114
LISA 6. Fotod	124

## SISSEJUHATUS

Valisin oma lõputöö objektiks Saadjärve mõisa kärnerihoone, kuna see kuulub mu vanematele ja olen seal elanud üle 10 aasta, tundus huvitav uurida just oma kodu, et seal elutingimusi parandada.

Kärnerihoone on muinsuskaitse all, seega ei kehti sellele energiatõhususnõuded ning on palju ehituslikke piiranguid. Sellest hoolimata tahavad seal elavad inimesed väiksemaid küttekulusid ning soojapidavamaid seinu, et igapäevaselt end majas hästi tunda.

Aednikumaja on ehitatud 19. sajandil ja asub Tartumaal, Saadjärve külas. Hoone kandekonstruktsiooniks on lõhutud maakivi ja majal on täieulatuslikult välja ehitatud mansardkorrus. Muinsuskaitsest tingitud piirangute tõttu ei tohi maja välisilmet muuta, seega tuleb soojusliku mugavustunde suurendamiseks vajalikke töid teostada maja sisemisel poolel. Ilusat maakiviseina ei taha keegi kinni katta ka siis kui tohiks. Teisest küljest ei ole maja lisasoojustamine seestpoolt just soovituslik.

Töö käigus leitakse vastavalt kehtivatele standarditele välispiirete soojusjuhtivused, kontrollitakse veeauru kondenseerumist piirdekonstruktsioonidesse ja kondensvee väljakuivamist Glaseri meetodil. Töös leitakse külmasildade joonsoojusjuhtivused programmiga Therm 7.4. Hoonet termopildistatakse, et kindlaks teha külmasildade kriitilisus, mida hinnatakse ka temperatuuriindeksitega vastavates punktides. Lõpuks antakse soovitusi mugavustunde suurendamiseks majas külmal ajal.

Antud töö on jaotatud neljaks osaks. Esimeses osas on välja toodud kirjanduse ülevaade töödpuudutavatest teemadest. Teises osas on esitatud töö ülesanne ning eesmärgid. Kolmas osa käsitleb töös kasutatud materjali ning meetodikat. Neljas osa hõlmab töö tulemusi ja arutelu. Lisades on välja toodud hoone üldplaanid, arvutused ning fotod hoonest.

## TERMINOLOOGIA

Piirdetarind – ehitise põhiosa või piire nagu sein, põrand, vahelagi, uks, aken, katus, mis eraldab ruumi teisest ruumist, välisõhust või pinnasest. [1]

Soojustus – materjalikiht soojusülekande oluliseks tõkestamiseks. [1]

Põrand pinnasel- põrandakonstruktsioon, mis toetub täielikult otse pinnasele [2]

Põrand välisõhu kohal – põrandatarind, mille puhul põrand on pinnasest kõrgemal ning põranda ja pinnase vahel on õhkvahe. [2]

Soojusvoog ( $q$ ) – soojusvool vaadeldava pinna pindalaühiku kohta,  $W/m^2$ . [1]

Soojuseri juhtivus ( $\lambda$ ) – materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja  $1 m^2$  pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade vahel on 1 K,  $W/(m \cdot K)$ . [1]

Soojustakistus ( $R$ ) – kindla paksusega toote või elemendi omadus takistada soojuse voogu läbi toote või elemendi (pinnalt pinnale) statsionaarsetes tingimustes,  $m^2 \cdot K/W$ . [1]

Soojusjuhtivus ( $U$ ) – iseloomustab soojuse voogu läbi piirdetarindi statsionaarsetes tingimustes,  $W/(m^2 \cdot K)$ . [1]

Soojusläbivus ( $U_c$ ) – saadakse arvutatud soojusjuhtivusele,  $U$ , paranduse  $\Delta U$  lisamisega, mis koosneb õhupiludest, mehaanilistest kinnititest, pööratud katusest, soojustuse õhujuhtivusest ja külmasildadest tingitud parandusest,  $W/(m^2 \cdot K)$ . [1]

Soojuslikult homogeenne kiht- konstantse paksusega kiht, mille soojuslikud omadused on ühetaolised või mida võib käsitleda ühetaolistena [1]

Külmasild – hoone välispiirde osa, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem. [3]

Joonkülmsilla lisasoojusjuhtivus ( $\Psi_j$ ) – lisasoojuskadu vattides temperatuuride erinevusel üks kraad joonkülmsilla pikkuse kohta,  $W/(m \cdot K)$ . [1]

Punktkülmsilla lisasoojusjuhtivus ( $\chi_p$ ) – lisasoojuskadu vattides temperatuuride erinevusel üks kraad punktkülmsilla kohta, W/K. [1]



# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Saadjärve mõisa kärnerihoone ajaloost

Saadjärve mõis

Saadjärve mõis asub Tartumaal, Tartu vallas, Saadjärve külas, Saadjärve idakaldal, 2 km kaugusel Kukulinna mõisast. [4]

Saadjärve mõisa on mainitud esimest korda aastal 1557 kui „Brakelshof nebst Dorf Saderff“, mis tähendab Saadjärve küla lähedal asunud Paakli mõisa. 1628. aastal läänistas Rootsi kuningas Gustav II Adolf sealsed alad Hans von Wrangellile. [5]

Mõisat hakati nimetama Saadjärveks lähedal asuva järve ja küla järgi 18.sajandil. Von Wrangellide perekonnalt läks 1780. aastatel mõis perekonnasidemete kaudu üle von Fersenitele. 19. sajandi alguses sai mõisa enda omandusse aadliperekond von Koskullid, kelle omandusse oli mõis ligi sada aastat. Paul von Haeckel omandas mõisa aastal 1904, kuid 1919 see temalt riigistati. [5]

Mõis sai endale stiilse klassitsistliku peahoone arvatavasti pärast 1814. aastat, olles Karl von Koskulli valduses. Hoone on kahekorruseline ning peakorruseks on teine korrus. Iseloomulik mõisale on kahe peaukse olemasolu fassaadi servadel. Soklikorrus on väliskujul rusteeritud ning peauksed on ääristatud pilastritega. Neljale ümarsambale toetub rõdu, mis ilmestab fassaadi keskosa. Hoonele annab varaklassitsistlikku ilmet kõrge kelpkatus. [5]

Peale riigistamist hõivas mõisa kohalik kool, nõukogude perioodil aga eriinternaatkool. Mõis läks eraomandusse 1990.aastatel ning restaureeriti 2000.aasta paiku. [5]

Mõisaansamblisse kuulus ka 19.sajandist pärit käesolevas uurimistöös käsitletav kärnerimaja. Aednikumaja ehitusperioodiks oli 1841-1917. Maja on väike krohvimata lõhutud maakividest ehitis täieulatuslikult välja ehitatud mansardkorrusega. Hoone on kaetud murdsarikatele rajatud murdkelpkatusega. Katuseräästad on profileeritud ja kitsad. Aknaavad alumisel korrusel on raamitud punase tellisega. Hoone tagaküljel paikneb eenduv keskrisaliit. [6]

Veel 90ndate alguses tegutses majas Saadjärve eriinternaatkool. Seejärel tagastati Rehevälja elamu õigustatud subjektile I.Eiberile. Hoone lisati kultuurimälestiste riiklukku registrisse 16.09.1997. Praegu kannab maja Rehevälja talu nime ja kuulub alates 1999.aasta septembrist Tõnu Torimile. [6,7]

Antud elamus elasid nõukogude võimu perioodil 3-4 perekonda. Ümberehitusi teostati omavoliliselt vaheseinte ja küttekollete näol. Ajutised elanikud maja eest ei hoolitsenud ning muinsuskaitse poolt järelvalvet et toimunud. [7]

## **1.2 Maakivimaja soojustamine**

Ilma soojustuseta kiviseinal on väga suur soojavool läbi seina, mis teeb ka küttekulud väga suureks. Talvel on ka seina sisepind ebamugavalt külm. [8]

Erinevalt palkseinast, millele saab korraliku ventilatsiooni ja küttelehenduse korral lisada kuni 5 cm lisasoojustust, kiviseinale sissepoole lisasoojustust paigutada ei soovitata, seda niiskuse tõttu. Talvel on kiviseina temperatuur väga madal, veeaur sadestub kiviseina sisepinnale, mis omakorda põhjustab nii soojustuse kui ka puidust karkassipostide märgumise. [8]

Välispidise lisasoojustuse puhul rikutakse aga hoone arhitektuurne välisilme. Soojustamise järel hakkab niiskus seintest välja kuivama ning esimestel aastatel on lisasoojustusel suur niiskukoormus. [8]

Lisasoojustuse otstarbekust tuleb tõsiselt kaaluda maa-, paekividest või tellistest hooneid pidevkasutusse võttes. Hoolikalt tuleb läbi mõelda kõik sõlmed ja detailid ning teha korralik projekt. Ajastutruu välimuse säilitamine nõuab välispidise soojustamise korral meisterlikku teostust. [8]

Maa- või paekivist massiivsete seintega hoonete lisasoojustuseks võib proovida ehitada vanade kivisente sisse uus soojustatud hoone. Vana kiviseina ja uue soojustatud seina vahele tuleb jätta 100- 200 mm tuulutatav õhkvahe. [8]

Seespoolse lisasoojustuse eelised välispoolse soojustuse ees [9]:

- Lisasoojustuse saab paigaldada sanitaarremondi käigus, kuna siseruume renoveeritakse üldjuhul sagedamini.
- Hoone välisilme jääb samaks ning ei mõjuta väljakujunenud keskkonda.
- Välistööd on kulukamad.
- Ehitustöid saab teha ka talvel.

Peamine oht seespoolse lisasoojustuse korral on niiskuse kondenseerumine vana seinas sisepinnale. Kondenseerumine toimub, kui õhk puutub kokku alla õhu kastepunkti temperatuuri oleva pinnaga. Probleem tekib siis, kui niiskus ei saa konstruktsioonist välja kuivada või niiskusaste ületab materjalide vastava kriitilise niiskustaseme. [9]

Lisasoojustuse korral on oluline silmas pidada vanas seinas olevaid materjale, mis võivad töötada aurutõkkekihina, näiteks vana aurutõkkekile, värvkate või tihe tapeet. Töökindel lahendus eeldab siiski vana aurutõkke eemaldamist või lõhkumist ning uue aurutõkkekihi paigaldamist seinas sisepinnale võimalikult lähedale. [9]

Teiseks ohuks kondenseerumise kõrval on kiviseinte puhul külmakahjustused. Seespoolse soojustamise eelduseks on välisseina piisav külmakindlus, kuna lisasoojustus alandab vana seinosa temperatuuri ning tõstab keskmist niiskussisaldust. [9]

Niiskus- ja külmakahjustuste teket mõjutavad tegurid [9]:

- Mördi, krohvi ja kivi külmakindlus;
- Olemasolevad seinakahjustused ja välispinna töötlus (hüdrofoobne töötlus või tihe värvkate);
- Fassaadi kõrgus ja hoone asukoht.

Välisseinte seespoolseks soojustamiseks on järgmised võimalused [9]:

- Tselluvilla või mineraalvillaga ja katmine siseviimistlusplaatidega
- Mineraalvillaga ilma villavahelise kinnituskarkassita
- Vahtpolüstüooliga
- Vahtpolüretaaniga

### 1.3 Puitkiudvill ehk tselluvill

Tselluvillast soojustust hakati meil tootma alles 20.sajandi lõpus, kuigi 1920ndatel toodeti seda juba Kanadas ja Ameerikas. Tselluvill koosneb peenestatud puitkiust või makulatuurist. Materjalile lisatakse kuni 20% massi ulatuses booriühendeid, et tõsta selle tulekindlust ja vastupidavust hallitusele. Peamiselt kasutatakse tselluvilla puistevillana, kuid tehakse ka soojustusplaat. [10]

Puitkiudvilla toodetakse tänapäeval vaid valitud vanapaberist, mille trükivärviks on kasutatud ohutuid taimseid värve. Villa saab paigaldada soojustuseks nii horisontaalpindadele, seintele kui ka kaldpindadele ning paigaldatakse spetsiaalsete puisteseadmetega. Soojustuse massist 80-90% moodustab peenestatud makulatuur või jahvatatud puitkiud. [11]

Horisontaalpindadel nagu põrandad ja laed kasutatakse villa paigaldamiseks tavalist ehk kuivpuhet või liimainega immutatud märgpuhet, mis võimaldab tselluvillal konstruktsiooni külge nakkuda, vältida vajumist ning lisada tihedust. Horisontaalpindade puhul peab paigaldatav soojustuskiht olema projekteeritust umbes 15% paksem, kuna vill vajub ajapikku kokku. [11]

Seinte soojustamisel kasutatakse liimainega märgpuhet. See tagab monoliitse ja ilma vuukideta isolatsioonikihi üle kogu konstruktsiooni. Puitkiudvill täidab kõik vahed ka juhtmete ja torude ümbruse. Viimistlust ei tohi paigaldada enne, kui soojustus on korralikult kuivanud. Kuivamine kestab viis kuni kuus nädalat sisetemperatuuril 20°C, seda kiirendavad kütmine ja tuulutamine. Villa niiskussisaldus peab olema alla 12%, alles siis võib alustada õhutõkke paigalduse ja viimistlustöödega. [11]

Katuslagede ehk kaldpindade puhul täidetakse sarikate vahed villaga peale tuuletõkke ja õhutõkkepapi paigaldamist spetsiaalse puisteseadmega. Õhutõkkepapp on välja töötatud ekstra puitkiudvilla jaoks ning laseb läbi piiratud koguses õhuniiskust. Materjal on tavalisest ehituspapist oluliselt tugevam ning veeauru läbilaskvusvõimet on laboratoorselt testitud. Puistevilla isolatsioonivõime põhineb puidu omadustel, tihedusel ja paigaldustehnoloogial. Tihedus sõltub paigalduskohast ja meetodist. Puitkiudvilla erikaal on vabapuistes u 25 kg/m<sup>3</sup>

kohta, märgpuistes u  $36 \text{ kg/m}^3$  kohta. Sein konstruktsioonis märgpuistes u  $36 \text{ kg/m}^3$  kohta ja kuni  $60^\circ$  kaldpindade puhul u  $48 \text{ kg/m}^3$  kohta, vertikaalpindadel u  $63 \text{ kg/m}^3$  kohta. Tihe soojustus pärsib õhuliikumist konstruktsioonides ning muudab selle vähemtundlikuks tuule-ja aurutõkke paigaldusest tingitud vigade suhtes. [11]

Puitkiudvillal on märkimisväärne võime siduda ja vabastada niiskust. See tähendab, et niiskel ehk suvisel perioodil ei kahjusta liigne niiskus konstruktsiooni ning kuival kütteperioodil ehk talvisel perioodil vabaneb niiskus tasakaalustades siseõhu kliimat. [11]

Puitkiudvilla on erinevalt tavalisest plaat- (rull) villast palju kergem paigaldada, pole seda vaja ladustada ning aurutõkke kasutamise vajadus puudub, ka ei jääta selle paigaldamine jääke ega vaja utiliseerimist. Paigaldajad kontrollivad alati villa paigalduse ettevalmistustöid ning annavad konsultatsiooni paigaldamise osas. Puitkiudvilla paigalduse puhul peab arvestama, et väga väikeseid koguseid ei paigaldata (alates  $6 \text{ m}^2$ ). Tselluvilla valikus pole ka tooteid nagu tuletõkkevill, koormust taluvat ja torude isoleerimiseks mõeldud materjali. [11]

Puitkiudvill pole tuleohtlik materjal. Soojustuse massist umbes 20% moodustavad põlemist aeglustavad boriidid ning tule levikuks on materjalis liiga vähe õhku, mis muudab selle raskesti põlevaks ning annab pikema evakuatsiooniaja paljude „mittepõlevate“ villadega võrreldes. Tselluvill ei põle leegiga vaid söestub. Boriidid soojustuses hoiavad eemale ka närilisi ja takistavad hallituse teket. [11]

Puitkiudvill sobib lisasoojustuseks nii vanadele palkmajadele kui ka uutele peenest palgist seinakonstruktsioonidele. Kui maja enam elamiseks ei kõlba, saab tselluvilla uuesti kasutada või matta pinnasesse keskkonda kahjustamata. [11]

Tselluvilla puistena soojuserijuhtivus on  $0,052 \text{ W/(mK)}$  ja difusioonitakistustegur 2. [9]

### **Lisasoojustamine tselluvilla või mineraalvillaga ja katmine siseviimistlusplaatidega**

Mineraal- või tselluvillaga soojustamine ja katmine siseviimistlusplaatidega on kõige levinum seespoolse soojustamise viis. Põhielemendid on: soojustus, karkassipostid, aurutõke ja viimistlusplaadid. Kõigepealt tehakse vanale piirdetarindile puidust või terasprofiilidest

karkass. Seejärel täidetakse karkassivahe soojustusega ja kaetakse kips- või puitlaastplaatidega. Soojustuseks sobib nii klaas-, kivi- kui ka tselluvill. [9]

Oluline on jälgida, et soojustus täidaks kogu talle jäetud ruumi. Tselluvill on ehitustehniliselt hea lahendus. See pritsitakse märgmenetlusel karkassi vahele ning tihendatakse rulliga. Tähelepanu tuleb pöörata niiskuse väljakuivamisele. Hallitus- või mädanikkahjustusega seinapinna puhul ei tohi kindlasti märgmenetlust kasutades seinaniiskust lisada. Kui vana seinapinna ja soojustuse vahele jätta õhuvähe, koguneb sinna konvektsiooniga niiskus. [9]

Suure aurutakistusega vana seinapinnal tuleb paigaldada ka aurutõkke või seespoolne lisasoojustus hoopis ära jätta. Kui aurutõket pole, võib välisseinte jahtumisest tingituna soojus kondenseeruda soojustatava seinapinnale. Märkunud soojustus võib hakata hallitama. Aurutõkkele peab täitma ka õhutõkke ülesannet, et vältida niiske siseõhu kandumist lisasoojustusse. Kui kasutada puitkarkassi, peab puidu ja kivi- või betoonpinnal vahel olema bittuumenmaterjalist hüdroisolatsioon ning puit peab olema antiseptitud või sügavimmutatud. Võimalikud läbiviigid läbi aurutõkke peavad olema hoolikalt tihendatud. [9]

#### **1.4 Termovaht**

Termovaht on soojustusmaterjal, mis on külmkõvastuv, 2-komponentne, süstitav karbamiidvaht, millel on avatud pooridega struktuur. Termovaht segatakse spetsiaalsest vesilahusest kokku alles objektile. Suruõhuga muudetakse segu vahuks ning süstitakse/pritsitakse survega seintes olevatesse tühimikesse läbi müüritisse eelnevalt puuritud aukude. [13]

Termovahu struktuuriks on miljonid pisikesed avatud õhumullid, mis muutuvad tahenedes pehmeks valgeks veeauru läbilaskvaks materjaliks. Termovaht tagab hea heliisolatsiooni ning sellel on tuldtõkestav toime. See on energiasäästlik, kuna külm ja soe on paremini isoleeritud ning kondensvett ei teki tänu materjali headele difusiooniomadustele. Samuti on termovaht vananemis-, mädanemis-, korrosiooni- ja kemikaalikindel. [13]

Termovaht sobib eriti hästi vanade hoonete soojustamiseks, sobides kahekihilistele müüritistele, välisseintele, eterniitvooderdisele, installatsioonišahtidele jne. [13] Termovahtu iseloomustavad soojustakistused leiab tabelist 1.

Pihustatava termovahu „Amonotherm“ iseloomustab: [14]

- Soojuserijuhtivus 0,0327 W/(mK)
- Veeimavus 6,6%
- Kuivtihedus 12-15 kg/m<sup>3</sup>
- Temperatuurikindlus -100°C- +120°C
- Põlemisklass B2
- Mürakindlus u 1,5 dB/cm vahu paksusest
- Veeauru difusiooni takistustegur  $\mu=2,2$

**Tabel 1.1.** Termovahu orienteeruvad soojustakistused [9]

Seinas oleva õhuvahe laius (cm)	Soojustatav pindala (m <sup>2</sup> ) 1m <sup>3</sup> termovahuga	Termovahu soojustakistus (m <sup>2</sup> K/w)
2	50,0	0,61
3	33,3	0,92
4	25,0	1,22
5	20,0	1,53
6	16,7	1,83
7	14,3	2,14
8	12,5	2,45
9	11,1	2,75
10	10,0	3,06

### 1.5 Põrandaliistküte

Soe põrandaliist tagab ühtlaselt jaotatud soojuse, mis tõuseb mööda seinu üles moodustades soojuskatte külmal del seintel. See blokeerib joonkülmasildadest tingitud külma õhu sattumise ruumidesse. Soojendatud seinad annavad soojuskiirguse teel ruumi ühtlast soojust. [15]

Põrandaliist kütet on lihtne reguleerida ning autonoomne temperatuuri regulatsioon tagab maksimaalse mugavuse ja energiasäästu. Näiteks 100 m<sup>2</sup> suuruses ruumis ringleb vaid 8 liitrit vett. Põrandaliistu kõrgus on 13,8 cm ja laius 2,8 cm. [15]

Põrandaliist kütte hoiab ühtlast temperatuuri ruumis ning hoiab ära kondensaadi tekkimise seintele. Ruumid soojenevad kiiresti ning põranda temperatuur on samuti optimaalne. Süsteemi saab ühendada mistahes alternatiivse energialiigiga. Soe põrandaliist tagab tervisliku mikrokliima ruumis, levitades soojust ühtlaselt ning ei soodusta ka tolmu levikut ja kogunemist ruumis. Süsteemi saab kergesti paigaldada nii uutes kui vanades majades. Soojuse jaotumise skeemi näeb jooniselt 1.1.[15]



**Joonis 1.1.** Soojuse jaotumine ruumis põrandaliist küttega.[15]

## **1.6 Energiatõhususe miinimumnõuded Eestis**

Hoone energiatõhususe miinimumnõuded on kehtestatud määrusega nr 55 Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, mis on vastu võetud 6. Juunil 2015. [16]

Määrus kehtestab miinimumnõuded hoone, ka madalenergiahoone ja liginullenergiahoone energiatõhususele. Nõuded esitatakse kasutamise otstarbe järgi elamutele ja mitteelamutele. Vastav energiatõhususarv kehtestatakse igale eraldi kasutamise otstarbega hoone osale, mille köetav pind on üle 10% kogu hoone köetavast pinnast. Hoone lubatavaks energiatõhususarvuks on köetava pinna alusel arvutatud hoone osade kasutamise otstarvete kaalutud keskmine energiatõhususarv. [16]



Energiatõhususe nõuded kehtivad tervele hoonele. Energiatõhususarvu arvutamisel arvatakse hoone koosseisu lisaks piiretele ja tehnosüsteemidele hoonesse või kinnistule paigaldatud hoonet teenindava kohaliku energiatootmise süsteemid nagu päikesekollektorid ja –paneelid, tuuleturbiinid ja koostootmisjaam. Energiavõrguga ühendatud tehnosüsteemid nagu kaugküte ja –jahutus kuuluvad hoone koosseisu liitumispunktist alates. [16]

Energiatõhususarv näitab hoone energiakasutust sisekiima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja olme-ja teiste elektriseadmete kasutamiseks ning arvutatakse kätava pinna ruutmeetri kohta hoone tavapärase kasutamise puhul. Energiaarvutusega määratakse summaarne energiakasutus tarnitud ja eksporditud energia näol, mille alusel määratakse hoone energiatõhususarv. Energiaarvutuse käigus leitakse suvine temperatuur, netoenergiavajadus, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemi elektrikasutus, küttesüsteemi energiakasutus, elektrisüsteemi elektrikasutus. [16]

Energiatõhususe miinimumnõuded kehtivad [17]:

- Väikeelamud
- Kortereelamud (ka hoolekandeesutused ja ühiselamud)
- Büroohooned
- Ärihooned (majutus- ja toitlustusasutuses, teenindushooned)
- Avalikud hooned (v.a looma- või botaanikaaiia hooned, jäähallid, maneežid)
- Kaubandushooned ja terminalid
- Haridushooned
- Koolieelsed lasteasutused
- Tervishoiuhooned

Energiatõhususe miinimumnõuded ei kehti [17]:

- Miljööväärtuslikul hoonestusalal asuvad või väärtusliku üksikobjektina määratletud hooned või hooned, mis on arvele võetud kultuurimälestistena, asuvad muinsuskaitsealal või kuuluvad UNESCO maailmapärandi nimekirja ning mille olemust või välisilmet muudaks energiatõhususe miinimumnõuete täitmine oluliselt
- Religioosseteks tegevusteks kasutatavad hooned või kultuskohad

- Kuni kaheaastase kasutuseaga hooned
- Töökojad ja tööstushooned ning madala energiavajadusega, eluruumideta põllumajandushooned
- Hooned, mida kasutatakse aastas elamiseks vähem kui neli kuud
- Hooned, mille ruumide summa on kuni 50 m<sup>2</sup>

Energiamärgis on dokument, mis näitab hoone või selle osa aastast energiatarvet köetava pinna ruutmeetri kohta. Uue eluaseme soetamisel, üürimisel või projekteerimisel on õigus nõuda hoone energiamärgist. See näitab kui energiasäästlik on soetatav kinnisvara- mida kõrgem on energiatõhususklass (A-st kuni H-ni), seda väiksemad on tulevased energiaarved. [17]

Hoone märgise hulka kuuluvad ka kindlad meetmed, mida oleks hea rakendada hoone energia kokkuhoiduks ja sisekliima parandamiseks. Projekteeritava hoone puhul on energiamärgis tõendiks energiatõhususe miinimumnõuetele vastamise osas. [17]

## **1.7 Külmasillad**

Külmasild on tarindi piirkond, mille soojajuhtivus on oluliselt suurem võrreldes tarindi muude piirkondadega. See tähendab, et selles kohas on tarindi välispind soojem kui muudes kohtades, sisepind vastupidiselt jahedam. Liigitatakse külmasildu geomeetrilisteks ja konstruktsioonilisteks, koht-, joon- ja punktkülmasildadeks. [18]

Kohtkülmasillaks võib olla raudbetoonsillus tellis- ja kergplokseintes, tarindit läbivad karkassipostid, soojustust läbivad kivi ja betoontarindid. [18]

Joonkülmasillad leiab hoone välisnurkadest, samuti plekkprofiilpostid kergseinas ja puitpostid sõrestikseinas, akende ja uste piida ümbrus, klaaspakettide perimeeter, vahelae seinale toetumise kohad, vundamendi ja põranda kokkupuutejoon. [18]

Punktkülmasillad on rõdude ja varikatuste kandetalad, soojustust läbivad ankrud ja kinnitid. [18]

Külmasild on soojuse lisakulu põhjuseks. Lisaks võib külmasilla kohal välispiirde sisepinna temperatuur langeda nii madalale, et niiskus kondenseerub ning tekib hallitus. [18]

Külmasillad on hästi avastatavad termofotodelt. Tihti leiab külmasilla ka visuaalsel vaatlusel viimistluse värvimuutuse või hallituse järgi. Lihtne on neid leida ka distantstermomeetriga. [18]

Külmasildadega on jahedas kliimas oluline arvestada järgmistel põhjustel [19]:

- Külmasillal on suurem soojusjuhtivus ja seetõttu sisepinna temperatuur madalam. See põhjustab kõrget suhtelist niiskustaset, mis loob soodsa pinnase mikroorganismide kasvuks tarindis, põhjustab seina määrdumist või veeauru kondenseerumist. Hallituse kasvuks sobilik suhteline niiskus jääb 75-80% piiridesse.
- Väheneb soojuslik mugavustunne suurte madala pinnatemperatuuriga alade tõttu, mis põhjustavad suuremat õhuliikumist ja ebasümmeetrilist kiirgust.
- Külmasillad tõstavad energiakulu, sest väheneb piirdetarindite üldine soojusjuhtivus ning külmasildade osakaal kasvab.

### **1.8 Hoonepiirete õhulekked**

Planeerimatu ja kontrollimatu õhuvool läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes väljendab hoonepiirete ebapiisavat õhupidavust. Õhu infiltratsioon ja selle mõju sõltub hoonepiirete õhupidavusest, õhurõhkude erinevusest kummalgi pool piiret, lekkekohtade paiknemisest, kasutatavate materjalide omadustest ja kliimatingimustest nagu tuul. Hoone kui terviku õhupidavust mõjutavad kõikide piirete, liitekohtade, akende ja uste jne. õhupidavused. Õhupidavuse tagamiseks on olulised läbimõeldud ja kompleksed lahendused. [20]

Hoonepiirete õhupidavus pole ainult energiatõhususe probleemiks. Õhupidavusega on seotud mitmed probleemid nagu niiskustehnilised probleemid (hallitus, kondenseerumine), hallituse, radooni ja muu õhusaaste levik põrandaalustest ruumidest eluruumidesse, ebasoovitavate lõhnade liikumine korterite vahel. Samuti on õhupidavusega seotud piirdetarindite alajahtumine, sisekliima kvaliteet, tuuletõmbused, ventilatsioonisüsteemi toimivus, müra levik ja tuleohutus. [20]

Paljude ebatihedustega piirdetarindis kannab konvektsioon edasi suuremaid niiskuse koguseid kui niiskuse difusioon. See võib jällegi põhjustada lubamatult kõrgeid niiskustasemeid. Siseruumide õhuvahetus on mõjutatud samuti õhuleketest, siiski pole läbi piirete toimuv õhuvahetus kontrollitav, juhitav ega vajadusel filtreeritav. Niiskuskahjustusest tingitud hallituse või mädaniku eosed kantakse piirdest õhuga siseruumi. [20]

Õhulekkearv  $q_{50}$  ( $m^3/(hm^2)$ ) on hoonete õhupidavust iseloomustav suurus, mis näitab õhuvooluhulka ( $m^3/h$ ), mis läbib  $1 m^2$  suuruse pindalaga piiret, kui mõlemal pool piiret on 50 Pa õhurõhkude erinevust. Õhupidavust iseloomustab ka  $n_{50}$  arv, mille mõõtühikuks on  $1/h$  ning mis väljendab õhuvahetuskordsust hoones, kui õhurõhkude erinevus mõlemal pool piiret on 50 Pa. [19]

### **1.9 Termograafia ja piirete soojusjuhtivuse mõõtmine**

Termograafia on infrapunakaamerate ehk termoviisorite abil erinevate objektide jäädvustamine termopildile ning objekti pinnatemperatuuri mõõtmine. Termografeerimisega saab määrata nii konkreetse punkti temperatuuri kraadides kui ka võrrelda suurema pinna temperatuure üldpildina [21]. Hoonest, seadmest või esemest tehakse termokaameraga pilt, millelt on näha objekti pinnatemperatuurid, analüüsi lihtsustamiseks on eri temperatuuriga piirkonnad värvitud eri värvi. [22]

Iga keha pinnatemperatuuriga üle absoluutse nulli ( $-273^{\circ}C$ ) kiirgab soojusenergiat. Soojuskiirguse lainepikkus on üldjuhul suurem nähtava valguse lainepikkusest. Kuna soojuskiirgus asub punasest kiirgusest allpool, nimetatakse seda infrapunakiirguseks. [22]

Termograafia võimaldab [22,21]:

- Leida soojalekkeid ja niiskuskahjustusi konstruktsioone avamata
- Avastada külmasildu
- Teha elektrikilpide ülevaatus
- Määrata põrandaküttetorude ja –kaablite asukohad
- Hea parandustööde kavandamiseks
- Saab hinnata ehitusjärgset olukorda ja annab eelduse kvaliteetseks ehitamiseks

Heade termograafiliste analüüsitulemuste saamiseks peab sise- ja välistemperatuuri vahe olema vähemalt 15°C. Vastasel juhul jääb termopildi kontrastsus hindamiseks ebapiisavaks. Oluline on jälgida, et mõõtmise ajal oleksid välisseinad kuivad ning neile ei paistaks otsene päike. Päikese tõttu ei pruugi pindade lekkekohad kõrgenenud temperatuuri tõttu esile tulla. [22]

Fassaadi termopilt näitab kui ebahütlane on seinapinna temperatuur ning aitab anda hinnangu konkreetse seiniosa soojusjuhtivuse erinevusele. Samuti näeb välisseina termopildilt tumedate laikudena kohti, kuhu koguneb niiskus ning konstruktsioonist tulenevaid külmasildu ja teisi soojalekkekohti. Pilt toob välja ka aknaklaaside ja –raamide temperatuurid ja lubab hinnata nende soojusjuhtivust. [21]

Siseruumi termopildilt näeb külmade seinaosade asukohti ning nendega seotud kondenseerumise ja hallituse tekkimise ohtu. Külmad seinaosad tähendavad üldjuhul halvasti paigaldatud või märgunud soojustust. Samuti tulevad esile külmasillad, saab hinnata akende ja nende paigalduse kvaliteeti, toob välja veekahjustuse kohad. Termopildilt näeb veel õhutiheduse puudumisest tingitud külma õhu liikumist, küttekehade või päikesekiirguse mõju seinatemperatuurile ning aitab leida sein- ja põrandasisesed veetorud ning ülekuumenenud elektrijuhtmed. [21]

### **1.10 Niiskus ehituskonstruktsioonides**

Niiskus konstruktsioonides on tõsine probleem ja mõjub hoone tarinditele halvasti. Vee hulk piirdes pole küll palja silmaga nähtav, kuid liigse niiskuse poolt tekitatud kahjustus on. Kahjustusi näeb nii viimistlusel kui konstruktsioonis. Metallpindade puhul väljendub niiskuskahjustus korrosioonis, puitpindade puhul hallituse ja mädanikuna. [23]

Piisab 80% niiskusest, et näha kahjustusi. Tekib soodne keskkond mikroorganismide arenguks ning mädaniku ja hallitusseenete eosed, mis levivad ka siseõhku, võivad kujutada tõsist ohtu inimese tervisele põhjustades erinevaid hingamisteede haigusi. [23]

Niiskuse piirdesse sattumise põhjused [23]:

- Niiskuskoormus ruumide kasutamisest
- Puudulik õhuvahetus
- Hooldamata ja remontimata ruumid
- Ehitusvead

Niiskuse piirdesse kondenseerumise põhjused [23]:

- Ruumi ventileeritakse sooja õhuga
- Kütmata ruum, välistemperatuuri tõustes
- Ruumi temperatuuri langus, kui õhuniiskus ei muutu
- Külmad pinnad konstruktsiooni sees (ventilatsiooni- ja veetorud, lõõrid)
- Soojustamata konstruktsioonis ja külmasillad
- Mööbel, mis asetseb vastu välisseina, niiskus võib selle taga kondenseeruda
- Ülerõhk hoones

Kondenseerumine tekib, kui hoone piirete temperatuur on liiga madal. Selle tingib jällegi piirete liiga madal soojatakistus. Niiskus liigub alati kuivema õhu suunas. Enamasti tähendab see, et niiskus liigub ruumist välja, vahel võib olukord olla vastupidi. Näiteks niiskuse ruumist välja liikudes on välissein liiga tihe ja niiskus ei saa läbi, siis toimub kondenseerumine. Niiskusel ei tohi lasta piirdesse koguneda, selle peab sealt välja juhtima.[23]

Vee ja veeauru liikumist mõjutavad kapillaarne imendumine, konvektsioon ja difusioon. Niiskuse liikumist suurema rõhuga alalt väiksema rõhuga alale nimetatakse difusiooniks. Difusiooni ulatus sõltub materjali poorsusest. Mida suurem poorsus, seda rohkem niiskust läbi pääseb. [23]

Konvektsiooniga liiguvad kaasa ka veemolekulid. Õhuvoolu liikumine on põhjustatud õhurõhkude erinevusest. Tuul võib põhjustada välisõhurõhu lühiajalisi erinevusi, sisetingimustel põhjusavad rõhuerinevusi ventilatsioon või temperatuur. Niiskus saab niimoodi lihtsalt läbi pragude konstruktsiooni. Konvektsioon põhjustab kiiremat ja suuremas koguses niiskuse liikumist kui difusioon. [23]

Kapillaarne imendumine tähendab vee liikumist materjali poorides kapillaarjõu ja vee pindpinevuse mõjul. Vesi tõuseb seda kõrgemale, mida väiksemad on materjali poorid. [23]

Veeauru kondenseerumise vältimiseks tuleb[23]:

- paigaldada hea ventilatsioonisüsteem
- ventileerida ruume jahedama õhuga
- jahedaid tuume ventileerida veel jahedama õhuga
- kasutada ruumides vähem vett
- teha hoonele tihe väliskonstruktsioon ja soojustada piisavalt
- enne laudvoodri paigaldamist seinakonstruktsiooni, jätta piisav õhuvähe niiskuse väljakuivamiseks

Niiskuskahjustuste vältimiseks peab märgades ruumides nagu vannituba, sauna leili- ja pesuruum olema paigaldatud piisav hüdroisolatsioon, et niiskus ei pääseks konstruktsiooni. [23]

## 2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Töö eesmärk on välja selgitada Saadjärve mõisa kärnerihoone energiatõhusus kui elumajana kasutusel oleva maakivimaja energiatõhusus. Anda hinnang maakivist seinale tuues välja selle sobivuse/mittesobivuse elumaja konteksti. Pakkuda välja lahendusi mugavustunde suurendamiseks muinsuskaitse all olevas maakivimajas elamisel.

Töös käigus lahendatakse järgmised ülesanded:

- tutvumine hoone ajaloo, ehituskonstruksioonide ja tehnilise seisundi hindamine ning teemakohase kirjanduse läbitöötamine;
- tutvumine töö käigus kasutatavate programmide ja seadmetega: programm Therm ja termovisiooni meetodika;
- termovisioon külmasildade olemasolu ja asukohtade väljaselgitamiseks ning nende kriitilisuse hindamine;
- välispiirete soojusjuhtivuste arvutamine kasutades standardite arvutuspõhimõtteid;
- välispiirete summaarse soojuserikao leidmine köetava pinna ruutmeetri kohta;
- olulisemate sõlmede: sokkel-sein, räästas, aken-sein, hoone välisnurk, välis- ja siseseina ristumine, välisseina ja vahelae ristumine ning külmasildade konduktantside ja temperatuurivälja arvutus programmiga Therm;
- arvutatud ja mõõdetud tulemuste võrdlemine;
- välispiirete kondenseerumise kontroll Glaseri meetodi abil;
- välispiirete soojuskaod, mis on tingitud piirete soojuseri juhtivusest ja õhu infiltratsioonist;
- tulemuste analüüs.



### 3. MATERJAL JA METOODIKA

#### 3.1. Hoone kirjeldus

Saadjärve mõisa kärnerihoone asub Tartu vallas, Saadjärve külas, Saadjärve ääres, umbes 20 km kaugusel Tartu linnast. Maja on orienteeritud kirde-edela suunale.

Maja on krohvimata, ehitatud lõhutud maakividest, täielulatuslikult välja ehitatud mansardkorrusega (joonis 3.1). Hoonel on murdsarikatele rajatud murdkelpkatus. Katuseräästad on profileeritud ja kitsad. Alumise korruse aknaavad on raamitud punaste tellistega. Hoone tagaküljel paikneb eenduv keskrisaliit.

Maakivist on hoone keldrikorrus, terve esimene korrus ja kaks külge teisel korrusel, maja esi- ja tagaküljel. Keldril on muldpõrand ja keldri vahelagi on villaga soojustatud. Loode ja kaguküljel on teisel korrusel krohvitud tellissein, ülejäänud osa teistest korrusest katab mansardkatus. Majal on ka pööningukorrus, pööninglagi on soojustatud mineraalvillaga, samuti on soojustatud katusealune ja mansardkorruse katuseosa. Katusekatteks on valtsplekk.

Esimese ja teise korruse vahel on väljas valge krohvitud riba, mida räästa äärtest kaunistab geomeetiline iludetail. Pööninguosas katab seinalt äärest teravatipuline laudis. Iludetailiks on veel esimese korruse aknaid raamivad punased tellised. Keldri akende juures on tellistest laotud aknakastid.

Köögi poolses välisseinas ja elutoa poolses välisseinas on mõlemas üks suur võlviga aken. Kabinetipoolses küljes on kaks kitsamat akent ning koridori seinas esimesel korrusel samuti. Teisel korrusel on igas seinas üks kitsas aken. Aknad on valgeks värvitud puitraamiga, kahele poole avanevad, väikeste ruutudega ülaosas. Akende ümber moodustuvad paksu välisseina tõttu laiad aknaorvad. Pööningul on neljas maja küljes igas üks väike poolkuukujuline kaarega aken. Keldriaknad on väikesed ristkülikud keldri aknakastides.

Keldrisse pääseb maja kirdeküljelt betoontrepist, mille kohale on ehitatud puidust varjualune. Varjualuse uks on lihtne puidust uksega, alla minnes on säilinud vana kaarega massiivne

puituks. Maja esikülje välisuks on samuti puituks, mille kohal on varikatus. Üks väisuks on veel kabinetis, mille ette on ehitatud puidust tuulekoda.



**Joonis 3.1.** Foto kärnerihoone idaküljelt.

### **3.2. Ehituskonstruksioonide kirjeldus**

Välispiirete soojusjuhtivuste ja kondenseerumisriski arvutamiseks on vajalikud materjalide andmed toodud tabelis 3.1.

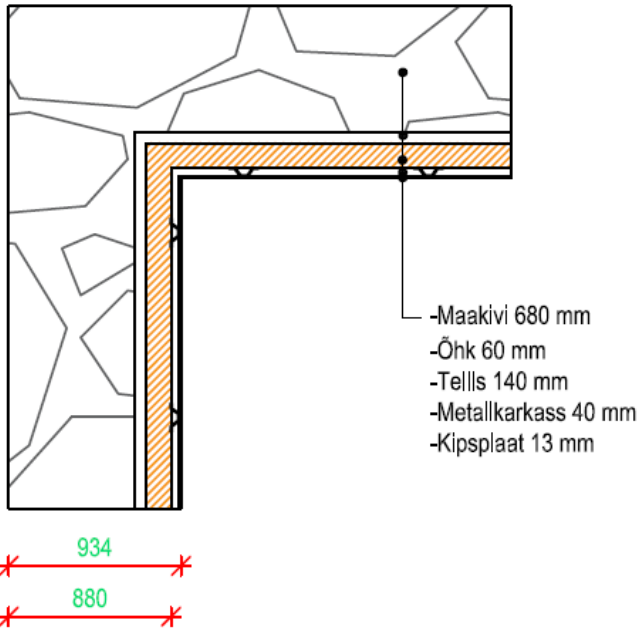
**Tabel 3.1.** Arvutustes kasutatud materjalide omadused [24]

Materjal	Soojuseri juhtivus $\lambda$ , W/(m·K)	Difusioonitakistuskonstant $\mu$	Aurutakistus $S_d$ , m
Puit <sup>3)</sup>	0,13	50	
Maakivimüritis <sup>6)</sup>	2,33...2,91	85 <sup>7)</sup>	
Punane tellisein <sup>3)</sup>	0,6	6-12 <sup>2)</sup>	
Metalldistantliist (teras) <sup>3)</sup>	50		
Tuuletõke <sup>4)</sup>	0,17	22	
Linaluu <sup>1)5)</sup>	0,03 <sup>1)</sup>	1-2 <sup>5)</sup>	
EPS <sup>3)</sup>	0,05		2,0
Kipsplaat <sup>3)</sup>	0,25	12	
Klaasvill <sup>3)</sup>	0,047	1	
Kivivill <sup>3)</sup>	0,046	1	
Katuseplekk <sup>3)</sup>	50		
Lubikrohv <sup>2)</sup>	0,87	11	0,3

- 1) Miljan, M.-J. 2007. Kohalike soojusisolatsioonimaterjalide kasutamine piirdekonstruktsioonides. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ. [25]
- 2) <http://www.tarmatrade.ee/File/FASSAADIDE%20HINGAMISE%20ARVUTUS.pdf>
- 3) EVS-EN ISO 10456:2008
- 4) [http://www.majatohter.ee/sites/default/files/infomaterjalid/SOLITEX\\_WA\\_info.pdf](http://www.majatohter.ee/sites/default/files/infomaterjalid/SOLITEX_WA_info.pdf)
- 5) <http://www.isolina.com/gb/insulation.cfm>
- 6) Tiit Masso, Väikemajad – Tln.: Valgus 1990
- 7) EVS-EN 12831:2003

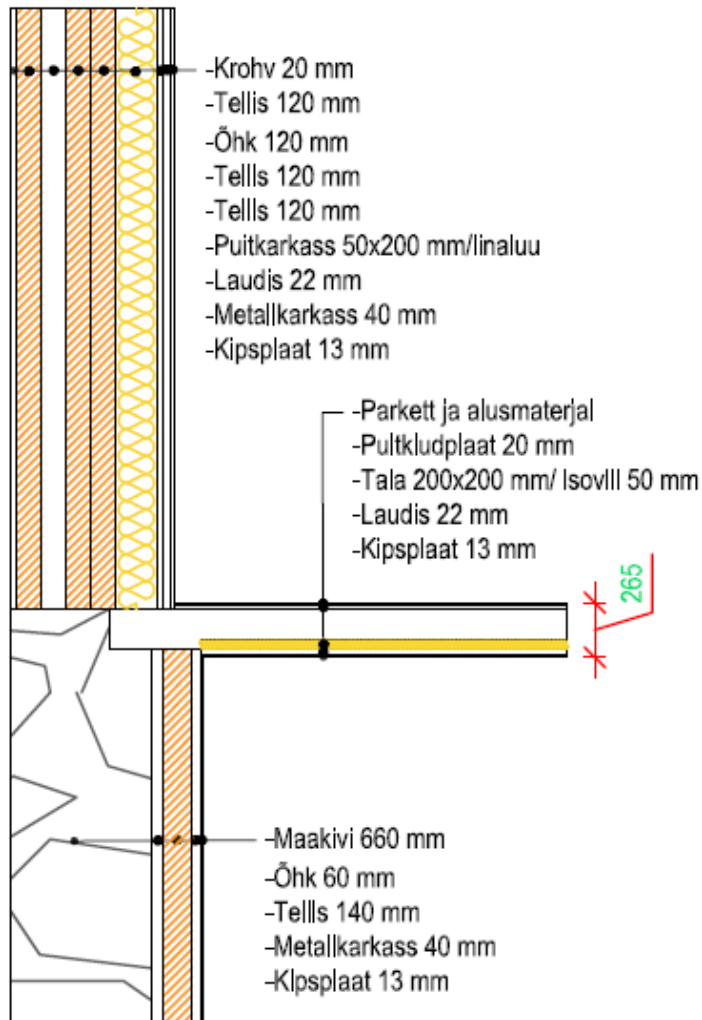
## Välissein

Esimese korruse välisseinad on kõik maakiviseinad. Maakiviga seinte konstruktsiooniks on väljast sissepoole 600 mm maakivi, keskmiselt 60 mm õhuvahe, 140 mm punastest tellistest sein ning siseviimistluseks metallist distantliist, peal kipsplaat, krohv, tapeet/värv. Sama tüüpi maakivisein on ka teisel korrusel maja kirde ja edelaküljel. Välisseina konstruktsioon on kujutatud joonisel 3.2.



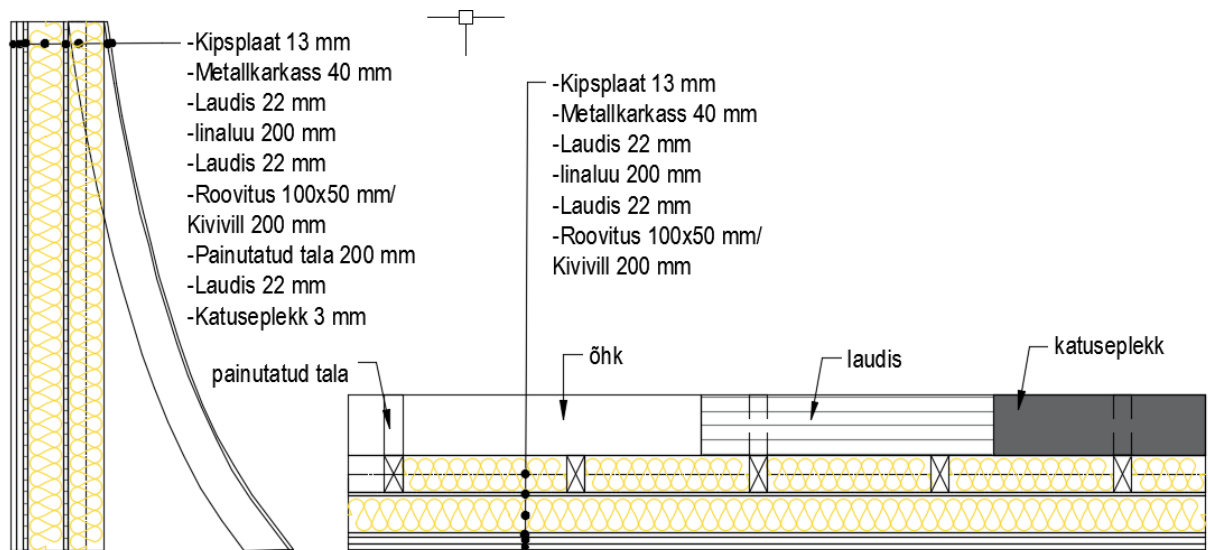
**Joonis 3.2.** Esimese korruse välissein

Teise korruse kagu ja loodeküljel on välisseinaks väljast sissepoole järgmine konstruktsioon: lubikrohv, 125 mm tellis, 120 mm õhuvahe, 300 mm tellissein, peale kipsplaat, krohv ja tapeet (vt joonis 3.3).



**Joonis 3.3.** Esimese ja teise korruse välisseina ja vahelae sõlm

Maja teise korruse ida, lõuna ja põhjaküljel katab sein mansardkatus. Katuse vahetati välja 2014. aasta suvel, mille käigus soojustati ka katusealune. Väljast sissepoole vaadates on seinakonstruktsiooniks katuseplekk, 100x100 mm kivivill roovituse vahel, laudis, roovitus, mille vahel linaluu ning taas laudis ning peal kipsplaat ja siseviimistlus. Ettekujutuse mansardkorruse konstruktsioonist annavad joonis 3.4, kus on kujutatud mansardkorruse sein läbilõige ja pealtvaade ning joonis 3.5, kus on näidatud lisasoojustuse paigaldamist katusevahetuse käigus.



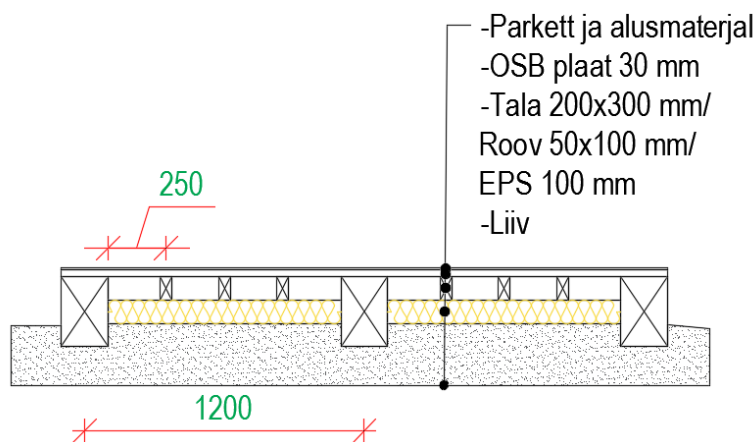
**Joonis 3.4.** Mansardkorruse seinakihi lõige ja pealtvaade.



**Joonis 3.5. Mansardkorrus.** Pildil lisasoojustuskihi (kivivilla) paigaldamine roovituse vahele.

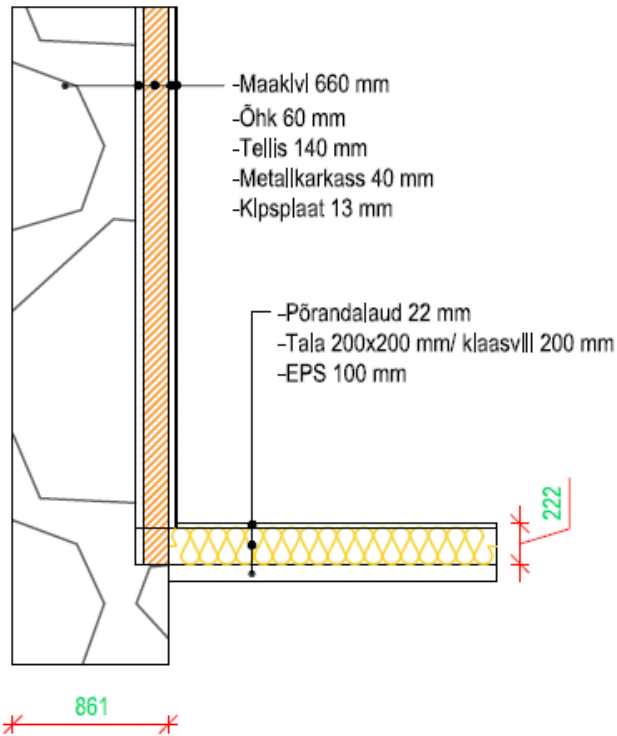
## Põrand

Keldris on muldpõrand, mis ühes ruumis on kaetud betooniga. Esimesel korrusel on tegemist põrand pinnasel konstruktsiooniga ainult elutoa all. Liivast täitepinnasel on talad, mille vahele on pandud 150 mm EPS soojustusmaterjali, selle peal asetseb tasandusroovitus ning peal on puitkiudplaat. Põrandakatteks on elutoas parkett. Põrand pinnasel konstruktsioon on kujutatud joonisel 3.6.



**Joonis 3.6.** Põrand pinnasel.

Muus osas on tegemist keldri ja esimese korruse vahelaega, vt joonis 3.7. Konstruktsiooniks on vahelaetalad, mille vahele on paigaldatud klaasvill 200 mm ning hiljem lisatud 100 mm EPS plaadid ning lükatud äravajunud soojustus vastu põrandat. Põrandakatteks on köögis ja koridoris laudpõrand, muudes ruumides parkett.



**Joonis 3.7.** Põrand keldri kohal ja välisseina liitumine.

### Siseseinad

Siseseinte konstruktsiooniks on kandvate seinte puhul 125 mm tellist, õhkvahe ning taas 125 mm tellist. Muus osas on tegemist puitkarkasseintega, mille vahel on heliisolatsiooniks linaluu.

### Vahelagi

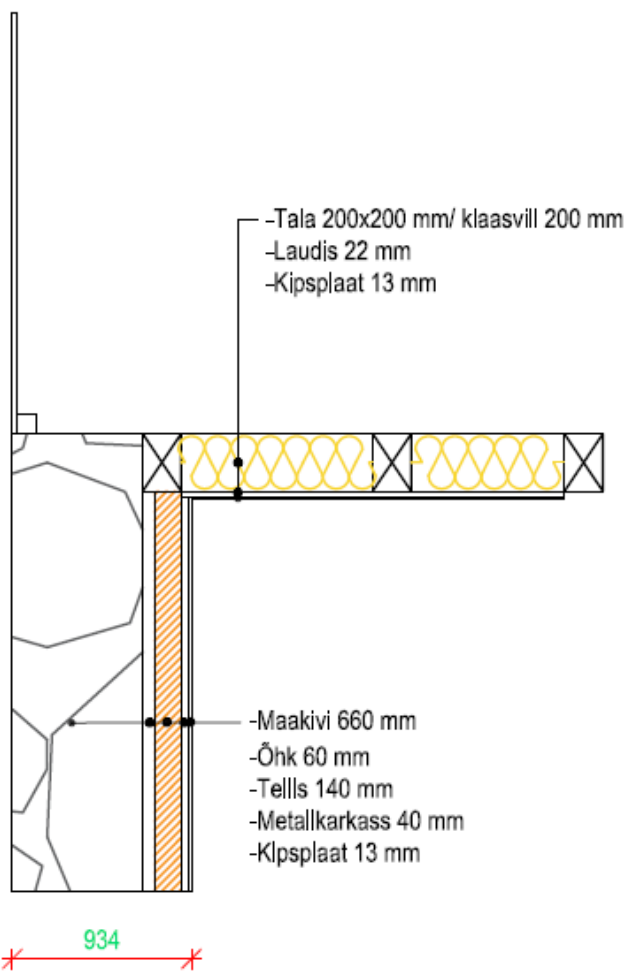
Esimese ja teise korruse vahelae kandekonstruktsiooniks on samuti puittalad. 200 mm talade vahel on 50 mm klaasvilla. Lae osas on talad üle löödud laudisega, mida katab kipsplaat. Põranda osas katab talasid puitkiudplaat ning peal on parkett. Esimese ja teise korruse vahelagi on näidatud joonisel 3.3.

Pööningu vahelagi on samuti 200 mm taladest. Lae osas katab tala laudis, millele on paigaldatud kipsplaat. Talade vahele on pandud 200 mm klaasvilla ning hiljem lisasoojustuseks lisatud 100 mm puistevilla. Osaliselt katab pööningu põrandat laudis.



## Pööninglagi

Teise korruse lae konstruktsiooniks on puittalad, mille vahele on soojustuseks paigaldatud klaasvill. Toa poolt on lagi kaetud laudisega, peal kipsplaat, krohv ja siseviimistluseks värv. Osaliselt on pööningul põrand samuti kaetud laudisega, et saaks ruumi kasutada. Pööningu vahelage iseloomustab joonis 3.8.



Joonis 3.8. Pööningu vahelagi.

## Katus

Katusekatte materjaliks on valtsplekk. Katus on rajatud mürdsarikatele. Pööningu osas on katusealune soojustatud kivivillaga.

### 3.3. Hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutus

Hoone välispiiretelt oodatakse pikaajalist õhupidavust ja vajalik mahus soojustatust. Vajaliku soojustuse määramisel võetakse aluseks hoone energiatõhususe nõuded, ruumide soojuslikkus ja kondensaadi ning hallituse vältimine külmasildade, sisepindade ja tarindite puhul. Piirete soojusjuhtivus leitakse standardi EVS-EN ISO 6946 järgi. [1]

Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtted [1]:

- Leitakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeenise kihi soojustakistus;
- Määratakse piirdetarindi kogu soojustakistus üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel;
- Leitakse piirde soojusjuhtivus, mida korrigeeritakse võttes arvesse mehaaniliste kinnitite mõju, seadmete poolt pööratud katusele avaldatud mõju, külmasildade mõju ja soojustuse õhujuhtivuse mõju.

#### Hoone välispiirded

Piirdetarindi soojusjuhtivus,  $U$ ,  $W/(m^2 \cdot K)$  arvutatakse valemiga (1) ning ümardatakse kahe kohani peale koma: [1]

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

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

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus  $R_T$ ,  $(m^2 \cdot K)/W$ , leitakse valemiga (2). [1]

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

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

Soojuslikult homogeenise materjalikihi arvutuslik soojustakistus,  $R$ ,  $(m^2 \cdot K)/W$ , leitakse valemiga (3). [1]

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, (m^2 \cdot K)/W, \quad (3)$$

kus:  $d$  – materjalikihi paksus, m  
 $\lambda$  – materjali soojusjuhtivus,  $W/(m \cdot K)$ .

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse,  $R_T$ , ( $m^2 \cdot K$ )/ $W$  saab leida valemiga (4): [1]

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (4)$$

kus:

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

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

Kui kütmata ruumi välispiirded on soojustamata, võib lihtsustatult võtta kütmata ruumi arvesse kui täiendava soojustakistuse. Väikeste kütmata ruumide mõju võib arvesse võtta, käsitledes kütmata ruumi koos selle välispiirdetarinditega kui täiendavat homogeenset kihti, mille soojustakistus  $R_u$  leitakse vastavalt valemile (4a): [1]

$$R_u = 0,09 + 0,4 \frac{A_j}{A_e}, \frac{m^2 \times K}{W} \quad (4a)$$

kus:

$A_j$  kõikide sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahel asuvate komponentide üldpind;

$A_e$  kõikide kütmata ruumi ja väliseskkonna vahel asuvate komponentide üldpind.

Kogusoojustakistuse ülemise ja alumise piirväärtuse leidmiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojuslikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks. [1]

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemise piirväärtuse  $R'_T$ , ( $m^2 \cdot K$ )/ $W$  leidmiseks tuleb võtta abiks piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusjuhtivuste summa vastavalt valemile (5). [1]

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (5)$$

kus:

$A_a, \dots, A_n$  –piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud);

$R_{Ta}, \dots, R_{Tn}$  –piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile 2.

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus  $R''_T$ ,  $(m^2 \cdot K)/W$ , arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana nagu valemis (6): [1]

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

kus:

- $R_{si}$  –piirde sisepinna soojustakistus, horisontaalse soojusvoolu korral 0,13  $(m^2 \cdot K)/W$ ;
- $R_1, R_x, R_n$  –iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse vastavalt valemile 3 (soojuslikult homogeenne kiht) või vastavalt valemile 6 (soojuslikult mittehomogeenne kiht),  $(m^2 \cdot K)/W$ ;
- $R_{se}$  –piirde välispinna soojustakistus, horisontaalse soojusvoolu korral 0,13  $(m^2 \cdot K)/W$ .

Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistus  $R_x$ ,  $(m^2 \cdot K)/W$ , leitakse vastavalt valemile (7): [1]

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (7)$$

kus:

- $A_{xa}, \dots, A_{xn}$  –mittehomogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud),  $m^2$ ;
- $R_{xa}, \dots, R_{xn}$  –mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile 3.

Maksimaalne suhteline arvutusviga  $e$ , %, leitakse valemiga (8): [1]

$$e = \frac{R'_T - R''_T}{2 \cdot R_T} \cdot 100\%, \% \quad (8)$$

kus:

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

Soojustuses olevate tühimike (paigalduse vead), soojustuskihti läbivate kinnitite, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumisega soojustuses arvestamiseks tuleb soojusjuhtivust korrigeerida. Korrigeeritud soojusjuhtivus,  $U_c$ , saadakse arvutatud soojusjuhtivusele,  $U$ , paranduse  $\Delta U$  lisamisega, valem (9): [1]

$$U_c = U + \Delta U, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (9)$$

Parandus,  $\Delta U$ ,  $W/(m^2 \cdot K)$ , saadakse valemist (10): [1]

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \Delta U_a + \Delta U_{\psi X}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (10)$$

kus:

- $\Delta U_g$  -õhupiludest tingitud parandus,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\Delta U_f$  -mehaanilistest kinnititest tingitud parandus,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\Delta U_r$  -pööratud katusest tingitud parandus,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\Delta U_a$  -soojustuse õhujuhtivusest tingitud parandus,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\Delta U_{\psi X}$  -külmasildadest põhjustatud parandus.

Õhupiludest tingitud parandust  $\Delta U_g$ , mõjutavad kolm paigaldustaset, mis sõltuvad õhupilude paiknemisest ja nende ulatusest, valem (11): [1]

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left( \frac{R_I}{R_T} \right)^2, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (11)$$

kus:

- $\Delta U''$  –tegur, mis sõltub soojustuse paigaldustasemest,  $W/(m^2 \cdot K)$
- $R_I$  –pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga 3 (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga 6 (soojuslikult mittehomogeenne kiht);
- $R_T$  –piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga 2 (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga 4 (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

Parandustegur,  $\Delta U_a$ , arvestab võimaliku soojustusesisese mikrokonvektsiooni mõju piirde soojusjuhtivusele. Parandustegur arvutatakse valemiga (12): [1]

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' \cdot \left(\frac{R_I}{R_T}\right)^2, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (12)$$

kus:

$\Delta U_a''$  -tegur, mis mõjub seintele või järsemale kui 45° kaldega katuslaele ning katuslaele ja põrandale (postvundamendi puhul või kui põrandaaluse ruumi tuulutusavade pindala on suurem kui 8% põranda pindalast);

$R_I$  -pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga 3 (soojuslikult homogeenne kiht) või valemiga 6 (soojuslikult mittehomogeenne kiht);

$R_T$  -piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga 2 (homogeensete kihtidega piirdetarind) või valemiga 4 (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

Geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivus  $\Psi_j$ , W/(m·K) võtab arvesse välispiirete nurkade ja liitekohtade nagu välissein-välissein, põrand-välissein, katuslagi-välissein, akna seinakinnituse sõlm jne lisasoojuskaod. Ka muud võimalikud tarinditest tulenevad külmasillad võetakse arvesse vastava külmasilla lisasoojusjuhtivusega. Kui soojuslikult mittehomogeense tarindi materjalide soojuseri juhtivused erinevad üle viie korra või kui tarindis on süstemaatilised külmasillad, mida on otstarbekas teisendada välispiirde korrigeeritud soojusjuhtivuse väärtusesse, arvutatakse külmasildadest tingitud parandus vastavalt valemile (13): [1]

$$\Delta U_\Psi = \frac{\sum \Psi_j \cdot l_j}{A} + \frac{\sum \chi_p \cdot n_p}{A}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (13)$$

kus:

$\Delta U_\Psi$  -külmasildadest tingitud parandus, W/(m<sup>2</sup>·K);

$\Psi_j$  -joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus, W/(m·K);

$l_j$  -joonkülmasilla pikkus, m;

$\chi_p$  -punktkülmasilla lisasoojusjuhtivus, W/K;

$n_p$  -samasuguste punktkülmasildade arv välispiirdeosas, tk;

$A$  -piirdetarindi pindala, m<sup>2</sup>.

## Soojuslevi pinnasesse

Soojuslevi pinnasesse kirjeldavad järgmised näitajad: [2]

- Põranda tarindusest sõltuv soojuslevi läbi põranda
- Antud kohas asuvast külmasillast sõltuv soojuslevi läbi põranda ääreala
- Pinnase soojuslikust inertsist sõltuv soojuslevi läbi põranda ääreala

Põrandas tekkiv soojusvoog võib olla kolmemõõtmeline ning sellega arvestamiseks kasutatakse standardi EVS-EN ISO 13370:2008 järgi põranda „tunnusmõõtmeid“  $B'$ . Viimane on määratletud põrandapindala ja poole perimeetri väärtuse jagatisena ning toodud valemis (14): [2]

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (14)$$

kus,

- $B'$  –põranda tunnusmõõde, m;
- $A$  –põranda pindala,  $m^2$ ;
- $P$  –põranda välisperimeeter, m.

Põrand välisõhu kohal, ka alttuulutav põrand, on mistahes põrand, millel puudub kontakt pinnasega (toetatud puidu või talade ja plokkide abil). Põrandat välisõhu kohal tuulutatakse loomulikult või välisõhuga. [2]

Põranda soojusläbivus arvutatakse valemiga (15):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (15)$$

kus,

- $U_f$  –põranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus  $W/(m^2 \cdot K)$  (hoone siseruumi ja õhkvahe vahel);
- $U_g = \frac{1}{R_g}$  –soojusjuhtivus, mis tuleneb pinnasesse suunduvast soojusvoost,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $U_x$  –võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel, mis tuleneb soojuslevist läbi õhkvahe seinte ning õhkvahe tuulutamisest,  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Võrdväärne kogupaksus – välisõhu kohal asuva põranda alune pinnas leitakse valemiga (16): [2]

$$d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se}) \quad (16)$$

kus:

- w -välisseinte paksus, m;
- $\lambda$  -pinnase soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- R<sub>si</sub> -piirdetarindi sisepinna takistus, (m<sup>2</sup>·K)/W;
- R<sub>g</sub> -õhkvahe põhjas asuva isolatsioonikihi soojustakistus (m<sup>2</sup>·K)/W;
- R<sub>se</sub> -piirdetarindi välispinna takistus, (m<sup>2</sup>·K)/W.

Tegur U<sub>g</sub> arvutatakse valemiga (17): [2]

$$U_g = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_g} \times \ln \left( \frac{\pi \times B'}{d_g} + 1 \right) \quad (17)$$

kus:

- $\lambda$  -pinnase soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>·K);
- B' -põranda tunnusmõõde, m;
- d<sub>g</sub> -võrdväärne kogupaksus – välisõhu kohal asuva põranda alune pinnas, m.

Tegur U<sub>x</sub> arvutatakse valemiga (18): [2]

$$U_x = 2 \times \frac{h \times U_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon v f_w}{B'} \quad (18)$$

kus:

- h -põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes;
- U<sub>w</sub> -on õhkvahe seinte soojusjuhtivus välise maapinna kohal, W/(m<sup>2</sup>·K), arvutatud vastavalt standardile ISO 6946;
- $\varepsilon$  -on tuulutusavade pindala õhkvahe ümbermõõdu pikkuses, m<sup>2</sup>/m;
- v -on keskmine tuule kiirus 10 meetri kõrgusel, m/s;
- f<sub>w</sub> -on tuuletõkketegur.



## Põrand pinnasel

U-väärtuse arvutusvalem sõltub sellest, kas[2]:

- $d_t < B'$  (soojustamata või mõõduka soojustusega)
- $d_t \geq B'$  (hästi soojustatud)

kui  $d_t < B'$

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (19)$$

kui  $d_t \geq B'$

$$U = \frac{\lambda}{0,47B' + d_t} \quad (20)$$

## Akende soojusjuhtivus

Akna soojusjuhtivus  $U_a$  andmed saadakse üldiselt aknatootja andmeid. Nende puudumisel arvutatakse soojusjuhtivus järgmise valemiga (21): [26]

$$U_a = \frac{U_k \cdot A_k + U_r \cdot A_r + \Psi_k \cdot l_k}{A_k + A_r}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (21)$$

kus:

- $U_k$  -on klaasiosa U-arv,  $W/(m^2K)$ ;
- $A_k$  -on klaasiosa pindala,  $m^2$ ;
- $U_r$  -on lengi- ja raamiosa U-arv,  $W/(m^2K)$ ;
- $A_r$  -on raamiosa pindala,  $m^2$ ;
- $\Psi_k$  -on klaasiserva (aknalengi perimeetril) joonkülmsilla lisakonduktants,  $W/(mK)$ ;
- $l_k$  -on klaasiserva perimeetri pikkus, m.

## Välispiirete summaarne soojuserikadu

Välispiirete summaarne soojuserikadu leitakse valemiga (22): [27]

$$H_e = \sum A \cdot U + \sum \Psi_j \cdot l_j + \sum \Psi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot V_{inf}, \frac{W}{K} \quad (22)$$

kus:

- A -välispiirete pindala;
- U -välispiirete soojusjuhtivus;
- $\Psi_j$  -joonkülmasilla lisakonduktants, W/(m·K);
- $l_j$  -joonkülmasilla pikkus, m;
- $\Psi_p$  -punktkülmasilla lisakonduktants, W/(m·K);
- $n_p$  -punktkülmasildade arv välispiirdes;
- $\rho_a$  -õhu tihedus, 1,2 kg/m<sup>3</sup>;
- $c_a$  -õhu erisoojus, 1,005 kJ/kg;
- $V_{inf}$  -infiltratsiooni õhuhulk, m<sup>3</sup>/s.

Infiltratsiooni õhuhulk arvutatakse valemiga (23): [26]

$$V_{inf} = \frac{q_{50} \cdot A}{3600 \cdot x}, \frac{m^3}{s} \quad (23)$$

kus:

- $q_{50}$  -hoone välispiirete keskmine õhulekkearvu baasväärtus, m<sup>3</sup>/(h·m<sup>2</sup>);
- A -välispiirete s.h. põrandate pindala, m<sup>2</sup>;
- x -tegur, mis ühekorruselistel hoonetel 35, kahekorruselistel 24, kolme- ja enamakorruselistel 20.

**Tabel 3.3.** Hoone õhulekkearvu baasväärtused välispiirete ruutmeetri kohta [26]

Kasutusotstarve	Õhulekkearvu baasväärtus m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	
	Uus hoone, oluline rekonstrueerimine	Rekonstrueerimine, olemasolev hoone
Väikeelamu	6	9
Muud hooned	3	6

## Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta leitakse valemiga (24): [26]

$$\sum \frac{H_e}{A}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (24)$$

kus:

$H_e$  -välispiirete summaarne soojuserikadu, W/K;

$A$  -köetava pinna pindala,  $m^2$ .

## Soojuskaod läbi piirete tingituna piirete soojusjuhtivusest ja õhu infiltratsioonist

Soojuskaod läbi piirete tingituna piirete soojusjuhtivusest ja õhu infiltratsioonist leitakse valemiga (25): [28]

$$\frac{H_e \cdot \text{kraadpäevad} \cdot 24}{A}, \frac{kWh}{m^2 \cdot a} \quad (25)$$

kus:

$H_e$  -välispiirete summaarne soojuserikadu, W/K;

kraadpäevad -kraadpäevade arv, °Cxd;

24 -ööpäeva pikkus, h;

$A$  -köetava pinna pindala,  $m^2$ .

Soojuskaod läbi piirete tingituna soojusjuhtivusest ja õhu infiltratsioonist moodustavad ühe komponendi energiatõhususarvu (ETA) koosseisust. [28]

Soojuserikao leidmisel kasutatakse Tartu baasaasta kraadpäevade arvu, mis pärineb Kredex koduleheküljelt. [28]

### 3.4. Hoone piirete kondenseerumisriski ja väljakuivamise arvutus Glaseri meetodiga

Veeauru puhul on oluline hoone välispiirete (sein, lagi, põrand) niisugune konstruktsioon, mis ei lase tekkida kondensveel. Kui kondensvett tekib normi piires, peab olema tagatud viimase väljakuivamine. [29]

Difusiooni läbi seinamaterjali iseloomustab difusioonitakistuskonstant  $\mu$ , mis näitab mitu korda on materjali difusioonitakistus suurem kui võrdväärse paksusega seisva õhu või mineraalvilla kihi oma. Difusioonitakistuskonstant annab infot materjali omaduste kohta, kuid materjalist tehtus seinakihi aurutakistust  $S_d$  hinnata ei saa. Aurutakistus annab ülevaate kogu seina difusioonsest käitumisest. Seinakihi aurutakistuse (difuusne aurutakistus) leidmiseks tuleb korrutada materjali difusioonitakistuskonstant kihi paksusega (valem 30). Tulemuseks on seisva õhu kihi paksus meetrites, millel on võrdväärne difusioonitakistus vaadeldava materjaliga: [29]

$$S_d = \mu \cdot s, m \quad (26)$$

kus:

$\mu$  –vaadeldava ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant;

$s$  –materjalikihi paksus, m.

Seina konstrueerimise rusikareegliks loetakse: seinakihtide aurutakistused peavad vähenema seest väljapoole. Teisisõnu ei tohi välimise kihi aurutakistus olla suurem sisemise omast. Selle reegli puhul pole oluline kui suur on seina summaarne aurutakistus. Kogu seina üksikute kihtide aurutakistuste summa ongi seina kogu aurutakistus, mis leitakse valemiga 31. [29]

$$S_d = S_{d1} + S_{d2} + S_{d3} + \dots + S_{dN} \quad (27)$$

Ruumi veeauru osarõhk (partsiaalrõhk) arvutatakse vastavalt valemile (28): [29]

$$P = P_s \cdot \varphi \quad (28)$$

kus:

$P_s$  – küllastunud aururõhk, Pa;

$\varphi$  – relatiivne õhuniiskus, %.

Küllastunud aururõhk on õhus sisalduva veeauru rõhk antud temperatuuril, mis on antud hetkel maksimaalselt võimalik. Relatiivne niiskus on õhus oleva veeauru koguse suhe veeauru küllastuskogusesse või veeauru osarõhu suhe küllastusrõhku. [29]

Materjalikihi veeauru difusioonitakistus vastavalt valemile (29): [29]

$$\frac{1}{\Delta} = \mu \cdot s \cdot \frac{1}{\delta_L}, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (29)$$

kus:

$\mu$  – difusioonitakistuskonstant;

$s$  – ehitusmaterjali kihipaksus, m;

$\delta_L$  – õhu aurujuhtivusväärtus, kg/mhPa.

$\delta_L$  on seotud ümbritseva õhu temperatuuriga, kuid antud arvutustes võib kasutada kui konstanti: [29]

$$\delta_L \approx 0,68 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mhPa.}$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seina jaoks leitakse valemiga (30): [29]

$$\frac{1}{\Delta} = \sum(\mu_n \cdot s_n) \cdot 1,5 \cdot 10^6, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (30)$$

kus:

$\mu_n \cdot s_n$  – difusioonitakistuskonstandi ja seinakihi aurutakistuse summa.

Veeauru difusioonivoog  $i$  tuleneb partsiaalrõhkudest vastavalt valemile (31): [29]

$$i = \frac{p_i - p_a}{1/\Delta}, \frac{kg}{m^2 h} \quad (31)$$

kus:

$p_i$  –sisemine partsiaalarõhk, Pa;

$p_a$  –väliline partsiaalarõhk, Pa;

$1/\Delta$  –seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul,  $m^2hPa/kg$ .

Difusiooniarvutust teostatakse selleks, et määrata kindlaks, kas difusioon tekitab seinas kondensvett või mitte. Tekkiv kondensvesi ei tohi kahjustada seinakonstruktsioone ja soojustusmaterjale. Seetõttu on oluline jälgida, et (vastavalt DIN 4108-3): [29]

- kondenseerumisperioodil tekkinud kondensvesi kuivamisperioodil välja kuivaks;
- konstruktsioonil ei tekiks kondensvee tõttu kahjustusi (korrosioon, seened);
- kondensvee kogus ei ületaks  $1,0 \text{ kg/m}^2$  kohta;
- kapillaarselt mitteimavate ehitusaine korral on kondensvee koguse piirang  $0,5 \text{ kg/m}^2$ ;
- puidu puhul on niiskussisalduse piirang 5%, puidust ehitusmaterjali puhul 3%.

Raamtingimused, mida peaks arvestama arvutuste tegemisel on järgmised (DIN 4108-3 järgi): [29]

- kondenseerumisperioodil ( $t_T$ ):
  1. väliskliima  $-10^\circ\text{C}$ , 80% relatiivne niiskus;
  2. sisekliima  $+20^\circ\text{C}$ , 50% relatiivne niiskus;
  3. perioodi pikkus 1440 h (60 päeva). Eesti tingimustes võiks perioodi pikendada – 2160 h (90 päeva).
- aurumisperioodil ( $t_V$ ):
  1. seinad ja mitte vastu katust olevad laed:
    - a. väliskliima  $+12^\circ\text{C}$ , 70% relatiivne niiskus;
    - b. sisekliima  $+12^\circ\text{C}$ , 70% relatiivne niiskus;
    - c. kliima kondenseerumiskohas  $+12^\circ\text{C}$ , 100% relatiivne niiskus;
    - d. perioodi pikkus 2160 h (90 päeva).
  2. laed vastu katust:
    - a. väliskliima  $+12^\circ\text{C}$ , 70% relatiivne niiskus;
    - b. katusepinna temperatuur  $+20^\circ\text{C}$ ;

- c. sisekliima +12°C, 70% relatiivne niiskus;
- d. kliima kondenseerumiskohas temperatuur vastavalt temperatuurikõverale, 100% niiskus;
- e. perioodi pikkus 2160 h (90 päeva).

Kondensvee kogus  $W_T$  arvutatakse järgmise valemiga (32): [29]

$$W_T = t_T \cdot (i_i - i_a), \frac{kg}{m^2} \quad (32)$$

kus:

$t_T$  – kondenseerumisperiood, h;

$i_i$  – difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda,  $kg/(m^2h)$ ;

$i_a$  – difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja,  $kg/(m^2h)$ .

Difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda arvutatakse vastavalt valemile (33):

[29]

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{1/\Delta_i}, \frac{kg}{m^2h} \quad (33)$$

kus:

$p_i$  – sisemine partsiaalrõhk, Pa;

$p_{sw}$  – kondenseerumisele vastav rõhk, Pa;

$1/\Delta_i$  – seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seina puhul,  $m^2hPa/kg$ .

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja arvutatakse vastavalt valemile (34):

[29]

$$i_a = \frac{p_{sw} - p_a}{1/\Delta_a}, \frac{kg}{m^2h} \quad (34)$$

kus:

$p_{sw}$  – kondenseerumispunktile vastav rõhk, Pa;

$p_a$  – väline partsiaalrõhk, Pa;

$1/\Delta_a$  – seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seina puhul,  $m^2hPa/kg$ .

Kuivava vee kogus leitakse valemiga (35): [29]

$$W_w = t_v(i_i + i_a), \frac{kg}{m^2} \quad (35)$$

kus:

$t_v$  –kuivamisperiood, h;

$i_i$  –difusioonivoo tihedus seest kondenseerumiskiirkonda,  $kg/(m^2h)$ ;

$i_a$  –difusioonivoo tihedus kondenseerumiskiirkonnast välja,  $kg/(m^2h)$ .

Difusioonivoo tihedus kondenseerumiskiirkonnast ruumi sisse arvutatakse valemiga (36): [29]

$$i_i = \frac{p_{sw} - p_i}{1/\Delta_i}, \frac{kg}{m^2h} \quad (36)$$

kus:

$p_{sw}$  –kondenseerumispunktile vastav rõhk, Pa;

$p_i$  –sisemine partsiaalrõhk, Pa;

$1/\Delta_i$  –seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul,  $m^2hPa/kg$ .

Difusioonivoo tihedus kondenseerumiskiirkonnast välja arvutatakse vastavalt valemile (37): [29]

$$i_a = \frac{p_{sw} - p_a}{1/\Delta_a}, \frac{kg}{m^2h} \quad (37)$$

kus:

$p_{sw}$  –kondenseerumispunktile vastav rõhk, Pa;

$p_a$  –väline partsiaalrõhk, Pa;

$1/\Delta_a$  –seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul,  $m^2hPa/kg$ .

Mitmes tasandis või kihis tervikuna toimunud kondenseerumise korral, tuleb arvutada kihid eraldi.[29]

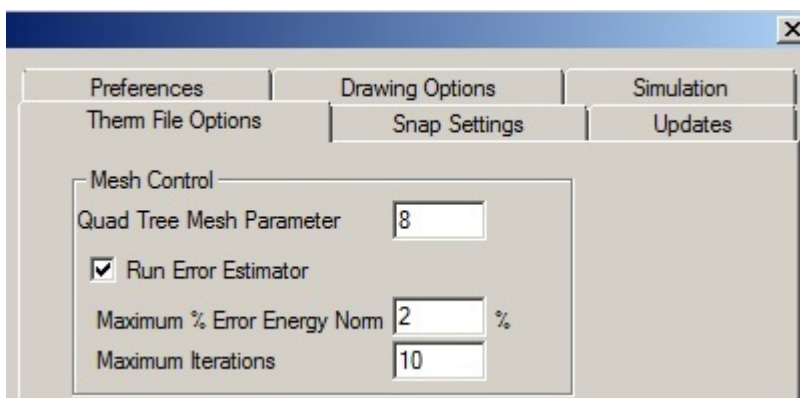
Kondenseerunud vee kogus on aktsepteeritav kui  $W_T < 1,0 \text{ kg/m}^2$  (või  $0,5 \text{ kg/m}^2$  kapillaarselt mitteimavate ehitusmaterjalide puhul) ja  $W_V > W_T$ . [29]



### 3.5. Programm Therm 7.4

Therm on Microsoft Windowsil põhinev arvutiprogramm, mis on välja töötatud Lawrence Berkeley Rahvuslikus Laboratooriumis. Programmi kasutatakse ehitusmaterjalide tootmisel, haridusasutustes, inseneride, arhitektide ja teiste poolt, kes on huvitunud materjalide soojusjuhtivusest. Therm võimaldab modelleerida kahemõõtmelisi soojusjuhtivuse tegureid erinevate hoonete komponentide juures nagu aknad, ukсед, seinad, vundamendid, katused ja kõik seadmed, mille juures külmasillad võivad olla probleemiks. Thermi soojusjuhtivuse analüüs võimaldab hinnata toote energiatõhusust ja temperatuuri erinevusi, mis võivad otseselt viidata probleemidele, mis on seotud kondensvee, niiskuse ja struktuurse terviklikkusega. [30]

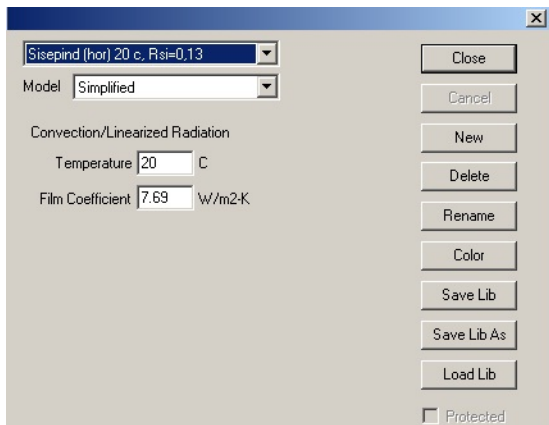
Programmi korrektseks tööks ning lõpliku arvutustulemuse tagamiseks on vaja kõigepealt määrata õiged simulatsioonisätted. Programmi seadistusmenüüst tuleb valida *Options* ja *Preferences* ning sektsioon nimega *Therm File Options*. Järgnevad lahtrid tuleb ülevalt alla täita numbritega 8, 2 ja 10. [30]



**Joonis 3.9.** *Therm File Options*

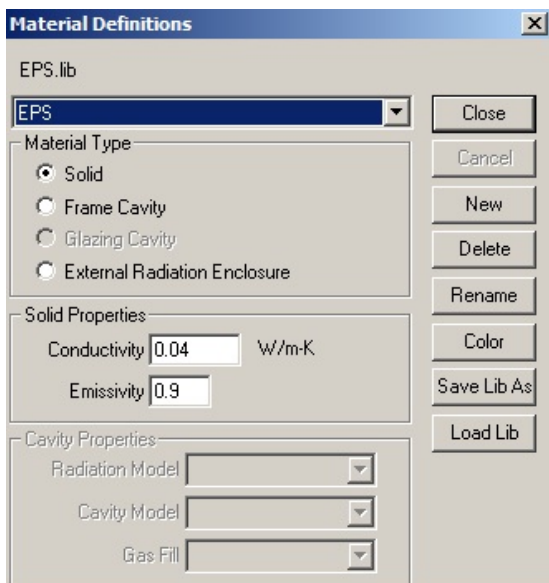
Therm tarkvaras on oluline määrata keskkonna piirtingimuste teegid. Selle jaoks tuleb lisada kirjeid ja toimida järgnevalt. Avada keskkonna piirtingimuste seadistusmenüü *Libraries* ja seejärel *Boundary Condition Library*. Nupule *New* vajutades saab lisada uue kirje. Avanenud aknasse saab sisestada nime ning lahtrid täita keskkonna temperatuuri ja pinna juhtivuse kohta käiva infoga. Oluline on meeles pidada, et pinnatakistuse puhul on tegemist pöördväärtusega (välispinna puhul  $1/0,04 = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja sisepinna puhul  $1/0,13 = 7,69 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Pinda

tähistavate joonte värvust saab muuta nupuga *Color*. Kuigi külmasilla arväärtus ei sõltu keskkonna piirpinna temperatuuri seadistusest ning need ei ole standardiseeritud, kasutatakse arvutustes üldjuhul sisepinna temperatuuri  $+20^{\circ}\text{C}$  ja välispinna temperatuuri  $-10^{\circ}\text{C}$ . [30]



**Joonis 3.10.** *Boundary Condition Library*

Materjalide ja materjalide teegi lisamine toimib sarnaselt piirtingimuste lisamisele. [30]



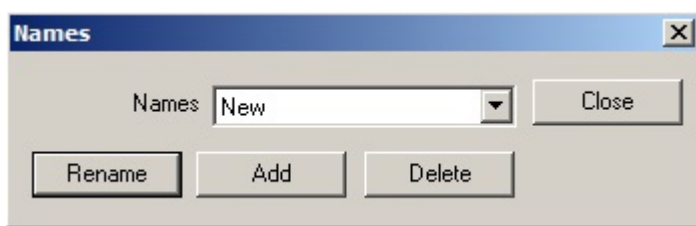
**Joonis 3.11.** *Material Definitions*

Materjalide seadistusmenüüst valida *Libraries* ja edasi *Material Library*. Uut materjali lisamiseks tuleb vajutada nuppu *New*. Lahtrisse *Conductivity* kirjutada kasutatava materjali

deklareeritud soojusjuhtivus ja lahtrisse *Emissivity* materjali emissiooniteguri väärtus, milleks peab olema 0,9. [30]

Tarindi joonestamiseks tuleb valida menüüst *Set origin* ning määrata hiire kursoriga alguspunkt. Erinevate konstruktsiooni osade, nagu hulknurgad ja ristkülikud/ruudud, joonestamiseks on käsud *Draw polygon* ja *Draw rectangle*. Peale alguspunkti ja sobiva joonestusvahendi valimist tuleb sisestada joone pikkus ja seejärel klaviatuuri nooleklahvidega anda kujundile esimene suund. Sama korrata teise dimensiooni andmiseks. Kujund visualiseerub peale *Enter* klahvi vajutamist. [30]

Thermi arvutustulemused väljastatakse ääritingimuste pikkusele taandatud nõ ekvivalentse soojajuhtivustegurina (U-arv) ja soojusvoolu ja –voona (alates versioonist 7.1). Huvipakkuvale pinnale on vaja määrata U-arvu lipikud (*UFactor name*), et saada kätte tulemused. Simulatsiooniprotsessi eel määratakse, milliste keskkonna ääritingimuste alusel Therm U-arvu leiab ning valitakse vastav U-arvu lipik. U-arvu lipiku valik ei mõjuta arvutustulemusi, kuid selguse mõttes on soovituslik defineerida kaks U-arvu lipikut sise- ja välismõõtmete järgi arvutatud tulemuste eristamiseks. U-arvu lipiku defineerimiseks tuleb avada menüü *Libraries* ja *UFactor Names* ning vajutada nuppu *Add*. Avanenud aknas saab seada leitavate U-arvude lipikud. [30]



### Joonis 3.12. *U Factor Names*

Peale piirdetarindi joonestamist ning välis- ja sisepindade määramist järgneb arvutus, mis visualiseerib vaikumisi piirdetarindi samatemperatuurijooned ja U-arvu väärtused. Selleks tuleb valida menüüst *Calculation* ning järgmisest rippmenüüst valik *Calculation*. Samast rippmenüüst saab valida *Show U-factors*, siis näeb joonistatud piirdetarindi U-arvu, pikkust, soojusvoolu ja –voogu. [30]

### 3.6. Joonkülmasildade arvutus

Külmasilla olemasolust tulenevad kolme- või kahemõõtmelised soojusvood, mille andmeid on võimalik täpselt määrata standardiga EVS-EN ISO 10211:2008 kirjeldatud põhjalike arvutusmeetodite abil. [3]

Joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus arvutatakse valemi 38 järgi: [3]

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j, \frac{W}{m \times K} \quad (38)$$

kus:

- $L_{2D}$  –on külmasilla soojuse erikadu, mis on leitud kahte vaadeldavat keskkonda eraldava 2-D arvutuse põhjal,  $W/(m \cdot K)$ ;
- $U_j$  –on kahte vaadeldavat keskkonda eraldava 1-D komponendi soojusläbivus,  $j$ ,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $l_j$  –on pikkus, mille ulatuses kohandatakse väärtust  $U_j$ , m.

Joonkülmasilla lisasoojusjuhtivuse väärtuste määramisel on vaja teada, kas kasutatakse sisemist või välimist mõõdet, kuna sellest valikust sõltuvad eri tüüpi külmasildade lisasoojusjuhtivuse väärtused. [3]

Antud töös arvestatakse külmasildasid Majandus- ja kommunikatsiooniministeriumi määruse nr 58 „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ järgi. Välispiirdeosa külmasildade soojusläbivus  $\Delta\Psi$  leitakse valemiga (39): [26]

$$\Delta\Psi = \sum \Psi_j \cdot l_j + \sum \Psi_p \cdot l_p, \frac{W}{K} \quad (39)$$

kus:

- $\Psi_j$  –joonkülmasilla soojusläbivus,  $W/(m \cdot K)$ ;
- $\Psi_p$  –punktkülmasilla soojusläbivus,  $W/(m \cdot K)$ ;
- $l_j$  –joonkülmasilla pikkus, m;
- $l_p$  –samasuguste punktkülmasildade arv välispiirdes.

Antud töös on joonkülmasilla lisasoojusjuhtivuste määramisel kasutatud programmi Therm 7.4 ja lähtunud on joonestatud mudelite sisemistest mõõtmetest.

### 3.7. Termopildistamine

Antud töös kasutati hoone termopildistamiseks termokaamerat Flir E6. Antud seade töötab temperatuurivahemikus  $-15^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ , fikseerib objektide temperatuuri vahemikus  $-20^{\circ}\text{C} \dots +250^{\circ}\text{C}$  ning selle mõõtmistäpsus on  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  või  $\pm 2\%$  lugemist kui keskkonda ümbritsev temperatuur on vahemikus  $+10^{\circ}\text{C} \dots +35^{\circ}\text{C}$  ning objekti temperatuur on üle  $0^{\circ}\text{C}$ . [31]



**Joonis 3.13.** Termokaamera Flir E6

Termografeerimisel on oluline silmas pidada, et sise- ja välistemperatuuride vahe oleks vähemalt  $15^{\circ}\text{C}$ , muidu võib jääda termopildi kontrastsus hindamiseks liiga väikeseks. Samuti peaksid välisseinad olema kuivad ja ilm võiks olla pilvine, vältimaks otsese päikese tõttu kõrgeenenud temperatuure. Vastasel juhul ei pruugi lekkekohad pildilt esile tulla. [21]

Saadjärve mõisa kärnerihoone termopildistamine teostati kahel korral. Esimene kord 29.november 2015 kerge te miinuskraadidega ning teistkordselt 14.jaanuar 2016 suurte miinuskraadidega.

### 3.8. Temperatuuriindeksite arvutus

Temperatuuriindeks  $f_{R_{Si}}$  ehk sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuri suhe määrab külmasillast põhjustatud sisepinna madalama temperatuuri kriitilisuse taseme. [32]

Temperatuuriindeks  $f_{R_{si}}$  leitakse valemiga (40): [32]

$$f_{R_{si}} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (40)$$

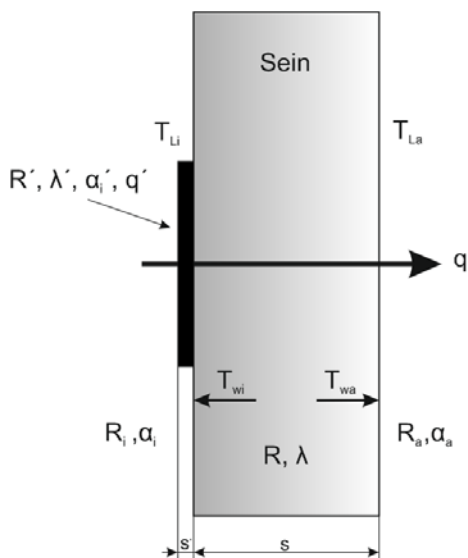
kus:

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

Termograafilise mõõdistamise käigus või temperatuurivälja arvutusega saab vajalikud temperatuurid ära mõõta või välja arvutada. Temperatuuriindeksi piirarvu kriitilisuse määravad järgnevad tegurid: [32]

- Piirdetarindi toimivuse kriteerium
- Ehitise kasutustingimused
- Väliskliima
- Sisekliima
- Niiskuskooormused
- Kasutatavad ehitusmaterjalid

Piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamiseks vajalikke andmeid saab koguda ka soojavoo plaadi abil. Plaat kinnitatakse konstruktsiooni pinnale, näiteks seinale nagu on näidatud joonisel 3.14. Arvutuste aluseks on temperatuurid ja soojusvoo keskmine väärtus. Usaldusväärsed tulemused saab kui mõõta minimaalselt 48 h. Mõõtmise ajal peaks sise- ja välistemperatuuride vahe olema võimalikult suur ning püsima konstantsena. Soovituslikuks sisetemperatuuriks on 20°C. Mõõtmist võivad häirida niiskus, suur temperatuuride muutus, otsene päikesevalgus ja liikumine ruumis. [33]



- $T_{Li}$  Sisetemperatuur, °C
- $T_{La}$  Välistemperatuur, °C
- $T_{wa}$  Välispinnatemperatuur, °C
- $T_{wi}$  Sisepinnatemperatuur, °C
- $q$  Soojusvoog,  $W/m^2$
- $R$  Soojustakistus,  $m^2 \cdot K/W$
- $R_i$  Sisepinna soojustakistus,  $m^2 \cdot K/W$
- $R_a$  Välispinna soojustakistus,  $m^2 \cdot K/W$
- $\alpha_i$  Sisepinna soojusjuhtivuse konstant,  $W/(m^2 \cdot K)$
- $\alpha_a$  Välispinna soojusjuhtivuse konstant,  $W/(m^2 \cdot K)$
- $\lambda$  Soojuseri juhtivus,  $W/(m \cdot K)$
- $s$  Seinapaksus, m
- $R'$  Soojavoo plaadi soojustakistus,  $m^2 \cdot K/W$
- $q'$  Soojavoo plaadi soojusvoog,  $W/m^2$
- $\lambda'$  Soojavoo plaadi soojuseri juhtivus,  $W/(m \cdot K)$
- $\alpha_i'$  Soojavoo plaadi sisepinna soojusjuhtivuse konstant,  $W/(m^2 \cdot K)$
- $s'$  Soojavoo plaadi paksus, m

**Joonis 3.14.** Soojusvoo plaat seinal ja plaadi mõõdetavad karakteristikud [33]

Eesti jaoks on lähtuvalt niiskuskooormusest ning hallituse kasvu ja veeauru kondenseerumise vältimise kriteeriumitest (tabel 3.4) välja arvatud temperatuuriindeksi piirsuurused. Enamasti peab kasutama hallituse tekke vältimise kriteeriumit. Võib kasutada ka veeauru kondenseerumise vältimise kriteeriumit, kui akendel aktsepteeritakse lühiajalist veeauru kondenseerumist. Suure niiskuskooormusega ruumides peavad hoonepiirded ja nende liitekohad olema efektiivsemalt soojustatud. [32]

**Tabel 3.4.** Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksi piirväärtused Eestis [32]

Niiskuskooormus	Temperatuuriindeksi $f_{Rsi}$ piirsuurus (mõõdetud või arvatud tulemus peab olema piirsuurusest suurem)	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Niiskuskooormus talvel $+6 \text{ g/m}^3$ ja suvel $+2,5 \text{ g/m}^3$ (suure asustusega ja halva ventilatsiooniga elamud)	0,8	0,7
Niiskuskooormus talvel $+4 \text{ g/m}^3$ ja suvel $+1,5 \text{ g/m}^3$ (väikese asustustihedusega ja hea ventilatsiooniga elamud)	0,65	0,55

Soojusvoogu  $q$  ( $W/m^2$ ) arvutatakse järgneva valemiga: [32]

$$q = U(T_{Li} - T_{La}) \quad (41)$$

Siit avaldame soojusjuhtivuse  $U$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$$U = \frac{q}{(T_{Li} - T_{La})} \quad (42)$$

kus [32]

$q$  soojusvoog läbi piirde,  $\text{W}/\text{m}^2$

$T_{Li}$  siseõhu temperatuur,  $^{\circ}\text{C}$

$T_{La}$  välisõhu temperatuur,  $^{\circ}\text{C}$



## 4. TULEMUSED JA ARUTELU

### 4.1. Hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutus

Arvutustes kasutatud materjalide soojuseri juhtivused on võetud tabelist 3.1. ja ehitusmaterjalide paksused piirete kirjeldustest. Õhukeste kihtide (aurutõkkepaber, tapeet) soojuseri juhtivusi pole arvestatud. Järgnevalt on välja toodud kahe välisseina ja pörandi keldri kohal ning akende soojusjuhtivuse arvutused. Ülejäänud arvutused, mansardkorrus, pörand pinnasel ja pööningu pörand, leiab lisadest.

**Välissein 1** (Kipsplaat 13mm, õhk/metallkarkass 40mm, tellis 140mm, õhk 40mm, maakivi 680mm)

Kogu seina sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + \frac{0,14}{0,6} + 0,16 + \frac{0,68}{2,5} + 0,04 = 1,05 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirde soojusjuhtivus, vastavalt valemile (1):

$$U = \frac{1}{1,047} = 0,955 \frac{W}{m^2 \times K}$$

40 mm paksuse õhu/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur, vastavalt valemile (11):

$$\Delta U_{g \text{ 40 mm õhk/sõrestik}} = 0,01 \times \left( \frac{0,16}{0,955} \right)^2 = 0,0003 \frac{W}{m^2 \times K}$$

40 mm paksuse õhukihi õhujuhitvuse parandustegur, vastavalt valemile (12):

$$\Delta U_{a \text{ 40 mm õhk/sõrestik}} = 0,005 \times \left( \frac{0,16}{0,955} \right)^2 = 0,0001 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusjuhtivus, vastavalt valemile (9):

$$U_c = 0,955 + 0,0003 + 0,0001 = 0,9554 \frac{W}{m^2 \times K}$$

**Välissein 2** (Kipsplaat 13mm, õhk/metallkarkass 40 mm, laudis 22 mm, puitkarkass/linaluu 200 mm, tellis 240 mm, õhk 120 mm, tellis 120 mm, krohv 15 mm)

Soojustuse sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_{linaluu} = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,24}{0,6} + 0,16 + \frac{0,12}{0,6} + \frac{0,015}{0,87} + 0,04$$

$$= 6,33 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Puitkarkassi sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_{puidu\ sektsioon}$$

$$= 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,24}{0,6} + 0,16 + \frac{0,12}{0,6} + \frac{0,015}{0,87}$$

$$+ 0,04 = 2,87 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, vastavalt valemile (5):

$$R'_T = \frac{1,8 + 6,28}{\frac{1,8}{2,867} + \frac{6,28}{6,328}} = 4,987 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus, vastavalt valemile (7):

$$R_{200\ mm \frac{linaluu}{puitkarkass}} = \frac{1,8 + 6,28}{\frac{1,8}{\left(\frac{0,2}{0,13}\right)} + \frac{6,28}{\left(\frac{0,2}{0,04}\right)}} = 3,331 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, vastavalt valemile (6):

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + 3,331 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,24}{0,6} + 0,16 + \frac{0,12}{0,6} + \frac{0,015}{0,87} + 0,04$$

$$= 4,659 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus, vastavalt valemile (4):

$$R_T = \frac{4,987 + 4,659}{2} = 4,823 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Suhteline arvutusviga, vastavalt valemile (8):

$$e = \frac{4,987 - 4,659}{2 \times 4,823} \times 100\% = 3,4 \%$$

Piirde soojusjuhtivus, vastavalt valemile (1):

$$U = \frac{1}{4,823} = 0,207 \frac{W}{m^2 \times K}$$

40 mm paksuse õhu/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur, vastavalt valemile (11):

$$\Delta U_{g \text{ 40 mm } \delta hk/s\delta restik} = 0,01 \times \left(\frac{3,331}{4,823}\right)^2 = 0,0048 \frac{W}{m^2 \times K}$$

40 mm paksuse õhukihi õhujuhtivuse parandustegur, vastavalt valemile (12):

$$\Delta U_{a \text{ 40 mm } \delta hk/s\delta restik} = 0,005 \times \left(\frac{3,331}{4,823}\right)^2 = 0,0024 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusjuhtivus, vastavalt valemile (9):

$$U_c = 0,207 + 0,0048 + 0,0024 = 0,2142 \frac{W}{m^2 \times K}$$

## Välisõhu kohal oleva põrand soojusjuhtivuse arvutus

**Põrand 1** ( Põrand keldri kohal, laudis 22 mm, tala 200x300mm s 500 mm/ klaasvill 200 mm ja EPS 100 mm )

Soojustuse sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_{\text{soojustuse sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,047} + \frac{0,1}{0,05} + 0,13 = 6,685 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Sõrestikupostide sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_{\text{sõrestiku sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,3}{0,13} + 0,13 = 2,7 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, vastavalt valemile (5):

$$R'_T = \frac{6,17 + 13,65}{\frac{6,17}{2,737} + \frac{13,65}{6,685}} = 4,613 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus, vastavalt valemile (7):

$$R_{200 \text{ mm soojustus/sõrestik}} = \frac{6,17 + 13,65}{\left(\frac{0,2}{0,13}\right) + \left(\frac{0,2}{0,047}\right)} = 2,746 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus, vastavalt valemile (7):

$$R_{100 \text{ mm soojustus/sõrestik}} = \frac{6,17 + 13,65}{\left(\frac{0,1}{0,13}\right) + \left(\frac{0,1}{0,05}\right)} = 1,335 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, vastavalt valemile (7):

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,022}{0,13} + 2,746 + 1,335 + 0,13 = 4,510 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus, vastavalt valemile (4):

$$R_T = \frac{4,613 + 4,510}{2} = 4,561 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Suhteline arvutusviga, vastavalt valemile (8):

$$e = \frac{4,613 - 4,51}{2 \times 4,561} \times 100\% = 1,13\%$$

Piirde soojusjuhtivus, vastavalt valemile (1):

$$U = \frac{1}{4,561} = 0,219 \frac{W}{m^2 \times K}$$

200 mm paksuse soojustuse/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur, vastavalt valemile (11):

$$\Delta U_{g \text{ 200 mm soojustus/sõrestik}} = 0,01 \times \left(\frac{2,746}{4,561}\right)^2 = 0,0036 \frac{W}{m^2 \times K}$$

200 mm paksuse soojustuskihi õhujuhtivuse parandustegur, vastavalt valemile (12):

$$\Delta U_{a \text{ 200 mm soojustus/sõrestik}} = 0,005 \times \left(\frac{2,746}{4,561}\right)^2 = 0,0018 \frac{W}{m^2 \times K}$$

100 mm paksuse soojustuse/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur, vastavalt valemile (11):

$$\Delta U_{g \text{ 100 mm soojustus/sõrestik}} = 0,01 \times \left(\frac{1,335}{4,561}\right)^2 = 0,00085 \frac{W}{m^2 \times K}$$

100 mm paksuse soojustuskihi õhujuhtivuse parandustegur, vastavalt valemile (12):

$$\Delta U_{a \text{ 100 mm soojustus/sõrestik}} = 0,005 \times \left(\frac{1,335}{4,561}\right)^2 = 0,0043 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusjuhtivus, vastavalt valemile (9):

$$U_c = 0,219 + 0,0036 + 0,0018 + 0,0008 + 0,0043 = 0,2367 \frac{W}{m^2 \times K}$$

## Soojuslevi pinnasesse

Põranda tunnusmõõde, vastavalt valemile (14):

$$B' = \frac{20,0}{0,5 \cdot 17,9} = 2,235$$

Võrdväärne kogupaksus, vastavalt valemile (16):

$$d_g = 0,934 + 0,58 \times (0,17 + 0,05 + 0,04) = 1,067 \text{ m}$$

Tegur  $U_g$  vastavalt valemile (17):

$$U_g = \frac{2 \times 0,58}{\pi \times 2,235 + 1,067} \times \ln\left(\frac{\pi \times 2,235}{1,067} + 1\right) = 0,290$$

Tegur  $U_x$  vastavalt valemile (18):

$$U_x = 2 \times \frac{0,4 \times 1,27}{2,235} + 1450 \times \frac{0,02 \times 4,0 \times 0,1}{2,235} = 5,645$$

Põranda soojusläbivus, vastavalt valemile (15):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0,24} + \frac{1}{0,29 + 5,645}\right)} = 0,231 \frac{W}{m^2 \times K}$$

## Akende soojusjuhtivuse arvutus

Akna soojusjuhtivus, vastavalt valemile (21):

$$U_{a,1} = \frac{1,4 \times 0,98 + 1,7 \times 0,22 + 0,54 \times 4,4}{0,98 + 0,22} = 4,72 \frac{W}{m^2 \times K}$$

$$U_{a,2} = \frac{1,4 \times 1,44 + 1,7 \times 0,3 + 0,54 \times 5,3}{1,44 + 0,3} = 2,92 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Aknaklaasi ja raami  $U$  arvud on võetud tootja kodulehelt: <http://www.kalesi.ee/akende-soojusisolatsioon-puitaken-vs-PVC-aken.htm>

**Tabel 4.1** Piirdekonstruktsioonide U- arvud ja võrdlus kehtivate normidega Eestis.[16]

Välispiire	U-arv W/(m <sup>2</sup> ·K)	Eesti energiatõhusus miinimumnõuded
Välissein 1	0,96	0,12-0,22
Välissein 2	0,21	
Mansardkorrus	0,14	
Aknad	2,92-4,72	0,6 - 1,1
Uksed	1,0 <sup>1)</sup>	0,6 - 1,1
Pööning vahelagi	0,21	0,1 - 0,15
Põrand keldri kohal	0,24	0,1 - 0,15
Põrand pinnasel	0,31	

1) <http://www.uksetehas.ee/est/tooted/uksed/valisuksed/981/oopus#product-info>

Välisseinte puhul jäävad Eesti energiatõhususe miinimumnõuete normi piiridesse maja kagu ja loodeseinad U-arvuga 0,21 ja mansardkatuse alla jäävad seinad U-arvuga 0,14. Mansardkorruse seinte headele näitajatele aitab oluliselt kaasa katusevahetuse käigus lisatud soojustus. Problemaatilised on maja maakiviseinad, mille U-arv on 0,96.

Hoone põrandate soojusläbivused ületavad soovituslikke väärtusi, kuid pööninglagi on väga napilt suurem. Pööningule saab energiatõhususe tõstmiseks laudisega mitte kaetud osadesse lisada puistevilla, laudisega kaetud osade puhul tuleks enne lisasoojustamist põrandaid tõsta. Põrandatele, mille soojusläbivus on 0,25 W/(m<sup>2</sup>K), mis on keldri kohal, saab keldrisse lisada olemasolevale EPS-plaatidele uue kihi EPS-i. See aga teeks keldri lage oluliselt madalamaks. Pigem tuleks pöörata tähelepanu ebatihedalt paigaldatud soojustuse korrastamisele ning vähendada külmasildadest tingitud soojuse äravoolu.

Keerulisem on parandada põrand pinnasel U-arvu, mis on hetkel 0,11 W/(m<sup>2</sup>K) võrra soovituslikust suurem. Kuna põrandaid üles võtta ei soovita, tuleb lisamugavust ruumi luua lisaküttega. Näiteks võib alumise korruse elutuppa (ja ka mujale) paigaldada põrandaliistkütte,

mis vähendaks joonkülmasildade mõju külmal ajal ning samuti jahedatest seintest tingitud ebamugavustunnet.

Akende soojusjuhtivus on samuti oluliselt üle normi. Tulevikus võiks mõelda parema U-arvuga klaasprofiilile. Uste soojusjuhtivuse andmed on võetud tootja kodulehelt, ning jäävad soovituslikess piiridesse.

#### 4.2. Välispiirde kondenseerumisriski ja väljakuivamise arvutus Glaseri meetodiga

Arvutustes kasutatud materjalide difusioonitakistuskonstandid ja aurutakistused on võetud tabelist 3.1.

**Välissein 1** (Kipsplaat 13mm, õhk/metallkarkass 40mm, tellis 140mm, õhk 40mm, maakivi 680mm)

- Kondenseerumine

Kliimatingimused: sees 20°C ja RH = 50% →  $p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

väljas -10°C ja RH = 80% →  $p_a = 0,8 \cdot 259,7 = 207,76 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

kondenseerumisperiood 90 päeva = 2160 h

Kondenseerumispunkti väärtus vastavalt graafikust ja tabelist  $p_{sw} = -1^\circ\text{C} = 560\text{Pa}$



**Tabel 4.2.** Välisseina kondenseerumise arvutustabel

Välissein  
1

välisTEMP    Sisetemp

-10            20

Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	
Välispind			0.04	3.82	1.15	-8.85
maakivi	0.68	2.5	0.27	25.97	7.79	-1.06
õhk	0.04	0.025	0.16	15.28	4.58	3.52
tellis	0.14	0.6	0.23	22.28	6.68	10.20
õhk	0.04	0.025	0.16	15.28	4.58	14.79
kipsplaat	0.013	0.25	0.05	4.96	1.49	16.28
Sisepind			0.13	12.41	3.72	20.00

R(m2K)/W    1.05    100.00  
U W/m2K        0.95

kontroll

välisõhk  
välispind  
kihtide  
vahel  
sisepind  
siseõhk

P<sub>max</sub>  
(Pa)    S<sub>d</sub>  
summa

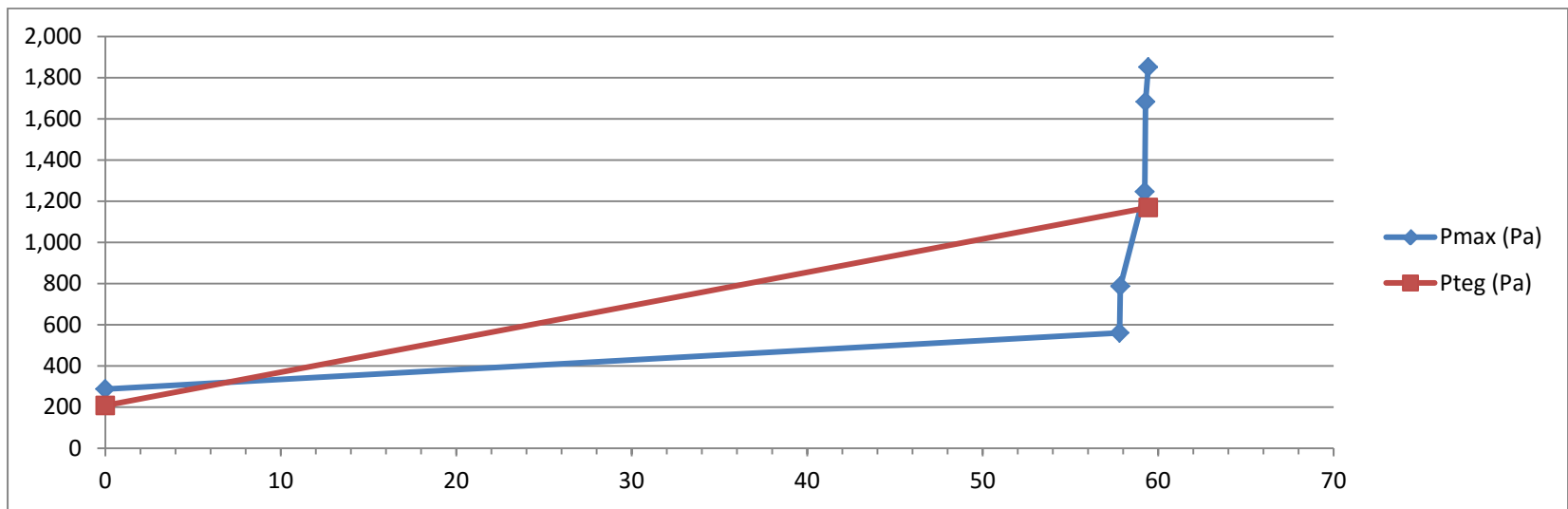
μ	S <sub>d</sub>	P <sub>teg</sub> (Pa)	P <sub>max</sub> (Pa)	S <sub>d</sub> summa
		207.9	260	0
85	57.8		560	57.8
1	0.04		787	57.84
10	1.4		1,246	59.24
1	0.04		1,683	59.28
12	0.16		1,851	59.44
		1169.1	2,338	

59.4

veeauru osarõhud sees ja väljas

2,338	260	
50	80	
1169	208	961.19

tegelik rõhk	S <sub>d</sub> summa
207.9016577	0
1169.094815	59.44



**Joonis 4.1.** Välisseina kondenseerumise graafik

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seina puhul, vastavalt valemile (30):

Kondenseerumispinnast väljaspool:

$$57,8 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 86,7 \cdot 10^6 \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{kg}$$

Kondenseerumispinnast seespool:

$$(0,04 + 1,14 + 0,04 + 0,16) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 2,07 \cdot 10^6 \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{kg}$$

Difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda, vastavalt valemile (33):

$$i_i = \frac{1169 - 560}{2,07 \cdot 10^6} = 294,2 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, vastavalt valemile (34):

$$i_a = \frac{560 - 208}{86,7 \cdot 10^6} = 5,1 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Kondenseerunud vee kogus, vastavalt valemile (32), kui kondenseerumisperiood on 3 kuud (2160h):

$$W_T = 2160 \cdot (294,2 - 5,1) \cdot 10^{-6} = 0,63 \frac{kg}{m^2}$$

Kahekuulise kondenseerumisperioodi puhul (1440 h) on kondenseerunud vee kogus:

$$W_T = 1440 \cdot (294,2 - 5,1) \cdot 10^{-6} = 0,42 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimus kondenseerumisel:

$$W_T = 0,63 \frac{kg}{m^2} < 1,0 \frac{kg}{m^2}$$

- Väljakuivamine

Kliimatingimused: sees 12°C ja RH = 70% →  $p_i = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$  Pa

väljas 12°C ja RH = 70% →  $p_a = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$  Pa

kondenseerumiskohas 12°C ja RH = 100% →  $p_{sw} = 1402$  Pa  
kuivamisperiood 90 päeva = 2160 h

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast ruumi, vastavalt valemile (33):

$$i_i = \frac{1402 - 981,4}{2,07 \cdot 10^6} = 203,2 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, vastavalt valemile (34):

$$i_a = \frac{1402 - 981,4}{86,7 \cdot 10^6} = 4,9 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Välja kuivava vee kogus, vastavalt valemile (35), kondenseerumiseriood 3 kuud:

$$W_V = 2160 \cdot (203,2 + 4,9) \cdot 10^{-6} = 0,45 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimus välja kuivamisel:

$$W_V = 0,45 \frac{kg}{m^2} < W_T = 0,63 \frac{kg}{m^2}$$

Kui võtta kondenseerumisperioodiks kaks kuud, siis

$$W_V = 0,45 \frac{kg}{m^2} > W_T = 0,42 \frac{kg}{m^2}$$

Võttes arvutuslikuks kondenseerumisperioodiks 3 kuud, jääb piirdesse jääkkondensaat, kahekuulise perioodi puhul kuivab kondenseerunud vesi välja.

Maakivile on omane aeglane jahtumine sügisel ja aeglane soojenemine kevadel. Seetõttu kuivab maakiviseinas (välissein) kondens välja kõige aeglasemalt. Väga pika kondenseerumisperioodi puhul ei jõua maakiviseina konstruktsioonist jääkkondensaat välja kuivada. Välissein 2 puhul samuti arvestatav kondenseerumine, õnneks pole probleemi vee väljakuivamisega konstruktsioonist. Seevastu mansardkatuse all kondenseerumist ei toimu. Pööningu põrandas tekib Glaseri arvutuste järgi samuti kondenseerumine, mis kuivab taas suvekuudel välja.

### 4.3. Joonkülmasildade arvutus

Külmasilla joonsoojusjuhtivused on leitud, vastavalt valemile (38):

**Välissein-välissein kontaktist tulenev joonsoojusjuhtivus tabelis 4.3:**

**Tabel 4.3.** Välissein-välissein

U <sub>1D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>1</sub> (sisemõõtmed)	1070	mm
l <sub>1</sub> (välismõõtmed)	1070	mm
U <sub>2D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>2</sub> (sisemõõtmed)	1070	mm
l <sub>2</sub> (välismõõtmed)	1070	mm
U <sub>2D</sub>	1,55	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>2D</sub> vastav pikkus mudelis	2137	mm
L <sub>1D</sub> (sisemõõtmed)	2,057	W/mK
L <sub>1D</sub> (välismõõtmed)	2,057	W/mK
L <sub>2D</sub>	3,312	W/mK
Ψ (sisemõõtmed)	1,255	W/mK
Ψ (välismõõtmed)	1,255	W/mK

$$\Psi = 1,55 * 2,137 - 2 * 0,96 * 1,07 = 3,32 - 2,05 = 1,27 \text{ W/(mK)}$$

<sup>1)</sup> Tulemused on saadud arvutuste käigus programmis THERM 7.4.

#### Välissein-sisesein kontaktist tulenev joonsoojusjuhtivus tabelis 4.4:

**Tabel 4.4.** Välissein-sisesein

U <sub>1D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>1</sub> (sisemõõtmed)	1470	mm
l <sub>1</sub> (välismõõtmed)	1470	mm
U <sub>2D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>2</sub> (sisemõõtmed)	1470	mm
l <sub>2</sub> (välismõõtmed)	1470	mm
U <sub>2D</sub>	0,96	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>2D</sub> vastav pikkus mudelis	3070	mm
L <sub>1D</sub> (sisemõõtmed)	2,827	W/mK
L <sub>1D</sub> (välismõõtmed)	2,827	W/mK
L <sub>2D</sub>	2,947	W/mK
<b>Ψ (sisemõõtmed)</b>	0,121	W/mK
<b>Ψ (välismõõtmed)</b>	0,121	W/mK

$$\Psi = 0,96 * 3,07 - 2 * 0,96 * 1,47 = 2,95 - 2,82 = 0,13 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

<sup>1)</sup> Tulemused on saadud arvutuste käigus programmis THERM 7.4.

#### Välissein-vahelagi kontaktist tulenev joonsoojusjuhtivus tabelis 4.5:

**Tabel 4.5.** Välissein-vahelagi

U <sub>1D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>1</sub> (sisemõõtmed)	1490	mm
l <sub>1</sub> (välismõõtmed)	1490	mm
U <sub>2D</sub>	0,1579	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>2</sub> (sisemõõtmed)	1430	mm
l <sub>2</sub> (välismõõtmed)	1430	mm
U <sub>2D</sub>	0,5642	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>2D</sub> vastav pikkus mudelis	3160	mm
L <sub>1D</sub> (sisemõõtmed)	1,658	W/mK
L <sub>1D</sub> (välismõõtmed)	1,658	W/mK
L <sub>2D</sub>	1,783	W/mK
<b>Ψ (sisemõõtmed)</b>	0,125	W/mK
<b>Ψ (välismõõtmed)</b>	0,125	W/mK

$$\Psi = 0,56 \cdot 3,2 - 1,49 \cdot 0,96 - 1,43 \cdot 0,16 = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

<sup>1)</sup> Tulemused on saadud arvutuste käigus programmis THERM 7.4.

#### Välissein-pööninglagi kontaktist tulenev joonsoojusjuhtivus tabelis 4.6:

**Tabel 4.6.** Välissein-pööninglagi

U <sub>1D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>1</sub> (sisemõõtmed)	1000	mm
l <sub>1</sub> (välismõõtmed)	1000	mm
U <sub>2D</sub>	0,2677	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>2</sub> (sisemõõtmed)	2424	mm
l <sub>2</sub> (välismõõtmed)	2424	mm
U <sub>2D</sub>	0,7225	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>2D</sub> vastav pikkus mudelis	2383	mm
L <sub>1D</sub> (sisemõõtmed)	1,610	W/mK
L <sub>1D</sub> (välismõõtmed)	1,610	W/mK
L <sub>2D</sub>	1,722	W/mK
<b>Ψ (sisemõõtmed)</b>	0,111	W/mK
<b>Ψ (välismõõtmed)</b>	0,111	W/mK

$$\Psi = 0,72 \cdot 2,38 - 0,96 \cdot 1,0 - 0,27 \cdot 2,42 = 0,10 \text{ W/(mK)}$$

<sup>1)</sup> Tulemused on saadud arvutuste käigus programmis THERM 7.4.

### Välissein-põrand kontaktist tulenev joonsoojusjuhtivus tabelis 4.7:

**Tabel 4.7.** Välissein-põrand

U <sub>1D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>1</sub> (sisemõõtmed)	1000	mm
l <sub>1</sub> (välismõõtmed)	1000	mm
U <sub>2D</sub>	0,2677	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>2</sub> (sisemõõtmed)	1430	mm
l <sub>2</sub> (välismõõtmed)	1430	mm
U <sub>2D</sub>	0,4616	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>2D</sub> vastav pikkus mudelis	3600	mm
L <sub>1D</sub> (sisemõõtmed)	1,344	W/mK
L <sub>1D</sub> (välismõõtmed)	1,344	W/mK
L <sub>2D</sub>	1,662	W/mK
<b>Ψ (sisemõõtmed)</b>	0,318	W/mK
<b>Ψ (välismõõtmed)</b>	0,318	W/mK

$$\Psi = 0,46 \cdot 3,6 - 0,96 \cdot 1,0 - 0,27 \cdot 1,43 = 0,31 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

<sup>1)</sup> Tulemused on saadud arvutuste käigus programmis THERM 7.4.

### Akna seinakinnitusest tulenev joonsoojusjuhtivus tabelis 4.8:

**Tabel 4.8.** Välissein-aken

U <sub>1D</sub>	0,9614	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>1</sub> (sisemõõtmed)	1000	mm
l <sub>1</sub> (välismõõtmed)	1000	mm
U <sub>2D</sub>	1,0000	W/m <sup>2</sup> K
l <sub>2</sub> (sisemõõtmed)	1000	mm
l <sub>2</sub> (välismõõtmed)	1000	mm
U <sub>2D</sub>	0,6246	W/m <sup>2</sup> K
U <sub>2D</sub> vastav pikkus mudelis	4006	mm
L <sub>1D</sub> (sisemõõtmed)	1,961	W/mK
L <sub>1D</sub> (välismõõtmed)	1,961	W/mK
L <sub>2D</sub>	2,502	W/mK
<b>Ψ (sisemõõtmed)</b>	0,541	W/mK
<b>Ψ (välismõõtmed)</b>	0,541	W/mK



$$\Psi = 0,63 \cdot 4,0 - 0,96 \cdot 1,0 - 1,0 \cdot 1,0 = 0,56 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

<sup>1)</sup> Tulemused on saadud arvutuste käigus programmis THERM 7.4.

<sup>2)</sup> Väärtus on saadud tootja kodulehelt.

#### **4.4. Joonkülmasildade lisakonduktantside arvutus**

Joonkülmasildade lisakonduktantside väärtused on leitud eelnevalt arvutatud joonsoojusjuhtivuste kaudu vastavalt valemile (38).

##### **Välissein-välissein kontaktist tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 1,26 \cdot 44,0 = 55,3 \text{ W/K}$$

##### **Välissein-sisesein kontaktist tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 0,12 \cdot 55,0 = 6,6 \text{ W/K}$$

##### **Välissein-vahelagi kontaktist tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 0,13 \cdot 42,5 = 5,3 \text{ W/K}$$

##### **Välissein-pööninglagi kontaktist tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 0,11 \cdot 42,5 = 4,7 \text{ W/K}$$

##### **Välissein-põrand kontaktist tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 0,32 \cdot 46,6 = 14,9 \text{ W/K}$$

##### **Akende seinakinnitustest tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 0,54^{1)} \cdot 50,2 = 27,2 \text{ W/K}$$

##### **Uste seinakinnitustest tulenevad külmasillad:**

$$\Delta\Psi = 0,32^{1)} \cdot 12,1 = 3,9 \text{ W/K}$$

<sup>1)</sup> Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika. Majandus- ja kommunikatsiooni ministri 9. jaanuari 2013. a. määrus nr. 63.

Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (05.05.2016)

##### **Geomeetriliste külmasildade lisakonduktantsid kokku:**

$$\Delta\Psi = 55,3 + 6,6 + 5,3 + 4,7 + 14,9 + 27,2 + 3,9 + 22,6 = 117,8 \text{ W/K}$$

**Tabel 4.9.** Soojuserikadude tabel

Soojuskaod läbi piirdetarindite					Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	$g$	$U_i$	$A_i$	$H_{juhtivus}$	Külmasild	$\Psi_j$	$l_j$	$H_{külmasild}$	Omadus	Suurus
	-	W/(m <sup>2</sup> ·K)	m <sup>2</sup>	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välissein 1		0.96	163.9	156.6	Välissein-välissein 1	1.26	24.0	30.1	Õhulekke-arv $q_{50}$ , m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	9.0
Välissein 2		0.21	44.2	9.5	Välissein-välissein 2	1.26	20.0	25.2		
Välissein 3		0.14	26.8	3.8		0.00	0.0	0.0	$A_{vp}$ (välispiirded), m <sup>2</sup>	388.9
		0.00	0.0	0.0	Vahelagi-välissein	0.13	42.5	5.3		
Pööningu vahelagi		0.21	70.0	14.9	Pööningu vahelagi-välissein	0.11	42.5	4.7	Korruste arv (täisarv)	2.0
Põrand pinnasel		0.31	19.6	6.1	Põrand pinnasel-välissein	0.32	13.4	4.3	$\dot{V}_{inf}$ , m <sup>3</sup> /s	0.0405
Põrand keldri kohal		0.24	47.3	11.2	Põrand välisõhu kohal-välissein	0.32	33.2	10.6		
Välisuks		1.00	4.0	4.0	Akna seinakinnitus	0.54	50.2	27.2		
Aken 1	0.00	6.41	3.5	22.3	Ukse seinakinnitus	0.32	12.1	3.9		
Aken 2	0.00	4.50	9.6	43.2	Sisesein-välissein	0.12	30.0	3.6		
Aken 3	0.00	0.00	0.0	0.0	Sisesein-välissein 2	0.12	25.0	3.0		
Kokku:		$H_{juhtivus}$ , W/K		271.5		$H_{külmasild}$ , W/K		117.8	$H_{õhuleke}$ , W/K	48.9
Välispiirete summaarne soojuserikadu					$\Sigma H$ , W/K			438.2		
Välispiirete keskmine soojusläbivus					$\Sigma H / A_{vp}$			1.1		
Hoone köetav pind					$A_{köetav}$ , m <sup>2</sup>			114.0		
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta					$\Sigma H / A_{köetav}$ , W/(m <sup>2</sup> ·K)			3.84		

Välispiirete summaarne soojuserikadu leitakse vastavalt valemile (22):

$$H_e = 271,5 + 117,8 + 1,2 * 1005 * 0,04 = 438 \frac{W}{K}$$

Infiltratsiooni õhuhulk leitakse vastavalt valemile (23):

$$V_{inf} = \frac{9 \times 388,9}{3600 \times 24} = 0,04 \frac{m^3}{s}$$

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta leitakse vastavalt valemile (24):

$$\frac{H_e}{A_{köetav}} = \frac{438}{114} = 3,84 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Soojuskaod läbi piirete tingituna piirete soojusjuhtivusest ja õhu infiltratsioonist leitakse vastavalt valemile (25):

$$\frac{438 \times 4097 \times 24}{114} = 377,8 \frac{kWh}{m^2 \cdot a}$$

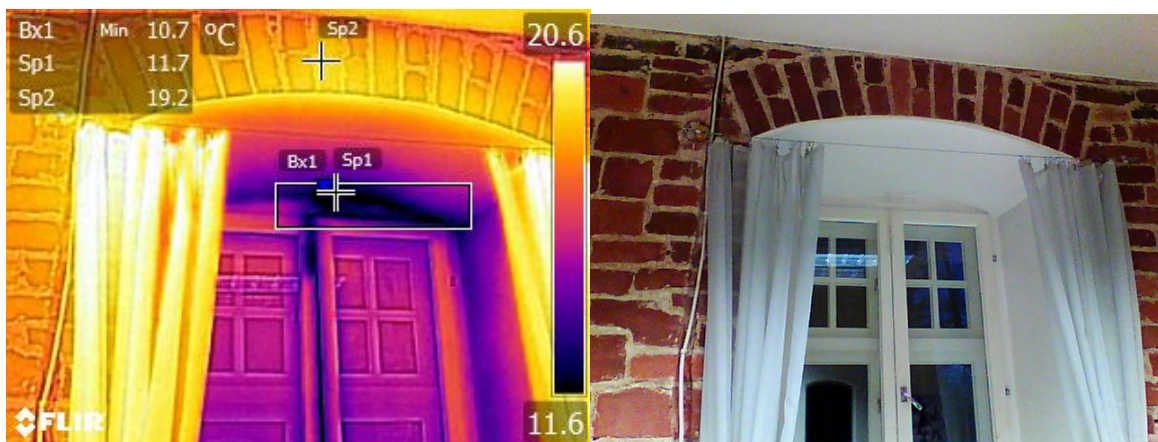
Hetkel kehtivad energiatõhususnõuete kohaselt peab suuremahuliselt rekonstrueeritava väikeelamu energiatõhususarv jääma alla 210 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Kärnerihoone on, aga muinsuskaitse all ning energiatõhususnõuded sel puhul ei kehti. Siiski tuleb arvutustest hästi välja, et nõuetekohasest energiatõhususest jääb päris palju puudu.

Energiatõhususarvutus on teostatud lihtsustatud meetodil, seega ei kajastu tulemusel lõplik energiatõhususarv. Kogu energiatõhususarvust on leitud tulemus vaid üks komponent. Lisaks kuulub energiatõhususarvutusse ventilatsiooni, küttesüsteemi, jahutussüsteemi ja elektrisüsteemi tarbivad energiahulgad. [9]

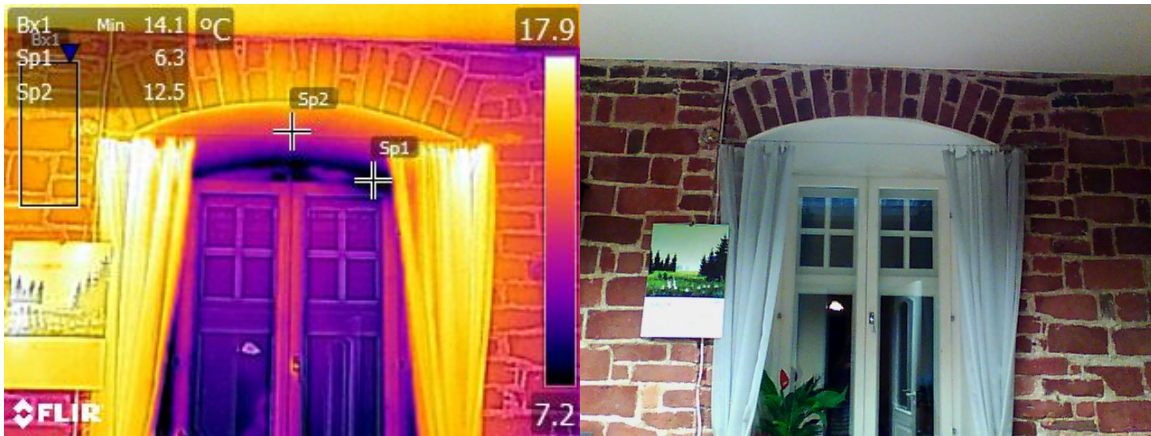
#### 4.5. Termograafia mõõtmistulemused

Vaatlusalused termopildid on tehtud uuritava hoone esimese ja teise korruse kriitilistest punktidest. Peamiselt tulevad esile piirete liitumisest tingitud geomeetrilised külmasillad ning konstruktsiooni ebatihedustele viitavad külmad laigud. Temperatuuriindeksite arvutamiseks vajalik sisetemperatuur on võetud vastava ruumi sisetemperatuur ning välistemperatuur vastavalt mõõtmise ajale Eesti Meteoroloogia ja Hüdroliigia Instituudi kodulehelt. Esimene termopiltide sessioon on tehtud 29.novembril 2015 ning teine 14.jaanuaril 2016. Töös on välja toodud mõned ilmekamad termopildid, millelt tulevad esile läbivalt sarnased konstruktsioonivead tööst välja jäetud muude ruumide piltidega. Temperatuuriindeksite arvutus teostati vastavalt valemile 40.

Joonis 4.2a, 4.2b ja 4.3a ja 4.3b kujutatud termopildid on tehtud hoone edelaküljelt, kabinetist. Termopildistamine tõi välja, et akna ümber ja üla ja alaosas on olulised külmasillad.



**Joonis 4.2a.** Külmasild akna ja seinä liitekohas novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

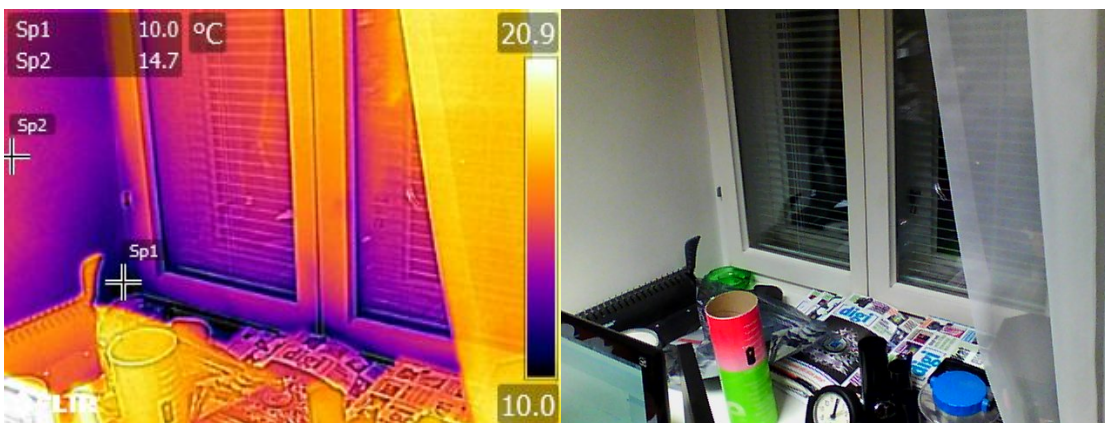


**Joonis 4.2b.** Külmasild akna ja seina liitekohas jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

Arvutustega leitud temperatuurindeksid (tabel 4.10 ja tabel 4.11) näitavad, et antud kabinetiakna ümber on hallituse ja kondenseerumise tekke oht.

**Tabel 4.10.** Temperatuurindeksite tabel

November			Jaanuar		
Välis temperatuur	-3	Temperatuurindeksid (termopiltide põhjal)	Välis temperatuur	-14	Temperatuurindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	19		Sisetemperatuur	17	
Bx1	10.7	0.62	Bx1	14.1	0.91
Sp1	11.7	0.67	Sp1	6.3	0.65
Sp2	19.2	1.01	Sp2	12.5	0.85



**Joonis 4.3a.** Külmasild akna ja seina liitekohas novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.3b.** Külmasild akna ja seina liitekohas jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

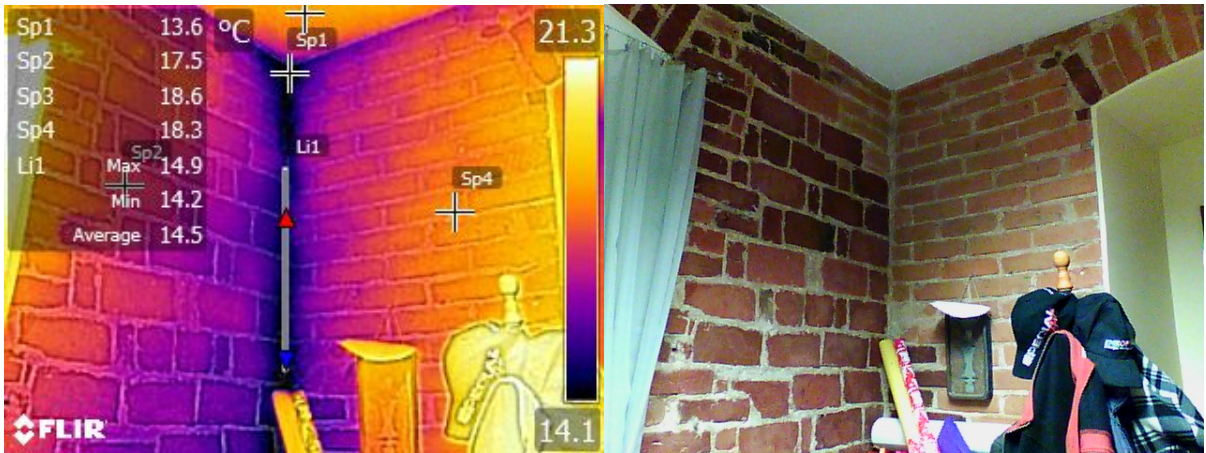
**Tabel 4.11.** Temperatuuriindeksite tabel

November			Jaanuar		
Välitemperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välitemperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	19		Sisetemperatuur	17	
Sp1	10	0.59	Bx1	10.8	0.80
Sp2	14.7	0.80	Sp1	5.6	0.63
			Bx2	8.8	0.74
			Sp2	11	0.81

Ruumi seinatemperatuur novembris akna kohal on 19,2°C, mis on suhteliselt hea näitaja, seevastu akna põsed on juba üle 4°C madalama temperatuuriga 14,7°C, mille temperatuuriindeks on veel rahuldav (0,8). Akna ümbruses jäävd mõõdetud punktide temperatuuriindeksid vahemikku 0,59-0,67, mis viitab hallituse ja kondenseerumise ohule.

Jaanuaris tehtud piltidelt saab samuti kinnitust arvestatava külmasilla olemasolu aknaraami ümbruses. Kuna välitemperatuur on 11°C madalam kui novembris, on ka pindade temperatuurid selle võrra madalamad. Jaanuarikuu temperatuuriindeksid näitavad normist madalamat tulemust punktis Bx2 ( temp.indeks 0,74, pinnatemp. 8,8°C), kus on tegemist kipsiga kaetud seinasaga, Paljas tellissein on mõnevõrra soojem, seda ilmselt äsja köetud ahju tõttu.

Joonistel 4.4a ja 4.4b on kujutatud kabineti edelakülje läänepoolset nurka ja joonistel 4.5a ja 4.5b on lõunapoolsem nurk. Termopildilt on näha olulised külmasillad välisnurkades.



**Joonis 4.4a.** Külmasild välisseina liitekohas novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

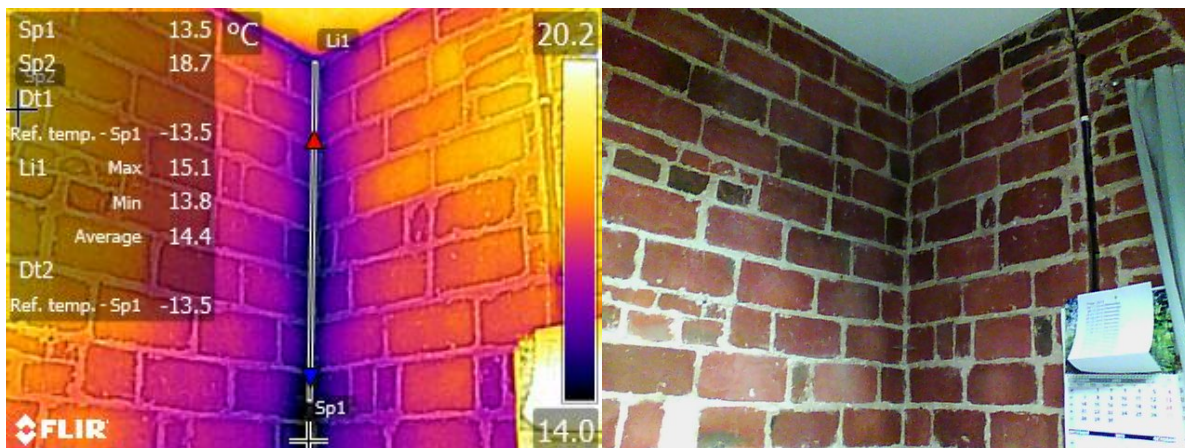


**Joonis 4.4b.** Külmasild välisseina liitekohas jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

Temperatuuriindeksid tabeli 12 ja 13 põhjal viitavad, et kabineti välisnurkades on oht kondendeerumise ja hallituse tekkeks.

**Tabel 12.** Temperatuuriindeksite tabel

	November		Jaanuar		
Välistemperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välistemperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	19		Sisetemperatuur	17	
Sp1	13.6	0.75	Bx1	10.7	0.80
Sp2	17.5	0.93	Li1	7.2	0.68
Sp3	18.6	0.98	Bx2	14.6	0.92
Sp4	18.3	0.97			
Li1	14.5	0.80			



**Joonis 4.5a.** Külmasild välisseina liitekohas novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.5b.** Külmasild välisseina liitekohas jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

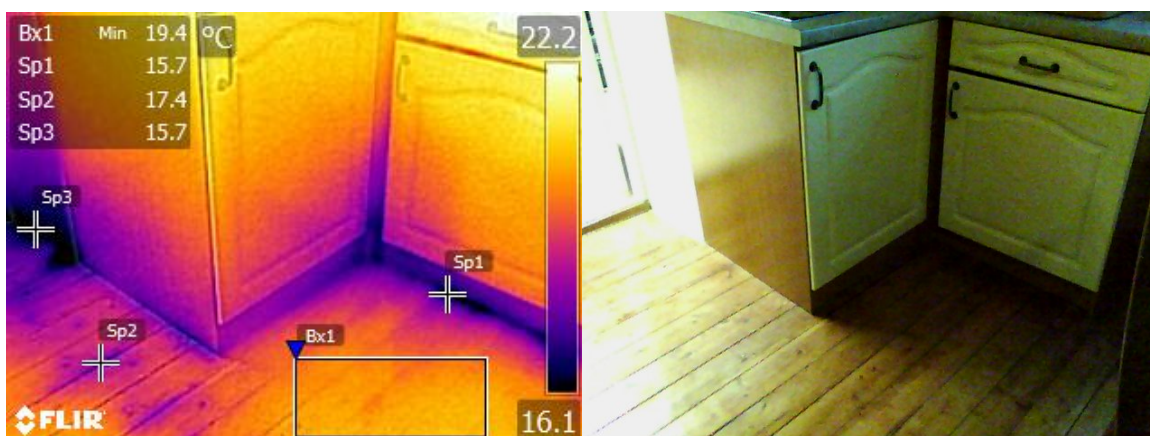
**Tabel 13.** Temperatuuriindeksite tabel

November			Jaanuar		
<b>Välitemperatuur</b>	-3	<b>Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)</b>	<b>Välitemperatuur</b>	-14	<b>Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)</b>
<b>Sisitemperatuur</b>	19		<b>Sisitemperatuur</b>	17	
Sp1	13.5	0.75	Bx1	13.3	0.88
Sp2	18.7	0.99	Li1	9	0.74
Li1	14.4	0.79	Bx2	17.4	1.01
			Bx3	14.4	0.92

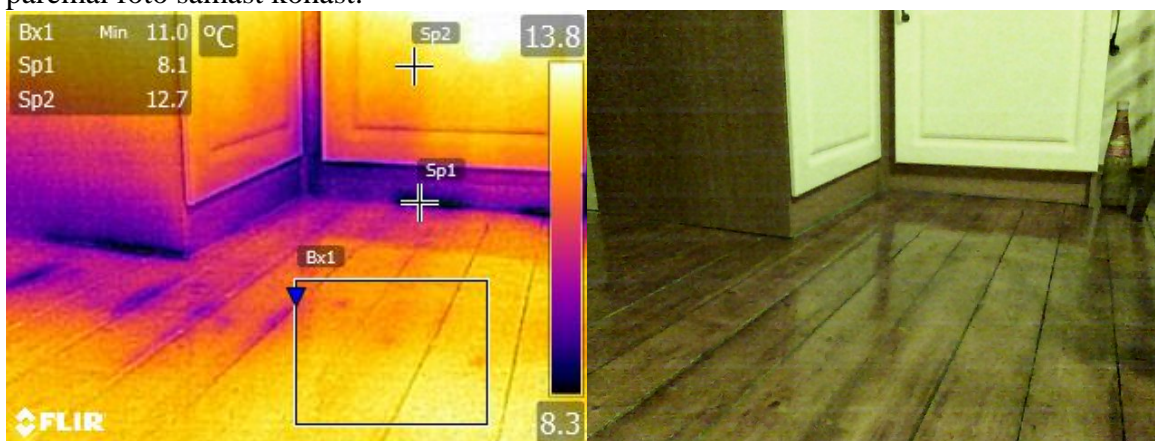
Kabineti kõige külmemates välisseina liitepunktides on temperatuurid kõigest 13,5°C ja 13,6°C novembris, 7,2°C ja 9,0 °C jaanuaris ning temperatuuriindeks 0,68- 0,75 viitab juba hallituse ja kondenseerumise ohule. Nurkade temperatuurid erinavad ülejäänud seinapinnast kuni 4°C. Ülejäänud seiniosa temperatuuriindeksid on rahuldavad jäädes 0,8-0,99 juurde.



Joonistel 4.6a ja 4.6b on näha alumise jahedama ruumi mõjust tingitud külmasilda hoone loodeküljel. Joonistel 4.7a ja 4.7b on tegemist ka välisseina ja põranda liitekohaga.



**Joonis 4.6a.** Külmasild põranda ja seinte/mööbli liitekohast novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

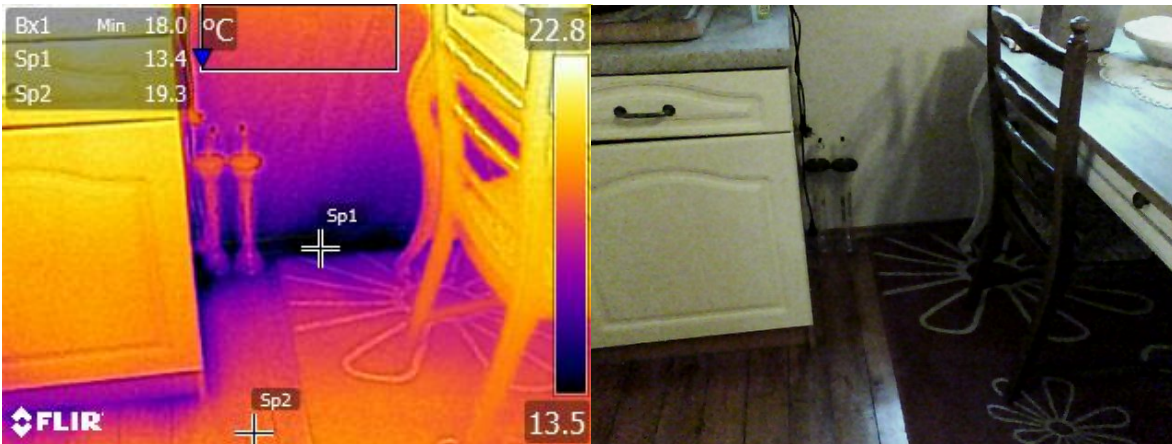


**Joonis 4.6.** Külmasild põranda ja seinte/mööbli liitekohast jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

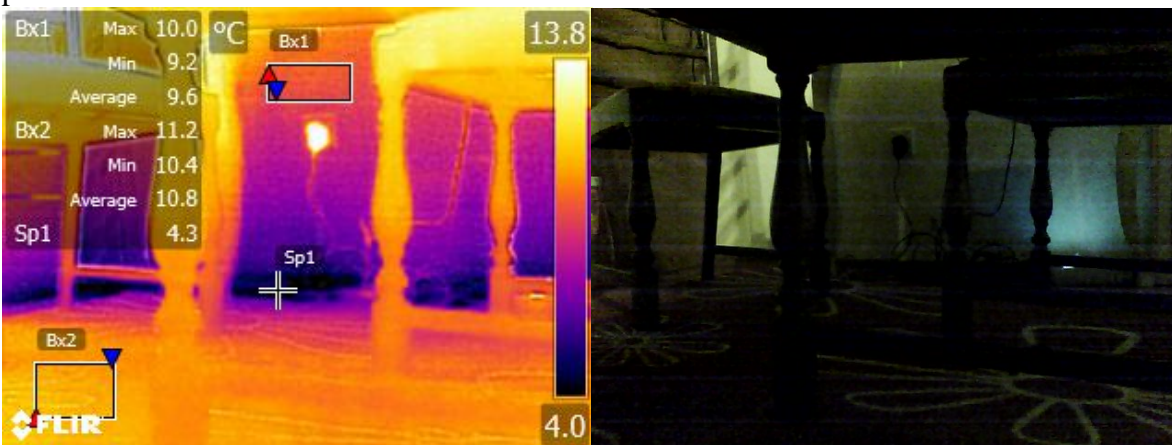
Temperatuuriindeksid tabelis 14 näitavad, et hallituse ja kondenseerumise ohtu pole.

**Tabel 14.** Temperatuuriindeksite tabel

November			Jaanuar		
<b>Välitemperatuur</b>	-3	<b>Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)</b>	<b>Välitemperatuur</b>	-14	<b>Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)</b>
<b>Sisitemperatuur</b>	19.7		<b>Sisitemperatuur</b>	18	
Bx1	19.4	0.99	Bx1	11	0.78
Sp1	15.7	0.82	Sp1	8.1	0.69
Sp2	17.4	0.90	Sp2	12.7	0.83
Sp3	15.7	0.82			



**Joonis 4.7a** Külmasild põranda ja välisseina liitekohast novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



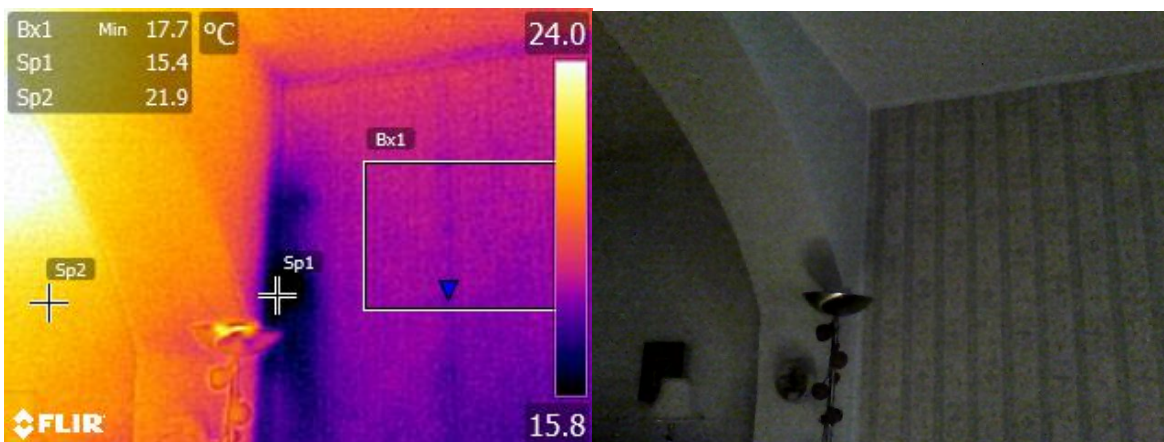
**Joonis 4.7b** Külmasild põranda ja välisseina liitekohast jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

Tabeli 15 temperatuuriindeksid novembris on seina ülaosas normis jäädes 0,93-0,98 juurde, kuid minimaalne külmasild on põranda ja seina liitekohas temperatuuriindeksiga 0,72. Jaanuaris on ka seina temperatuuriindeksid alla 0,8 normi. Seina ja põranda liitekohas on temperatuur vaid 4,3°C ning temperatuuriindeks 0,57, mis viitab hallituse ja kondenseerumise ohule.

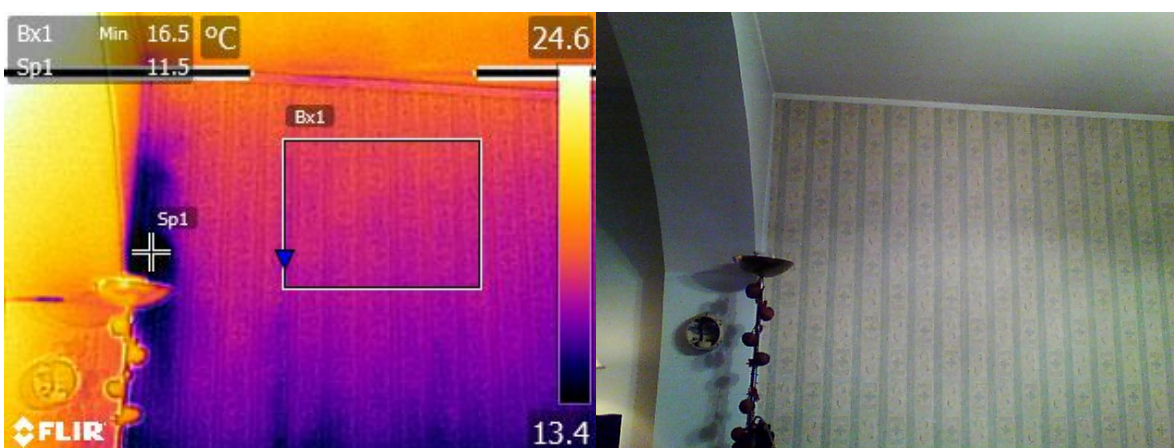
**Tabel 15.** Temperatuuriindeksite tabel

November			Jaanuar		
Välistemperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välistemperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	19.7		Sisetemperatuur	18	
Bx1	18	0.93	Bx1	9.6	0.74
Sp1	13.4	0.72	Bx2	10.8	0.78
Sp2	19.3	0.98	Sp1	4.3	0.57

Joonistel 4.8a ja 4.8b on näha kahte külma laiku elutoa võlvi kõrval välisseinal.



**Joonis 4.8a.** Külmasild seinal novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.8b.** Külmasild seinal jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

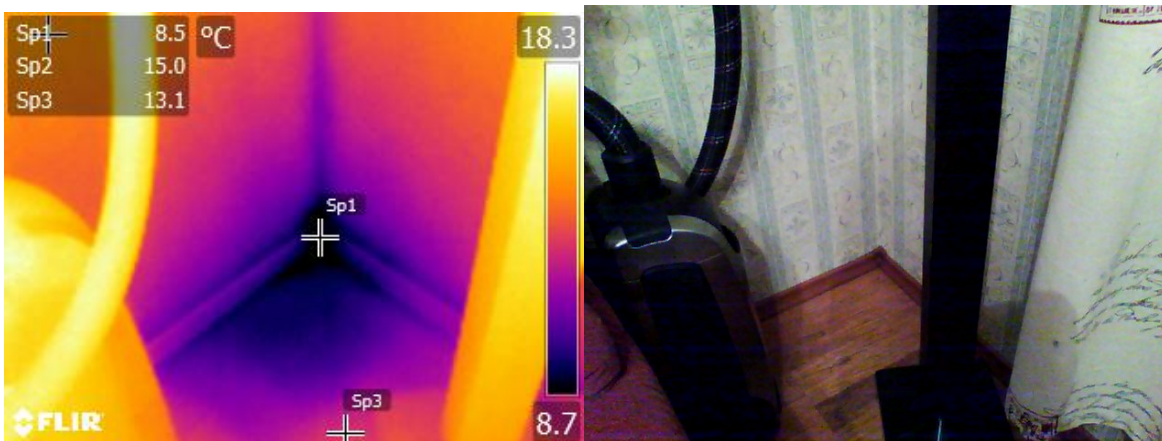
Tabeli 4.16 kohaselt temperatuuriindeksite põhjal hallituse ja kondenseerumise riski pole.

**Tabel 4.16.** Temperatuuriindeksite tabel

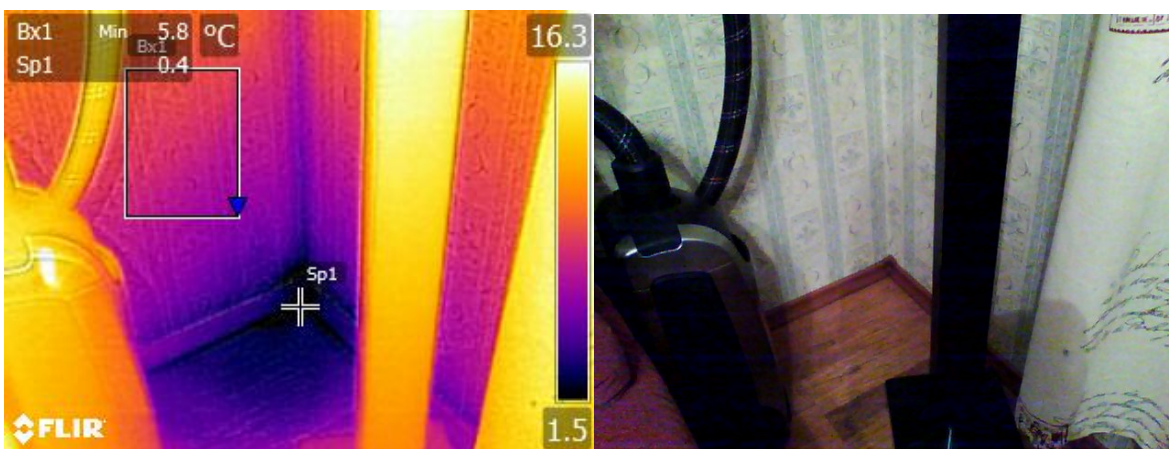
November			Jaanuar		
Välitemperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välitemperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisitemperatuur	19		Sisitemperatuur	18	
Bx1	17.7	0.94	Bx1	16.5	0.95
Sp1	15.4	0.84	Sp1	11.5	0.80
Sp2	21.9	1.13			

Antud laikude puhul elutoa seinas võib olla tegemist kipsplaadi niiskuskahjustusega, või on maakivi seinas mõni hõredam, soojust läbi laskev koht.

Joonistel 4.9a ja 4.9b on näitab termopilt olulist külmasilda hoone elutoa põhjapoolsemast välisnurgast, põranda ja seinte liitumiskohast.



**Joonis 4.9a.** Külmasild põranda ja välisseinte liitekohast novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.9b.** Külmasild põranda ja välisseinte liitekohast jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

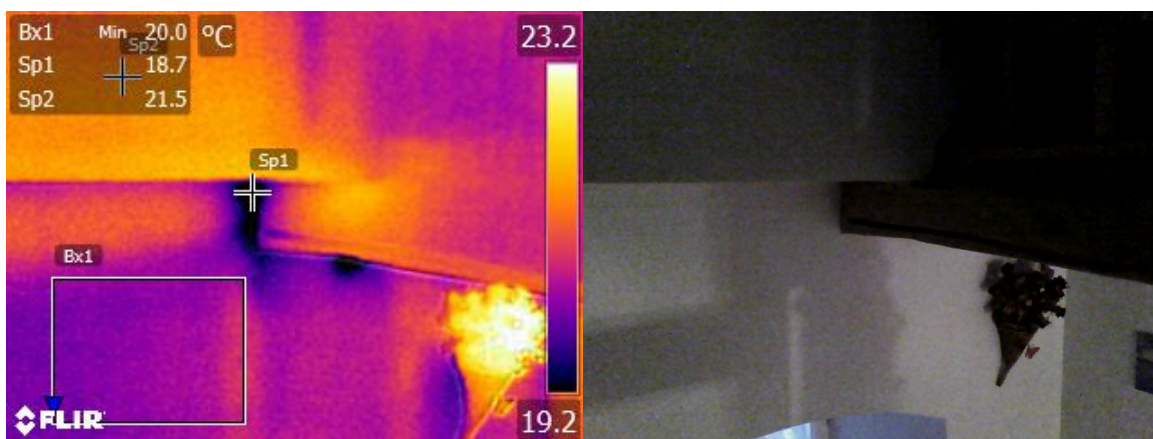
Elutoa väisnurga temperatuurindeksid (tabel 4.17) viitavad hallituse ja kondenseerumise ohule.

**Tabel 4.17.** Temperatuurindeksite tabel

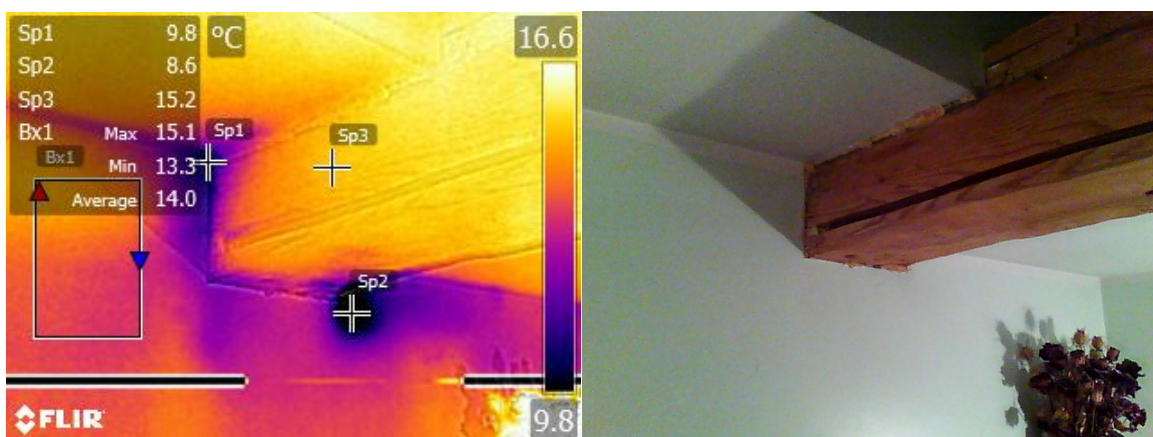
November			Jaanuar		
<b>Välitemperatuur</b>	-3	<b>Temperatuurindeksid (termopiltide põhjal)</b>	<b>Välitemperatuur</b>	-	<b>Temperatuurindeksid (termopiltide põhjal)</b>
<b>Sisetemperatuur</b>	19		<b>Sisetemperatuur</b>	18	
Sp1	8.5	0.52	Bx1	5.8	0.62
Sp2	15	0.82	Sp1	0.4	0.45
Sp3	13.1	0.73			

Nurga temperatuuriindeks on novembris kõigest 0,52, mis on isegi madalam, kui eelnevatel piltidel. Nurgas on vaid 8,5°C. Põrand nurga lähedal on samuti külm, vaid 5°C soojem temperatuuriindeksiga 0,73. Seinatemperatuur nurgas on 15°C jäädes temperatuuriindeksi järgi normi piirile. Jaanuarikuu suurte miinuskraadidega on seina temperatuuriindeks 0,62 ja külmasilla kohas on temperatuur vaid 0,4°C indeksiga 0,45, mis on juba kriitiliselt madalal. Tegemist on ühe küttekeha suhtes kaugel varjulise nurgaga, kuhu soojus hästi levida ei jõua.

Joonistel 4.10a ja 4.10b tuleb esile puittala ja esiku välisseina liitumispunkti tekkinud külmasild.



**Joonis 4.10a.** Külmasild tala ümber novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.10b.** Külmasild tala ümber jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

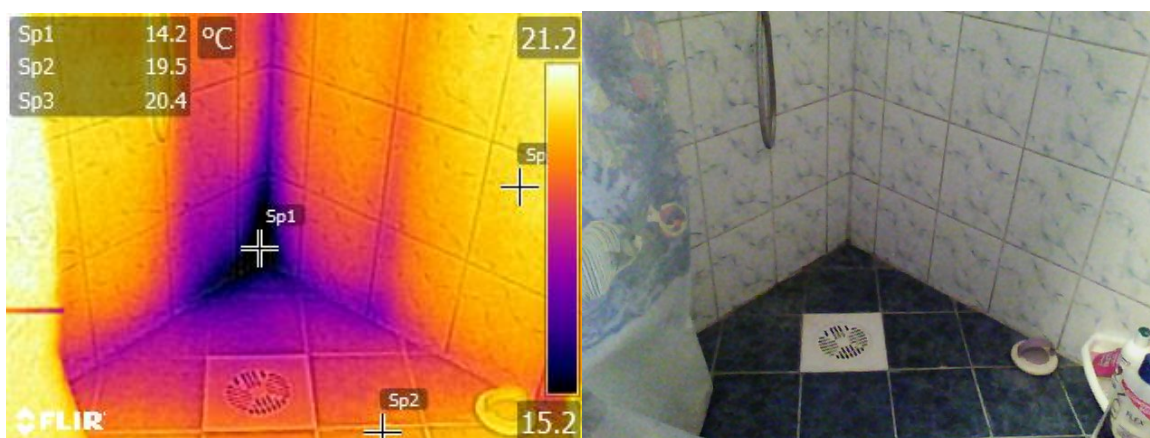
Temperatuuriindeksite tabeli (tabel 4.18) järgi hallituse ja kondenseerumise riski pole.

**Tabel 4.18.** Temperatuuriindeksite tabel

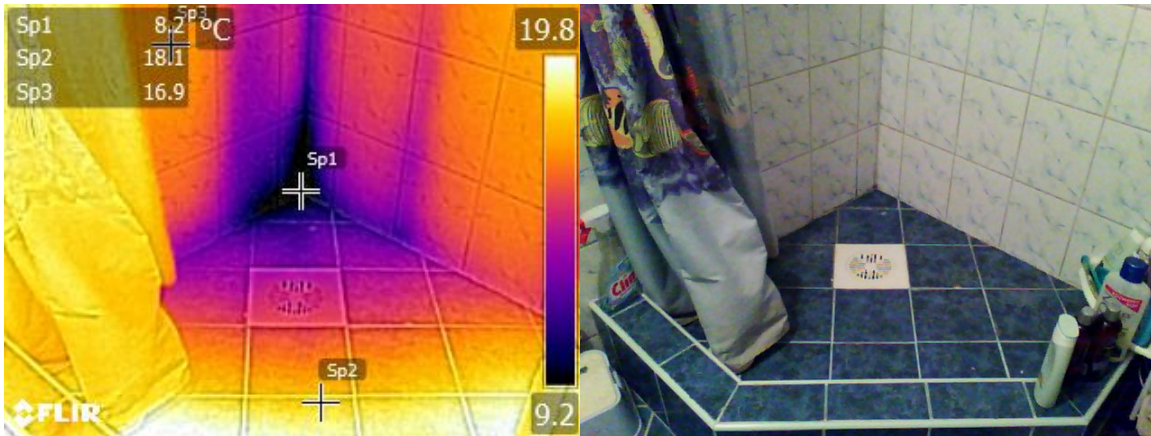
November			Jaanuar		
Välis temperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välis temperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	21		Sisetemperatuur	20	
Bx1	20	0.96	Sp1	9.8	0.70
Sp1	18.7	0.90	Sp2	8.6	0.66
Sp2	21.5	1.02	Sp3	15.2	0.86
			Bx1	14	0.82

Tegemist on konstruktsiooniga, kus puittala liitub kiviseinaga. Erinevate materjalide liitekoht on halvasti tihendatud ja mõnevõrra jahedam (temperatuuriindeks 0,90 novembris ja 0,66 jaanuaris) kui kipsplaadiga kaetud sein (temperatuuriindeks 1,02 novembris ja 0,82 jaanuaris).

Joonistel 4.11a ja 4.11b on kujutatud duššinurka. Tegemist on välisnurgaga ning duššinurgas erinevalt vannitoa põrandast pole põrandakütet. Termopildilt tuleb esile oluline külmasild välisnurgas.



**Joonis 4.11a.** Külmasild duššinurgas novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.11b.** Külmasild duššinurgas jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

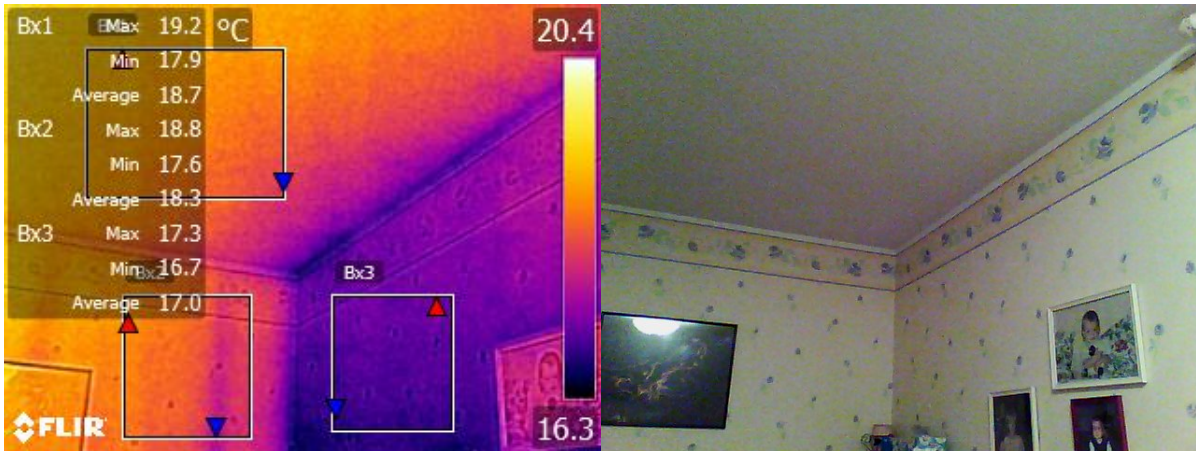
Madal temperatuuriindeks (tabel 4.19) duššinurga nurgas viitab hallituse ohule.

**Tabel 4.19.** Temperatuuriindeksite tabel

November			Jaanuar		
Välis temperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välis temperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	23.5		Sisetemperatuur	21	
Sp1	14.2	0.65	Sp1	8.2	0.63
Sp2	19.5	0.85	Sp2	18.1	0.92
Sp3	20.4	0.88	Sp3	16.9	0.88

Duššinurga põranda ja seina temperatuuriindeksid jäävad nii novembris kui ka jaanuaris vahemikku 0,87-0,92. See viitab normaalsele olukorrale. Välisnurgas on temperatuuriindeks novembris vaid 0,66 ja jaanuaris 0,63, mis viitab konstruktsiooni veale ja võimalikule niiskuskahjustusele.

Joonistel 4.12a on kujutatud teise korruse magamistoa edelakülje läänepoolset nurka. Mõlemalt termopildilt tuleb esile külmasild välisseinte liitumiskohas.



**Joonis 4.12a.** Külmasild välisseinte ja lae liitumisel novembris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.



**Joonis 4.12b.** Külmasild välisseinte ja lae liitumisel jaanuaris. Vasakul termopilt ja paremal foto samast kohast.

Temperatuuriindeksid tabelis 4.20 viitavad konstruktsiooni normaalsele seisukorrale.

**Tabel 4.20.** Temperatuuriindeksite tabel

November			Jaanuar		
Välistemperatuur	-3	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)	Välistemperatuur	-14	Temperatuuriindeksid (termopiltide põhjal)
Sisetemperatuur	20		Sisetemperatuur	20	
Bx1	18.7	0.94	Bx1	23.1	1.09
Bx2	18.3	0.93	Bx2	21.7	1.05
Bx3	17	0.87	Bx3	22.9	1.09
			Li1	19.9	1.00

Välisseieinte ja lae liitumiskohad on küll paar kraadi jahedamad kui külgseinad, siiski jäävad temperatuuriindeksid normi piiridesse (novembris 0,8-0,94 ja jaanuaris 0,92-1,09).



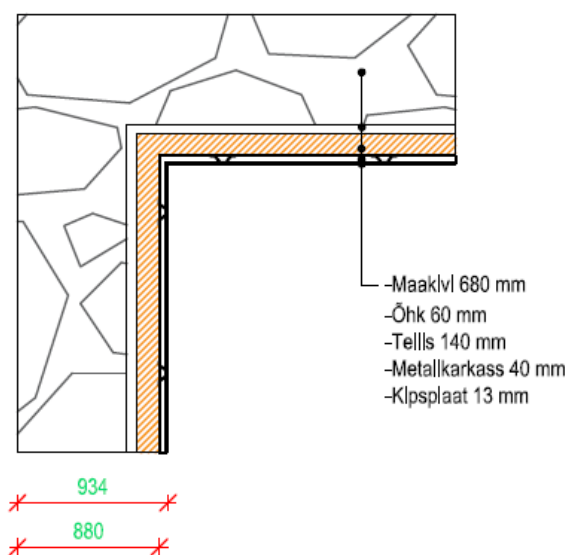
Seinatemperatuuride erinevus tuleneb sellest, et aknapoolne sein on paljas maakivi sein, külgmised seinad on mansardkatuse all, mis on hiljuti välja vahetatud ja soojustatud. Soojustatud ja soojustamata seina vahel on peaaegu 2°C erinevust. Lisaks on jaanuarikuus pildistamise hetkel ahi köetud, mis soojendab üles laealused pinnad.

## 4.6. Külmasilla hindamine temperatuurivälja arvutusega

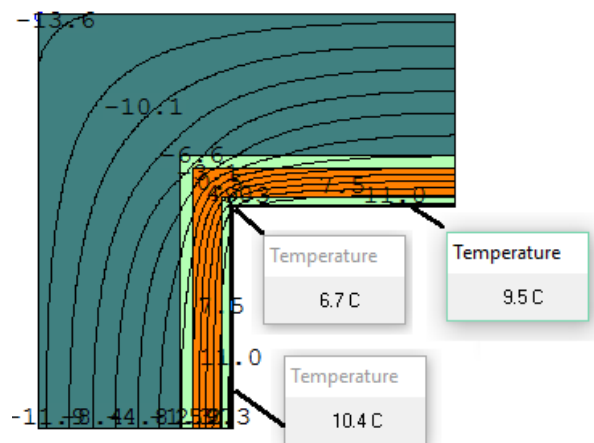
Külmasilla temperatuurivälja arvutusega määratakse külmasilla punkt-või joonsoojuisjuhtivuse suurused ning hinnatakse külmasilla kriitilisust. [27]

Käesolevas töös on kasutatud temperatuurivälja programmi THERM 7.4. Programmis on määratud sõlmedes esinevate pindade temperatuurid, sojustakistused ja soojusjuhtivused arvutuste teostamiseks. Arvutatavad sõlmed on valitud erinevatesse tarindite liitekohtadesse, et saada paremat ettekujutust soojusvoolust antud punktides. Thermis arvutatud sõlmede puhul on kliimatingimusi muudetud vastavalt termografeerimise hetkel esinenud välis- ja sisetemperatuuridele, lisatud on nurkades esinevad temperatuuriväärtused temperatuuriindeksite arvutamiseks. Programmi on joonestatud kõik konstruktsioonis esinevad kihid. Arvutustes on kasutatud järgmisi õhutemperatuuri ja -niiskuse andmeid: siseruumis 17°C ja 50%, väljas -14°C ja 1%. Temperatuuriindeksite arvutus teostati vastavalt valemile 40.

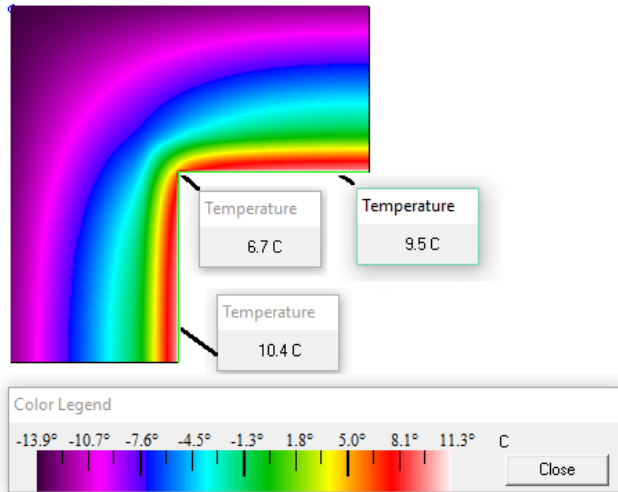
Joonisel 4.13.a on kujutatud elumaja välisseina välimist nurka, mis on joonestatud programmiga AutoCAD 2016. Joonisel 4.13.b on kujutatud sama nurga samatemperatuurijooned. Joonisel 4.13.c on kujutatud lahendatud sõlme lõikes erinevad temperatuurid, mille väärtuste hindamiseks on lisatud värviskaala.



Joonis 4.13.a. Välisseina välimine nurk

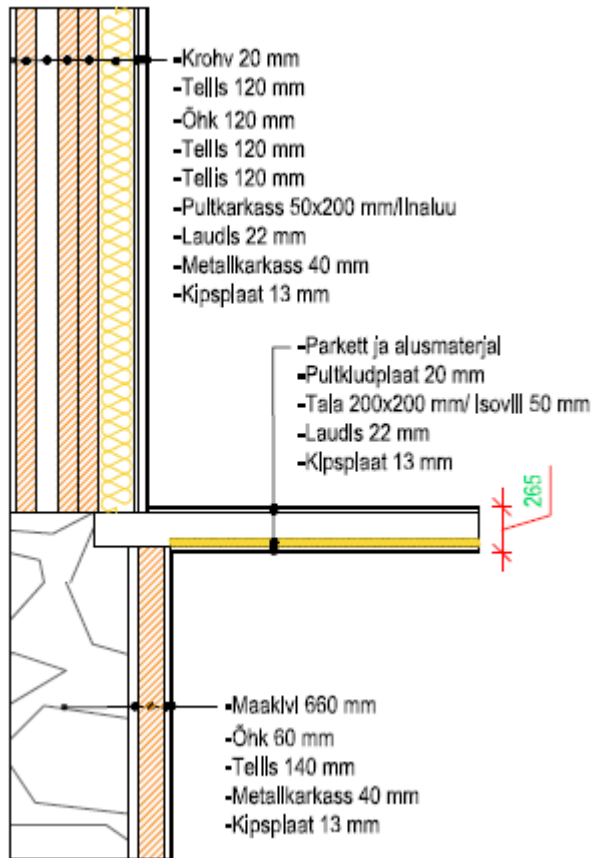


Joonis 4.13.b. Välisseina samatemperatuurijooned

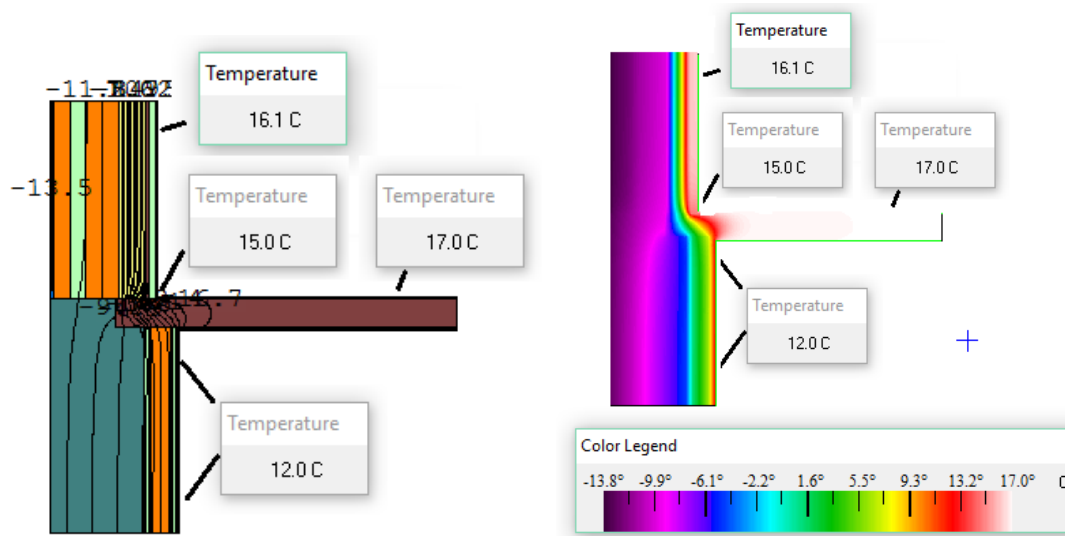


**Joonis 4.13.c.** Välisseina temperatuurid

Joonisel 4.14.a on kujutatud aednikumaja välisseina ristumist vahelaega, mis on joonestatud programmiga AutoCAD 2016. Joonisel 4.14.b on kujutatud antud sõlme samatemperatuurijooned. Joonisel 4.14.c on kujutatud lahendatud sõlme lõikes erinevad temperatuurid, mille väärtuste hindamiseks on lisatud skaala.



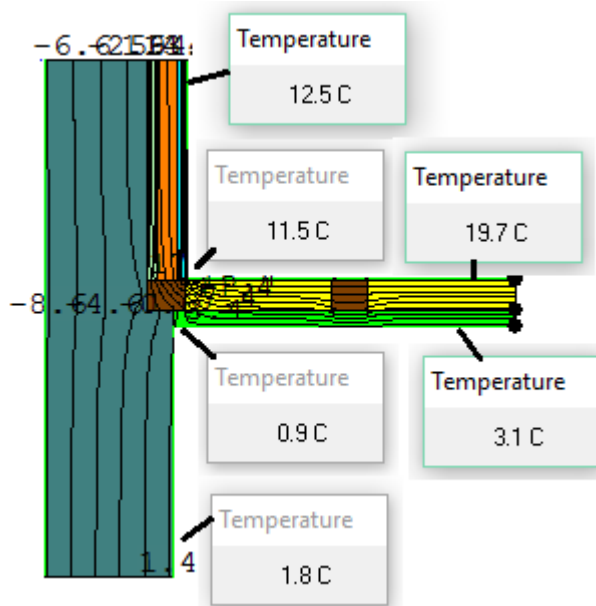
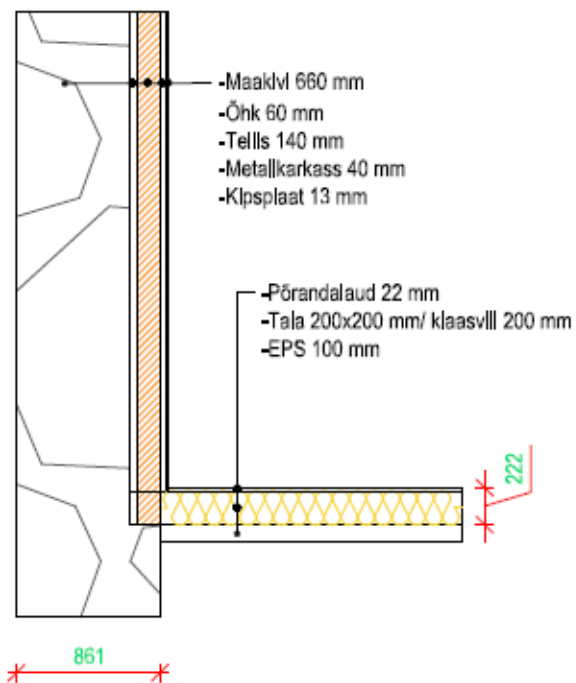
Joonis 4.14a. Vahelae sõlm



Joonis 4.14b. Vahelae samatemperatuurijooned

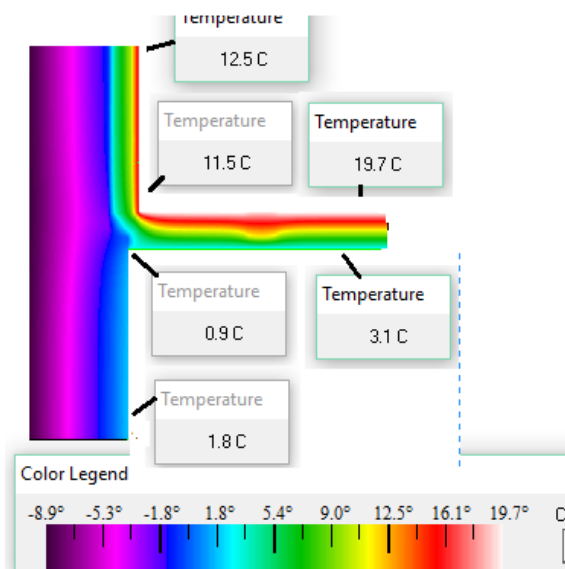
Joonis 4.14c. Vahelae temperatuurid

Joonisel 4.15a on kujutatud endise mõisa kõrvalhoone välisseina ristumist põrandaga, mis on joonestatud programmiga AutoCAD 2016. Joonisel 4.15b on kujutatud antud sõlme samatemperatuurijooned. Joonisel 4.15c on kujutatud lahendatud sõlme lõikes erinevad temperatuurid, mille väärtuste hindamiseks on lisatud skaala.



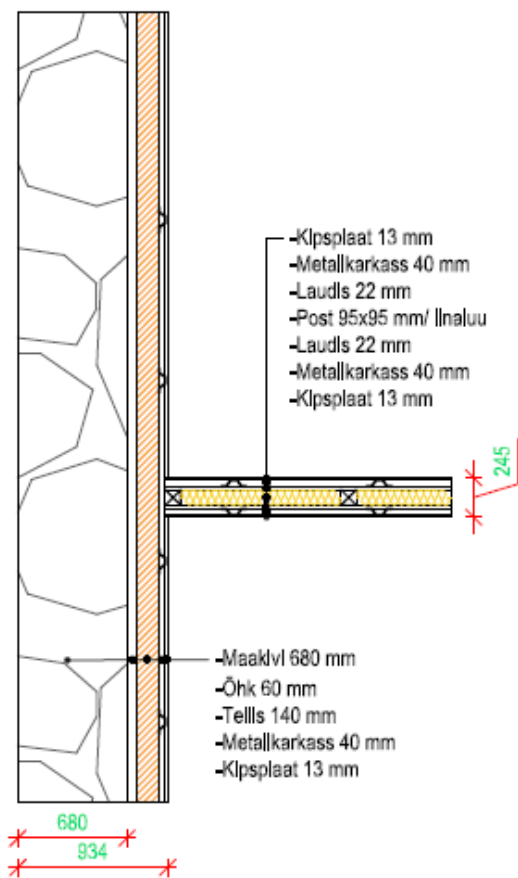
Joonis 4.15a. Sokli sõlm

Joonis 4.15b. Sokli samatemperatuurijooned

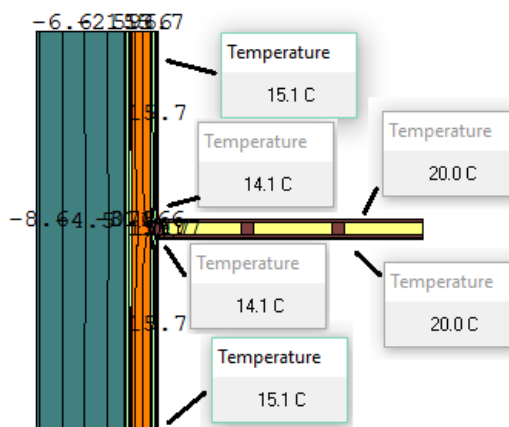


Joonis 4.15c. Sokli temperatuurid

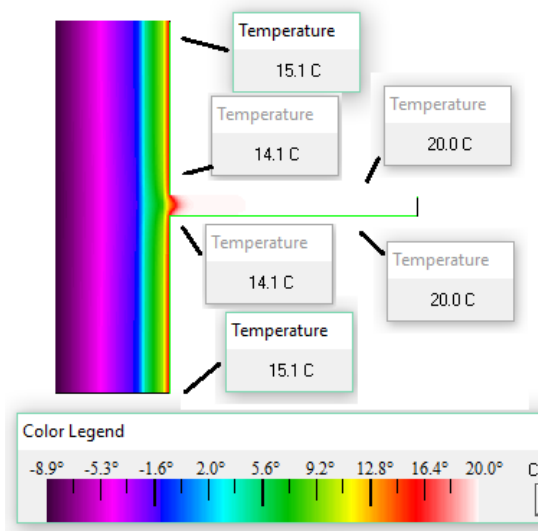
Joonisel 4.16a on kujutatud maja välisseina ristumist siseseinaga, mis on joonestatud programmiga AutoCAD 2016. Joonisel 4.16b on kujutatud antud sõlme samatemperatuurijooned. Joonisel 4.16c on kujutatud lahendatud sõlme lõikes erinevad temperatuurid, mille väärtuste hindamiseks on lisatud skaala.



**Joonis 4.16a.** Välisseina ja siseseina sõlm

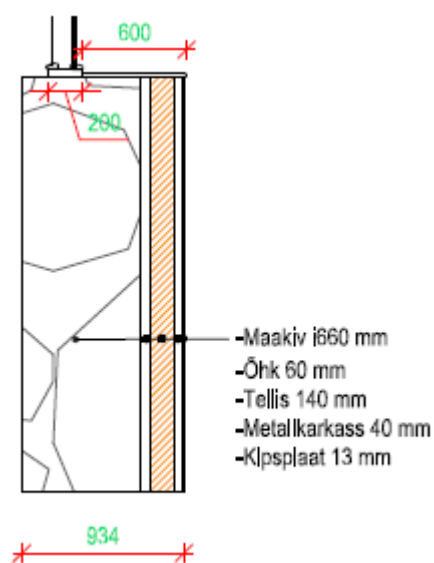


**Joonis 4.16b.** VS-SS samatemperatuurijooned

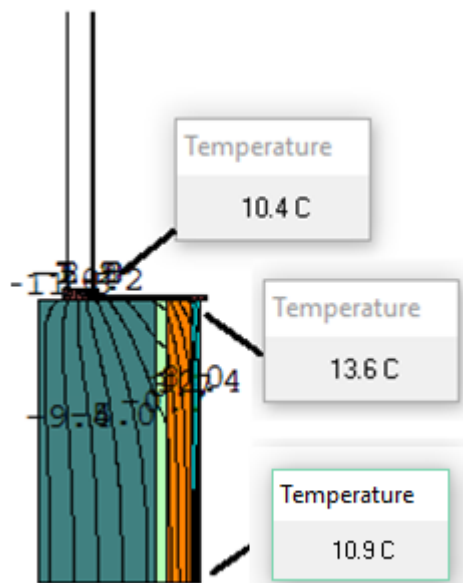


**Joonis 4.16c.** Välisseina ja siseina temperatuurid

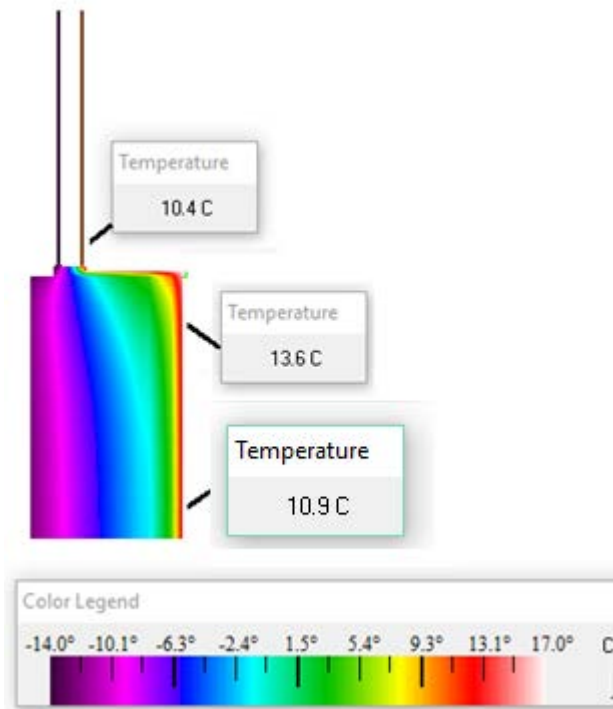
Joonisel 4.17a on kujutatud maja välisseina ja akna liitekohta, mis on joonestatud programmiga AutoCAD 2016. Joonisel 4.17b on kujutatud antud sõlme samatemperatuurijooned. Joonisel 4.17c on kujutatud lahendatud sõlme lõikes erinevad temperatuurid, mille väärtuste hindamiseks on lisatud skaala.



**Joonis 4.17a.** Välisseina ja akna sõlm



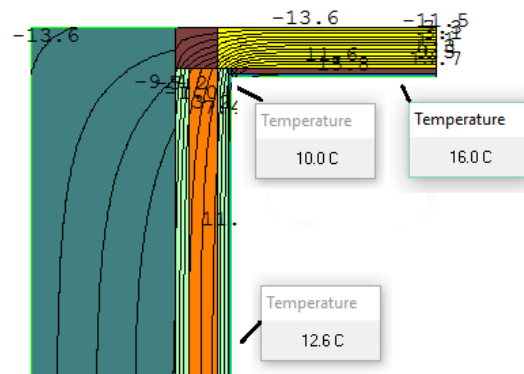
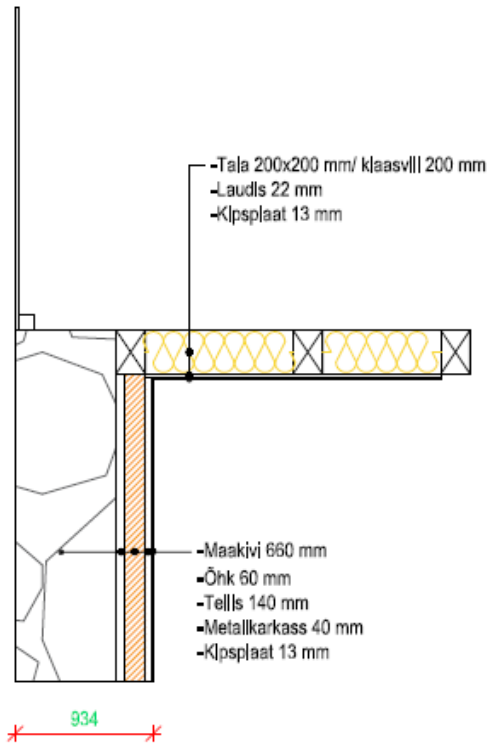
**Joonis 4.17b.** Välisseina ja akna samatemperatuurijooned



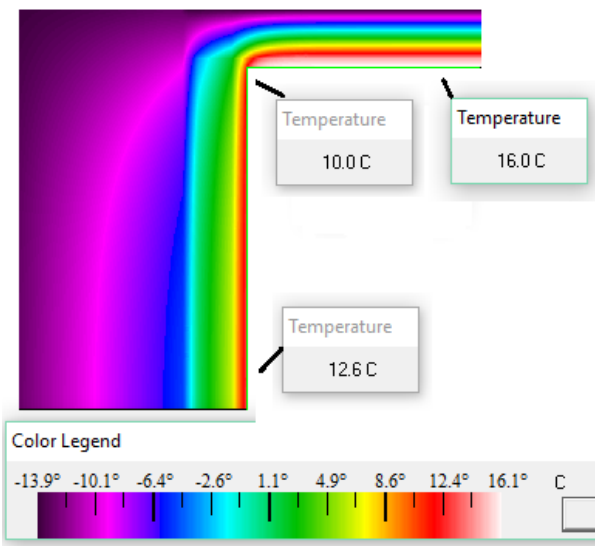
**Joonis 4.17c.** Välisseina ja akna temperatuurid

Joonisel 4.18a on kujutatud maja välisseina ja pööningu põranda liitekohta, mis on joonestatud programmiga AutoCAD 2016. Joonisel 4.18b on kujutatud antud sõlme samatemperatuurijooned. Joonisel 4.18c on kujutatud lahendatud sõlme lõikes erinevad temperatuurid, mille väärtuste hindamiseks on lisatud skaala.





**Joonis 4.18a.** Välisseina ja pööningu sõlm **Joonis 4.18b.** Välisseina ja pööningu samatemperatuurijooned



**Joonis 4.18c.** Välisseina ja pööningu temperatuurid

#### 4.7. Tähtsamate sõlmede temperatuurindeksite arvutused Thermi tulemuste põhjal

Sõlmede arvutused on tehtud vastavalt Thermi joonistelt loetud temperatuuridele, mis on tekkinud piirete ristumisel nende nurkades. Thermis on kasutatud välistemperatuuri väärtusena  $-14^{\circ}\text{C}$  ja sisetemperatuuri väärtusena  $17^{\circ}\text{C}$ .

##### Välissein-Välissein

$$f_{Rsi,1} = \frac{9,5 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,75; f_{Rsi,2} = \frac{6,7 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,67; f_{Rsi,3} = \frac{10,4 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,79$$

##### Välissein-Vahelagi

$$f_{Rsi,1} = \frac{16,1 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,97$$

$$f_{Rsi,2} = \frac{15 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,94; f_{Rsi,3} = \frac{17 - (-14)}{17 - (-14)} = 1,0; f_{Rsi,4} = \frac{12 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,84$$

##### Sokkel

$$f_{Rsi,1} = \frac{12,5 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,85; f_{Rsi,2} = \frac{11,5 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,82;$$

$$f_{Rsi,3} = \frac{19,7 - (-14)}{17 - (-14)} = 1,09$$

##### Välissein-Sisesein

$$f_{Rsi,1} = \frac{15,1 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,94; f_{Rsi,2} = \frac{14,1 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,91; f_{Rsi,3} = \frac{20 - (-14)}{17 - (-14)} = 1,0$$

##### Välissein-Aken

$$f_{Rsi,1} = \frac{10,4 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,79; f_{Rsi,2} = \frac{13,6 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,89;$$

$$f_{Rsi,3} = \frac{10,9 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,80$$

## Välissein-Pööning

$$f_{Rsi,1} = \frac{16 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,97; f_{Rsi,2} = \frac{10 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,77; f_{Rsi,3} = \frac{12,6 - (-14)}{17 - (-14)} = 0,86$$

Therm 7.4. tulemuste põhjal arvatud temperatuuriindeksite põhjal on hallituse ja kondenseerumise oht maakivi-maakivi seinä välisnurgas. Välisseina ja akna liitumiskoha temperatuuriindeksid on 0,79-0,80, mis on täpselt normi piiril, ning pigem viitab akna liitumiskoha halvale seisukorrale. Pööninglae ja seinä liitumiskohas on temperatuuriindeksi 0,77 järgi kerge kondenseerumise oht. Välissein-vahelagi, sokkli ja välissein-sisesein konstruktsioon on heas seisukorras. Konstruktsioon on heas seisukorras kui temperatuuriindeks on suurem kui 0,8.

Võrreldes termovisiooni põhjal arvatud temperatuuriindeksitega, on Thermi järgi arvatud temperatuuriindeksid mõnevõrra erinevad. Nt akna puhul on tulemus parem, samas kui välissein-välissein ja välissein-pööninglagi liitumise puhul on indeksid halvemad, seda ilmselt seetõttu, et Therm ei arvesta küttekehade mõju.

### 4.8. Piirde soojusjuhtivuse mõõtmine

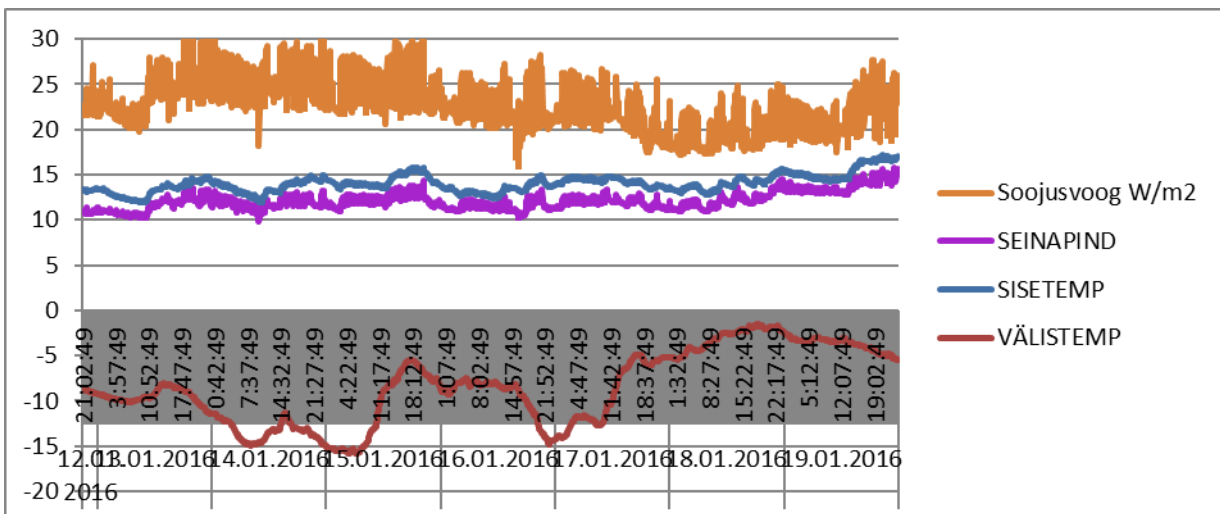
Soojusvoogu antud töös mõõdeti seadmega Alamen 2890-9 (joonis 4.19), mis on firma Ahlborn toode. Soojusvoogu mõõdeti hoone loodeküljel, maja köögis seinatüüp välissein 1 puhul. Mõõtmisi teostati perioodil 12.01-20.01.2016. Mõõteperioodi keskmine soojusläbivus saadi 1,04 W/(m<sup>2</sup>K). Siseõhu-, välisõhu- ja pinnatemperatuuride ning soojusvoo ja mõõtmisandmete põhjal arvatud soojusläbivuse tulemused on näha joonistel 4.20 ja 4.21.



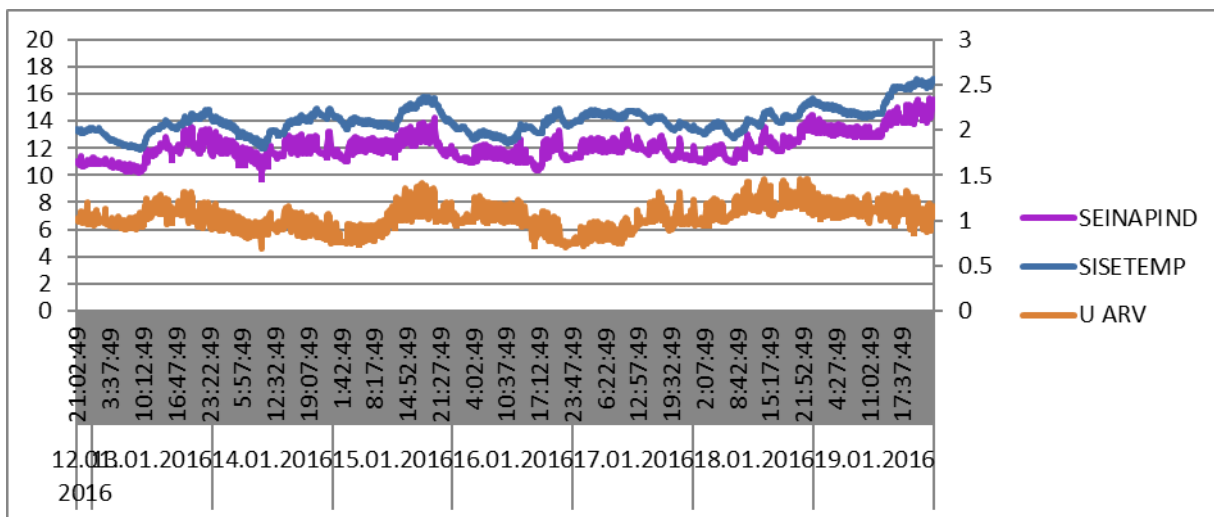
**Joonis. 4.19.** Alameno seade köögiseinal

Lisaks soojusvoole mõõdeti ka sisetemperatuuri, milleks kasutati Alameno sensorit FHAD462. Välistemperatuuri andmed on võetud Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi andmeid. Soojavoo mõõtmiseks kasutati soojavoo plaati mõõtmetega 25x25cm, mis paigaldati seinale.

Alameno mõõteseade tuleb enne mõõtmisi programmeerida ja määrata mõõtmise algus ja intervall. Programm koostati arvutitarkvaraga „AMR Control 5.14“, mida kasutati ka andmete mahalgemiseks. Mõõtettsükliks sai valitud 5 minutit. Andmete töötlemiseks kasutati programmi MS Office Excel. Mõõtmistulemusena saadud sisetemperatuuride ja soojusvoo põhjal arvutati piirde välissein 1 soojusjuhtivus.



**Joonis 4.20** Välissein 1 soojusvoog jaanuaris



**Joonis 4.21** Välissein 1 U-arv jaanuaris

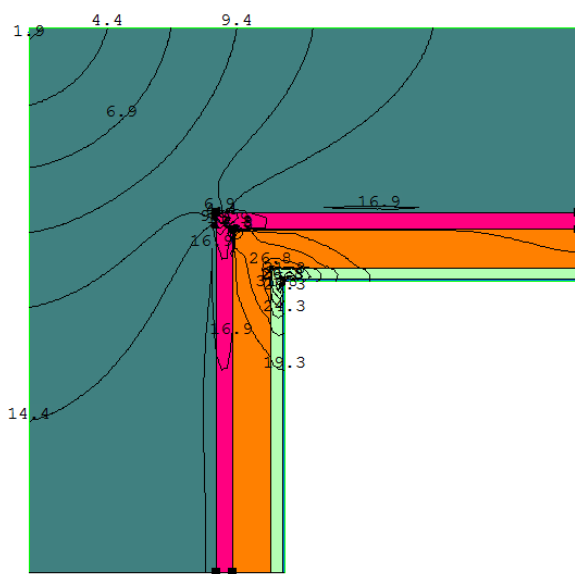
#### 4.9. Võimalikud lahendused mugavustunde suurendamiseks

Külma maakiviseina U-arvu parandamiseks sai kaalutud maakivi ja telliseina vahelise mittetuulutatava õhuga täitmist tselluvillaga või termovahuga. Antud konstruktsioonid arvutati üle programmiga Therm 7.4. Hetkekonstruktsiooni välissein 1 U-arvuks on  $0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ning temperatuuri kõikumise jooned on näha joonisel 4.24. Kui konstruktsiooni õhkvahe täita tselluvillaga, alaneks U-arv  $0,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ -ni ning kui õhkvahe täita termovahuga alaneks U-arv  $0,463 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Vastavalt väheneks ka soojuserikadu kütava pinna ruutmeetri kohta, mis tselluvilla puhul annaks võitu  $0,46 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ehk oleks kokku  $3,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ning termovahu puhul oleks võit  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ehk kokku  $3,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

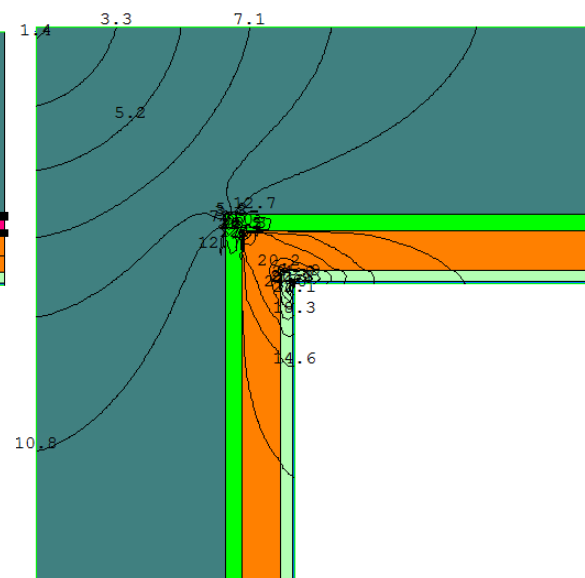
Joonisel 4.22 on toodud temperatuuri kõikumise jooned tselluvillga soojustamise puhul ning joonisel 4.23 termovahuga soojustamise puhul. Joonistelt on näha, et soojuslähivuse alanemisega suureneb kondenseerumise oht ning vesi ei pruugi konstruktsioonist välja kuivada.

Hoone saaks küll energiatõhusam, kuid soojapidavast hoonest oleks asi endiselt kaugel. Seega vähem riskantne lahendus oleks paigaldada alumisele korrusele ka juba eenevates peatükkides mainitud põrandaliistküte, mis vähendaks külmasildadest tingitud ebamugavustunnet ruumis.

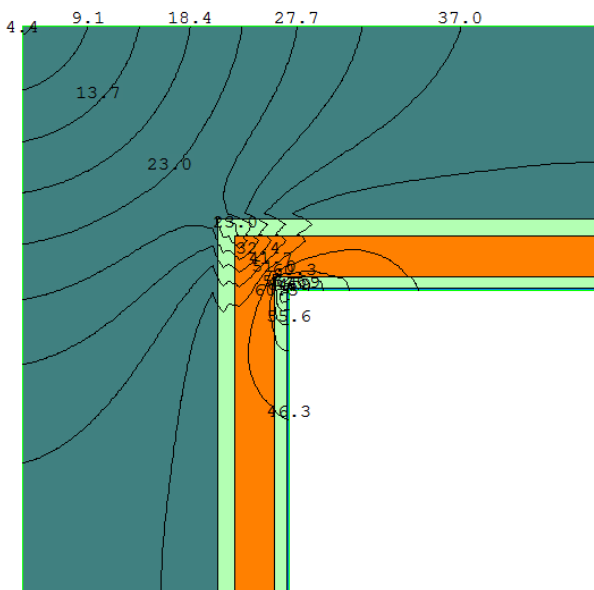
Maakivisein on arhitektuurses mõttes väga ilus ja efektne sein. Samuti on maakivi omadus suvel hoida toas jahedat ja sügisel veel suvesooja toas igati suur boonus. Siiski antud seina soojapidavaks saamisel peaks nägema liialt palju vaeva, kuna mõistlik oleks konstruktsioon täiesti ümber ehitada ja kaaluda veel teistsuguseid soojustuslahendusi. Nagu ka teooria osas välja toodi, oleks maakivi seina puhul mõistlik ehitada müüri sisse uus maja.



**Joonis 4.22** Välisseina nurk tselluvillaga



**Joonis 4.23** Välisseina nurk termovahuga



**Joonis 4.24.** Välisseina nurga hetkekonstruktsioon

## 5. KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärgiks oli välja selgitada Saadjärve mõisa kärnerihoone energiatõhusus kui elumajana kasutusel oleva maakivimaja energiatõhusus. Töö käigus anti hinnang maakivist seinale ning selle sobivusele elumaja konteksti. Samuti pakuti välja lahenusi soojusliku mugavustunde suurendamiseks muinsuskaitse all kuuluva maakivimaja jaoks.

Töö käigus viidi hoones läbi termovisioon külmasildade olemasolu ja asukohtade väljaselgitamiseks. Standardite põhjal arvutati välja piirdekonstruktsioonide soojusjuhtivus ning leiti välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna ruutmeetru kohta. Teostati olulisemate sõlmede joonkülmasildade konduktantside ja temperatuurivälja arvutus programmiga Therm 7.4. Kontrolliti välispiirete kondenseerumise ohtu Glaseri meetodil ning analüüsiti tulemusi.

Võrreldes hetkel Eestis kehtivate energiatõhususe miinimumnõuetega on välispiirete soojusjuhtivuste väärtused pigem normist suuremad. Energiatõhususnõuetele vastaksid konstruktsioonid välissein 2 ja mansardkatuse alla jääv sein. Maakivisein, välissein 1 on U-arvuga  $0,96 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ , energiatõhusa seina miinimum oleks  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ , samuti võiks

tulevkus välja vahetada aknad, millel oleks parema U-arvuga klaasprofiil. Põrandad ja pööninglagi jäävad energiatõhususelt samuti alla normi. Kui pööningule saab lisada puistevilla, siis põrandate soojustamine on mahukam ja keerulisem töö. Lihtsam oleks lisakütna kasutada nt põrandaliistkütet, et vähendada külmasildadest tingitud ebamugavustunnet ruumis.

Glaseri arvutuste kohaselt ei toimu kondenseerumist vaid mansardkatuse puhul. Ülejäänud konstruktsioonides, välissein 1, välissein 2 ja pööninglagi, toimub kondenseerumine, mis olenevalt kondenseerumisperioodi pikkusest kuivab välja. Kõige problemaatilisem on maakivisein, välissein 1, mille puhul jääb kolme kuulise kondenseerumisperioodi puhul kondens piirdesse, lühema perioodi puhul kuivab välja.

Suurim joonsoojusjuhtivus on maakiviseina välisnurgas, milleks on 1,255 W/(mK), seega on suurim joonkülmasildadest tingitud lisakonduktants sama sõlme puhul, milleks on 55,3 W/K. Kokku on geomeetristest külmasildadest tingitud lisakonduktants 117,8 W/K ning summaarne soojuserikadu tuleb 438 W/K. Summaarne soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta on 3,84 W/(m<sup>2</sup>K) ja soojuskadu läbi piirete on 377,8 kWh/(m<sup>2</sup>a). Ilmselt pole tegemist energiatõhusa hoonega, kui hetkel kehtivad energiatõhususnõuete kohaselt peab suuremahuliselt rekonstrueeritava väikeelamu energiatõhususarv jääma alla 210 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Termokaameraga teostati mõõtmisi kahel korral, novembris ja jaanuaris. Termovisiooni tulemused olid läbi kogu maja üsna sarnased. Peamised külmasilla kohad olid akende ümber ja välisseinte nurkades, samuti põranda perimeetri ümber, eriti nurkades. Temperatuuriindeksid olid siiski vana maja kohta suhteliselt head, kui lugeda normaalseks indeksiks >0,8. Kui novembris oli konstruktsiooni temperatuuriindeks piiripeal, siis jaanuaris langes see kindlasti alla normi ning viitas hallituse ja kondenseerumise ohule.

Võrreldes termovisiooni põhjal arvutatud temperatuuriindeksitega, on Thermi järgi arvutatud temperatuuriindeksid mõnevõrra erinevad. Therm ei arvesta küttekehade mõju, seega on välissein-välissein ja välissein-pööninglagi liitumise puhul temperatuuriindeksid mõnevõrra halvemad, samas akna-seina sõlme puhul olid tulemused paremad.



Antud töös mõõdeti ka hoone köögis, seinatüübil välissein 1, soojusvoogu. Mõõteperioodi keskmiseks soojusläbivuseks seadmelt saadud andmete põhjal tuli  $1,04 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , mis on  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  võrra halvem kui arvutuslik ning peegeldab kindlasti reaalsemat olukorda. Graafikutelt tuli hästi välja, et mida madalam oli välistemperatuur, seda suurem oli soojusvool läbi seina.

Lisasoojustuslahendustest sai välja pakutud olemasoleva mittetuulutatava õhkvahe täitmine tselluvilla või termovahuga. Mõlemad lahendused alandaksid oluliselt seina U-arvu (eriti termovaht), siiski suureneb antud lahendustega ka kondenseerumise oht. Kuna seina soojustamine pakutud viisidel ideaalset tulemust ei anna, oleks mõistlik kaaluda teistsuguseid lahendusi, mis aga nõuaks konstruktsiooni olulist ümberehitamist. Antud hoonet aga täielikult ümber ehitada ei soovita, seega oleks mõistlik kaaluda lisaküttelahendusi.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. EVS 908-1:2010 Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire. 2010. Eesti Standardikeskus.
2. EVS-EN ISO 13370:2008 Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid. 2008. Eesti Standardikeskus.
3. EVS-EN ISO 10211:2008 Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid. 2008. Eesti Standardikeskus.
4. Sakk, I. Eesti mõisad. Reisijuht. Saadjärve lk 220. Tallinn 2002.
5. Praust, V. 200 Eesti kaunimat mõisa. Saadjärve mõis lk 204. Tallinn 2012
6. Saadjärve mõisa kärnerimaja. Kultuurimälestiste riiklik register.  
Kättesaadav:  
<http://register.muinas.ee/public.php?menuID=monument&action=view&id=7287>
7. T.Torim. Rehevälja elamu rekonstrueerimisprojekt. 2000
8. J. Metslang, Vana maamaja käsiraamat. Kiviseina lisasoojustamine lk 157. Tammeraamat 2012.
9. K. Õiger. Ehitiste renoveerimine. Seinaseespoolse lisasoojustamise viisid lk 168-170. TTÜ kirjastus 2015.
10. J. Ahvonen, Oma kodu luubi alla. Käsiraamat kodu remontijale ja ehitajale. Tarbekirjanduse OÜ 2003.
11. A.Lindpere. Puitkiudvill ehk tselluvill. Äripäev 03.11.2003  
Kättesaadav: [http://www.soojustus.ee/veel\\_tselluvillast](http://www.soojustus.ee/veel_tselluvillast) (26.07.2015)
12. EVS-EN ISO 10456:2008 EHITUSMATERJALID ja –TOOTED. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Projekteerimisel kasutatavad tabelväärtused. 2008. Eesti Standardikeskus.
13. Therm. Soojustamine  
Kättesaadav: <http://therm.ee/soojustusmaterjalid/37-2/> (12.02.16)
14. Thermas. Mis on Aminotherm?  
Kättesaadav: <http://www.termas.ee/> (12.02.16)
15. Soojuspumbad. Tooted. Põrandaliistküte.  
Kättesaadav: <http://www.soojuspumbad.com/tooted/porandaliistkute/> (01.05.16)

16. Hoone energiatõhususe miinimumnõuded, Vabariigi Valitsuse 03. Juuni 2015. a. määrus nr. 55 (RT I 05.06.2015, 15).  
Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015> (23.07.2015)
17. Hoonete energiatõhusus. Energiatõhususe miinimumnõuded. Majandus ja kommunikatsiooni ministeeriumi kodulehekülg.  
Kättesaadav: <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus> (23.07.2015)
18. T. Masso. Ehitusfüüsika ABC. Soojus, niiskus, müra. Külmasillad lk 34. Ehitame kirjastus 2012.
19. Kalamees, T. Ehitusfüüsika seos hoone energiatõhususega. Külmasillad. 23 mai 2012.  
Kättesaadav:  
[http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Targo%20Kalamees\\_Konspekt%2023.05.2012.pdf](http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Targo%20Kalamees_Konspekt%2023.05.2012.pdf) (27.07.2015)
20. Kalamees, T. Ehitusfüüsika seos hoone energiatõhususega. Hoonepiirete õhulekked. 23 mai 2012.  
Kättesaadav:  
[http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Targo%20Kalamees\\_Konspekt%2023.05.2012.pdf](http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Targo%20Kalamees_Konspekt%2023.05.2012.pdf) (27.07.2015)
21. IVT Center. Termograafia.  
Kättesaadav: <http://www.termograaf.ee/> (29.07.15)
22. Energiahoid OÜ. Termograafia.  
Kättesaadav:  
<http://www.energiahoid.ee/index.php?6%26%2310216%3B=est&m1=3&m2=6>  
(29.07.2015)
23. Hüdroisolatsioon. Niiskus ehituskonstruksioonides. Niiskuse kondenseerumine piiretes.  
Kättesaadav: <http://hydroisolatsioon.edicypages.com/539585162695/niiskuse-kondenseerumine-piiretes> (29.07.15)
24. Metsamägi, M., Lasn, P. Materjalide soojuserijuhtivus ning veeauru difusiooniomadusi kirjeldavad näitajad. TTÜ Tartu Kolledž. 12 lk. (12.02.16)

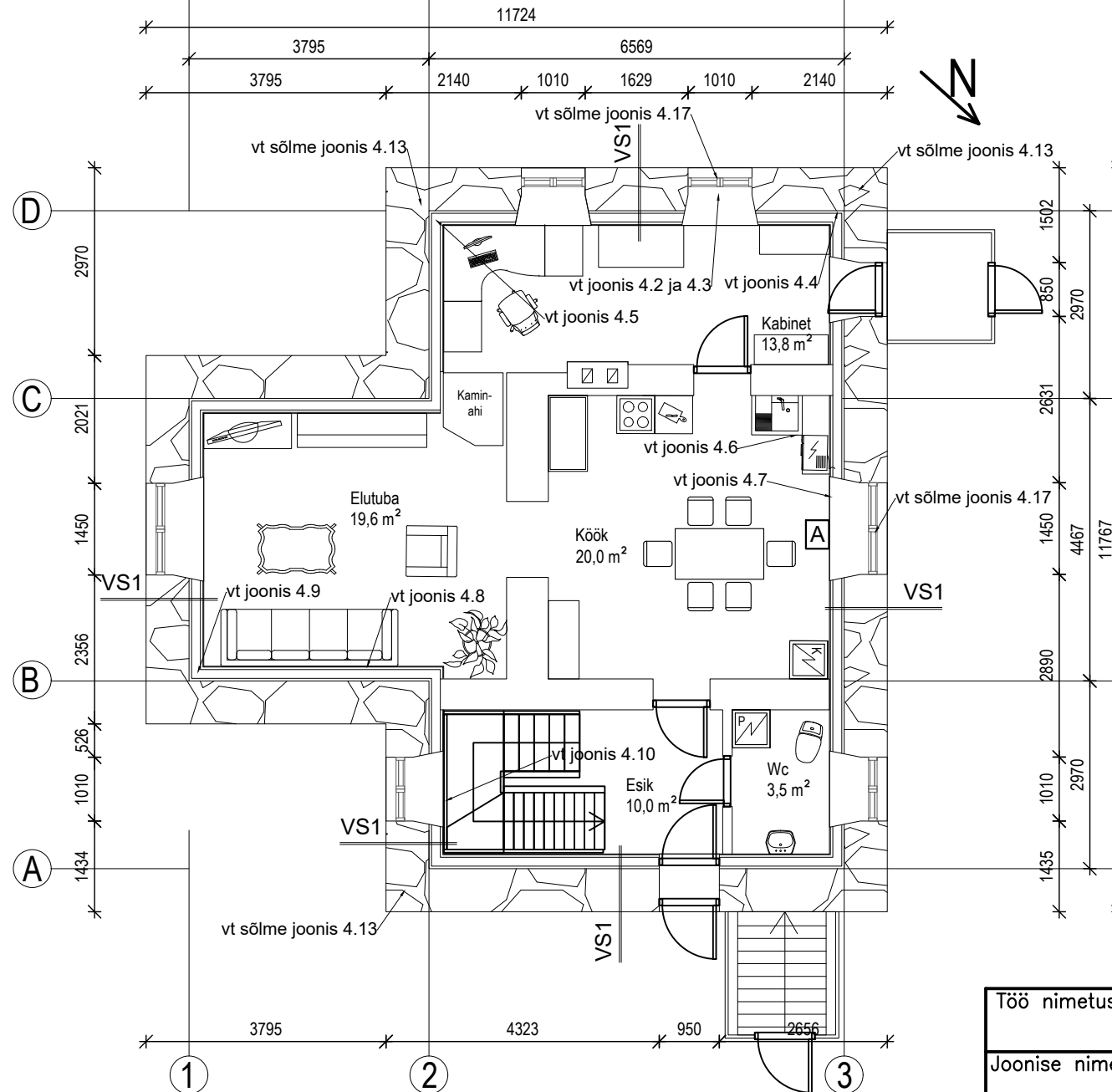
25. Miljan, M.-J. 2007. Kohalike soojusisolatsioonimaterjalide kasutamine piirdekonstruktsioonides. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ.
26. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, Majandus- ja kommunikatsiooni ministri 05. juuni 2015. a. määrus nr. 58.  
Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021> (05.02.2016)
27. T.Klamees, T.Tark; Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine. Juhend väikeelamute projekterijale, ehitajale ja tellijale. Välispiirete summaarne soojuserikadu. Tallinn 2012 (05.02.2016)
28. Kredex. Energiatõhususest. Kraadpäevad.  
Kättesaadav: <http://kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4/> (05.02.2016)
29. Piirfeld, A. Soojustatud välisseina hingamine ja selle arvutusmeetodika. Tarmatrade.  
Kättesaadav:  
<http://www.tarmatrade.ee/File/FASSAADIDE%20HINGAMISE%20ARVUTUS.pdf>  
(29.01.16)
30. Laerence Berkley National Laboratory, THERM 2.0 Program Description, 1998  
Kättesaadav: <https://windows.lbl.gov/software/therm/Docs/Therm2.pdf>  
(31.01.16)
31. Flir. Flir Ex-Series Technical specifications  
Kättesaadav: <http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=61456> (05.02.2016)
32. Kalamees, T. Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. 2011. Tallinna Tehnikaülikooli Ehitusteaduskond.  
Kättesaadav: [http://www.kredex.ee/public/Uuringud/TTY\\_Puitelamute\\_uuring.pdf](http://www.kredex.ee/public/Uuringud/TTY_Puitelamute_uuring.pdf)  
(05.02.2016)
33. Almemo Manual. Holzkirchen. Germany, 2009

## LISAD

## **LISA 1. Saadjärve Mõisa kärnerihoone joonised**

- |                         |       |    |
|-------------------------|-------|----|
| 1. I korruse põhiplaan  | 1:100 | A3 |
| 2. II korruse põhiplaan | 1:100 | A3 |
| 3. Vaated               | 1:100 | A3 |

# I-KORRUSE PÕHJAPLAAN

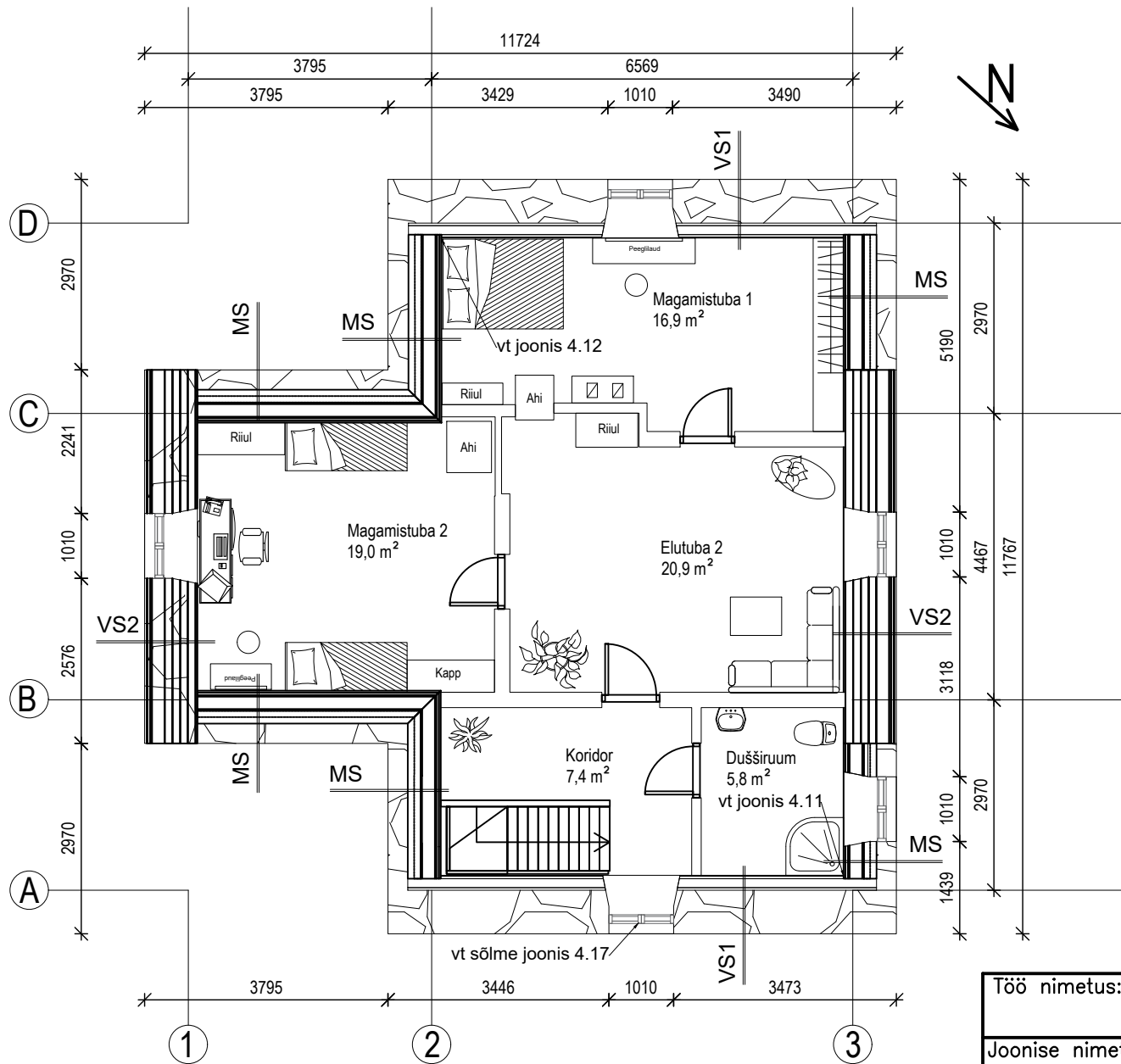


VS1- välissein 1  
 A -Alameno soojuvoo andur

Töö nimetus:		Saadjärve mõisa kärnerihoone		
Joonise nimetus:	I korruse põhiplaan	TÄHIS	LEHT	LEHTI
	M 1:100			
KOOSTAS	K.TORIM	mai, 16	Eskiis	1 3

# II-KORRUSE PÕHJAPLAAN

VS1- välissein 1  
 MS- mansardkorrus  
 VS2- välissein 2



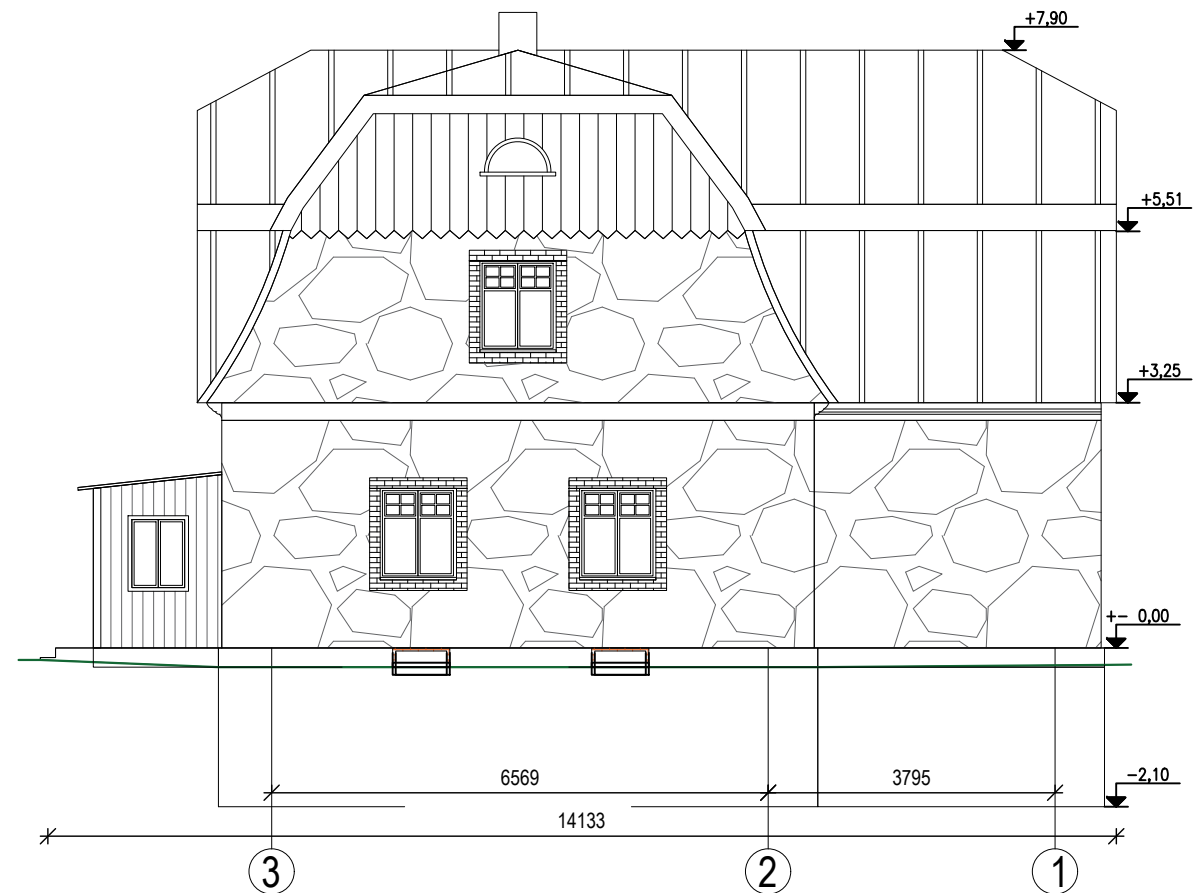
Töö nimetus:		Saadjärve mõisa kärnerihoone		
Joonise nimetus:	II korruse põhiplaan	TÄHIS	LEHT	LEHTI
	M 1:100			
KOOSTAS	K.TORIM	mai, 16	Eskiis	2 3



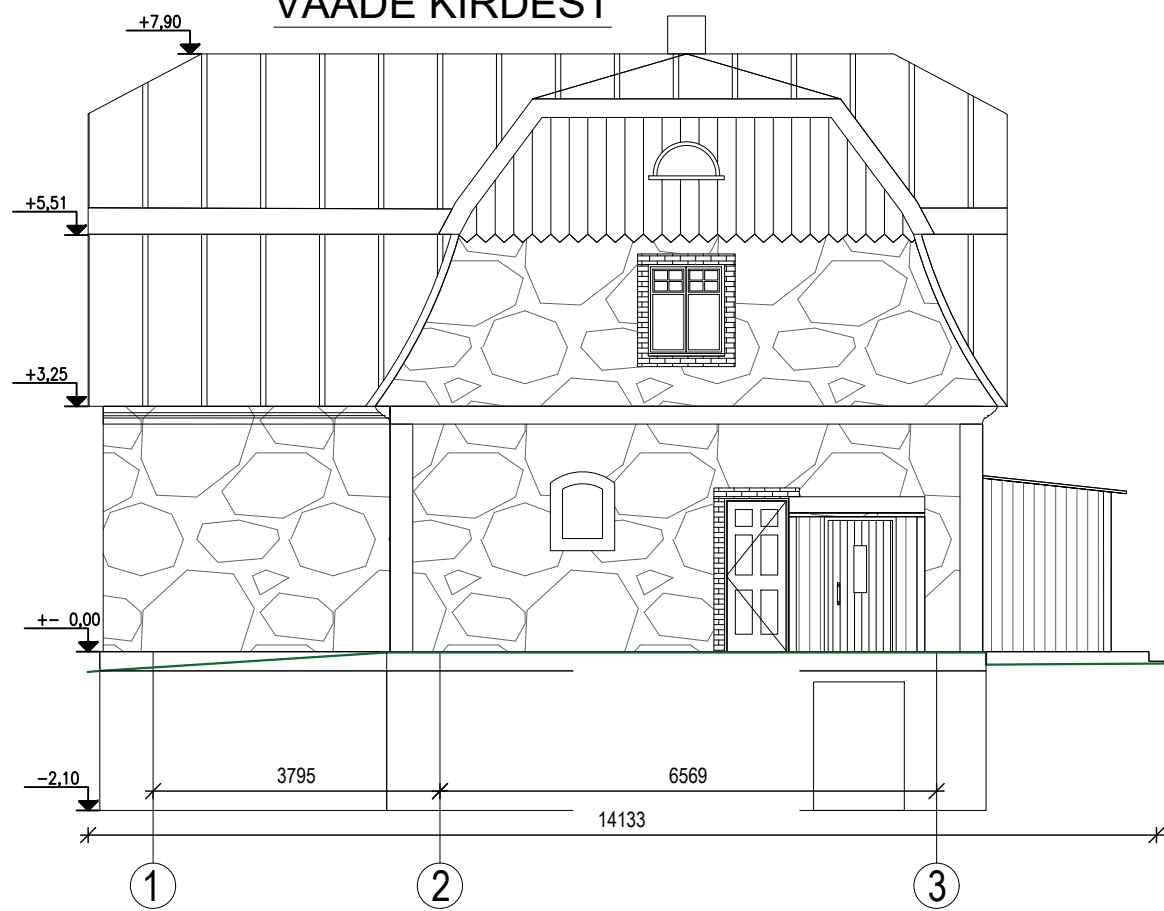
VAADE LOODEST



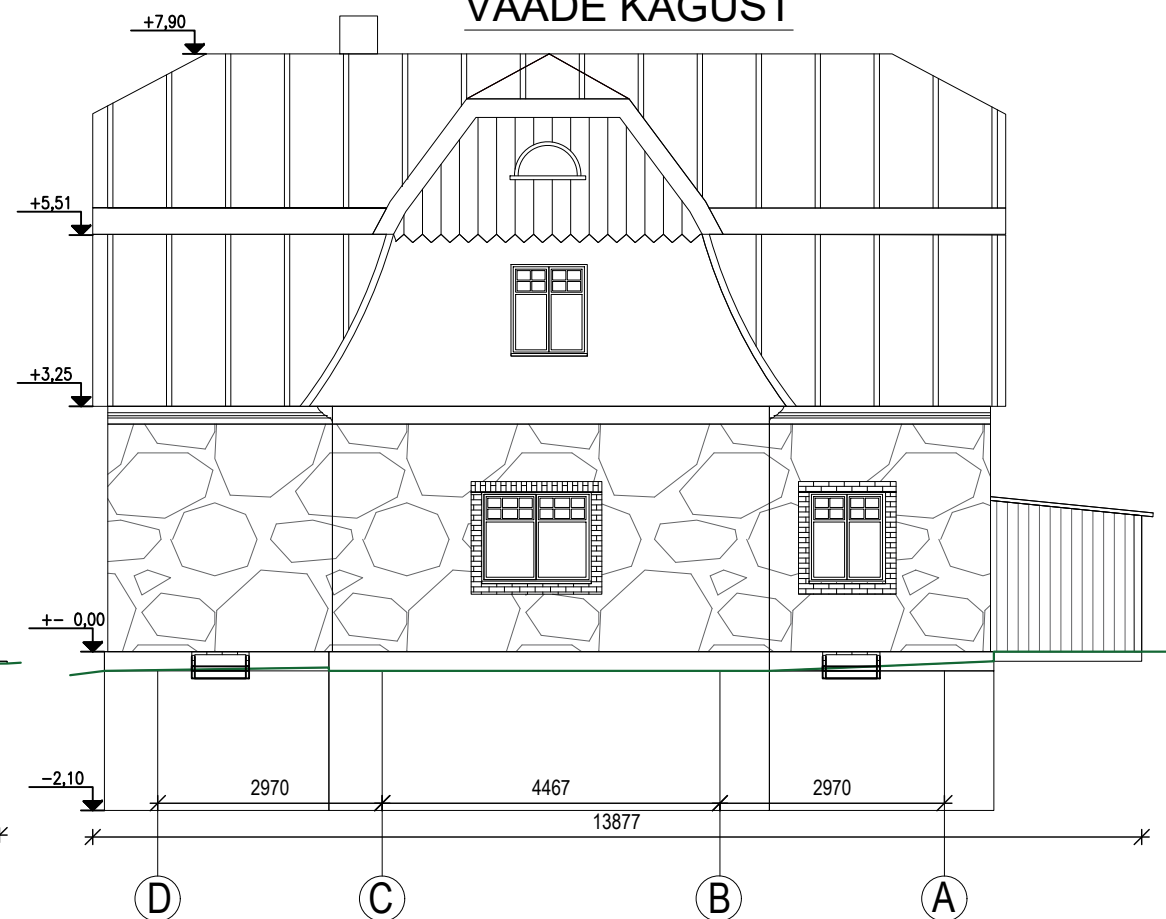
VAADE EDELAST



VAADE KIRDEST



VAADE KAGUST



Töö nimetus:		Saadjärve mõisa kärnerihoone		
Joonise nimetus:		Vaated	TÄHIS	LEHT
		M 1:100	Eskiis	3
KOOSTAS	K.TORIM	mai, 16	3	3

## LISA 2. Välisseina soojusjuhtivuse arvutus

Arvutustes kasutatud materjalide soojuseri juhtivused on võetud tabelist 3.1. ja ehitusmaterjalide paksused piirete kirjeldustest. Õhukeste kihtide (aurutõkkepaber, pingupapp, tapeet) soojuseri juhtivusi pole arvestatud.

**Mansardkorrus** (Kipsplaat 13mm, õhk/metallkarkass 40 mm, laudis 22 mm, puitkarkass/linaluu 200 mm, laudis 22 mm, puitroov 200 mm/ kivivill 200 mm, roov ja õhkvahe, katuseplekk 0,5 mm)

Soojustuse sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$\begin{aligned} R_{linaluu} &= 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,047} + \frac{0,003}{1} + 0,13 \\ &= 10,07 \frac{m^2 \times K}{W} \end{aligned}$$

Puitkarkassi sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2) :

$$\begin{aligned} R_{puidu\ sektsioon} &= 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,003}{1} + 0,13 \\ &= 3,89 \frac{m^2 \times K}{W} \end{aligned}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, vastavalt valemile (5):

$$R'_T = \frac{1,57 + 6,03}{\frac{1,57}{3,89} + \frac{6,03}{10,07}} = 7,582 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus, vastavalt valemile (7):

$$R_{sojustus\ ja\ puitkarkass} = \frac{1,57 + 6,03}{\frac{1,57}{\left(\frac{0,2}{0,13} + \frac{0,2}{0,13}\right)} + \frac{6,03}{\left(\frac{0,2}{0,04} + \frac{0,2}{0,047}\right)}} = 6,542 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, vastavalt valemile (6):

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + 0,16 + 6,542 + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,003}{1} + 0,13 = 7,352 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus, vastavalt valemile (4):

$$R_T = \frac{7,582 + 7,352}{2} = 7,467 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Suhteline arvutusviga, vastavalt valemile (8):

$$e = \frac{7,582 - 7,352}{2 \times 7,467} \times 100\% = 0,015\%$$

Piirde soojusjuhtivus, vastavalt valemile (1):

$$U = \frac{1}{7,467} = 0,13 \frac{W}{m^2 \times K}$$

40 mm paksuse õhu/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur, vastavalt valemile (11):

$$\Delta U_{g \text{ 40 mm õhk/sõrestik}} = 0,01 \times \left(\frac{6,542}{7,467}\right)^2 = 0,0077 \frac{W}{m^2 \times K}$$

40 mm paksuse õhukihi õhujuhtivuse parandustegur, vastavalt valemile (12):

$$\Delta U_{a \text{ 40 mm õhk/sõrestik}} = 0,005 \times \left(\frac{6,542}{7,467}\right)^2 = 0,0038 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusjuhtivus, vastavalt valemile (9):

$$U_c = 0,13 + 0,0077 + 0,0038 = 0,1415 \frac{W}{m^2 \times K}$$

### LISA 3. Põrand pinnasel soojusjuhtivuse arvutus

**Põrand 2** (Põrand pinnasel: parkett 5 mm, alusmaterjal 3 mm, OSB plaat 30 mm, talad 200x300 s 1000 mm/vahel roovitus (ja õhk) 50 mm, ja EPS 100 mm, kuiv liiv )

Põranda võrdväärne paksus, vastavalt valemile (20):

$$d_g = 0,934 + 2(0,13 + 1,997 + 0,13) = 5,45$$

$d_t (5,45) > B'(2,235)$  , seega on põrand hästi soojustatud ning põranda soojusjuhtivus arvutatakse valemiga (24)

$$U = \frac{2}{0,47 * 2,235 + 5,45} = 0,31$$

#### LISA 4. Pööningu põranda soojusjuhtivuse arvutus

Arvutustes kasutatud materjalide soojuseri juhtivused on võetud tabelist 3.1. ja ehitusmaterjalide paksused piirete kirjeldustest. Õhukese kihi (aurutõkkepaber) soojuseri juhtivust pole arvestatud.

**Pööningu põrand** (laetalade samm 900 mm, viimistluseks kipsplaat)

Soojustuse sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_{\text{soojustuse sektsioon}} = 0,10 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,3}{0,047} + 0,2 + 0,04 = 6,944 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Sõrestikupostide sektsiooni soojustakistus, vastavalt valemile (2):

$$R_{\text{sõrestiku sektsioon}} = 0,10 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,3}{0,13} + 0,2 + 0,04 = 2,869 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, vastavalt valemile (6):

$$R'_T = \frac{0,2 + 0,8}{\frac{0,2}{2,869} + \frac{0,8}{6,944}} = 5,408 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi soojustakistus, vastavalt valemile (8):

$$R_{300 \text{ mm soojustus/sõrestik}} = \frac{0,2 + 0,8}{\frac{0,2}{\left(\frac{0,3}{0,13}\right)} + \frac{0,8}{\left(\frac{0,3}{0,047}\right)}} = 4,72 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, vastavalt valemile (7):

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,022}{0,13} + 4,72 + 0,2 + 0,04 = 5,308 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus, vastavalt valemile (4):

$$R_T = \frac{4,717 + 5,308}{2} = 5,012 \frac{m^2 \times K}{W}$$

Suhteline arvutusviga, vastavalt valemile (9):

$$e = \frac{5,408 - 5,012}{2 \times 5,012} \times 100\% = 3,95 \%$$

Piirde soojusjuhtivus, vastavalt valemile (1):

$$U = \frac{1}{5,012} = 0,20 \frac{W}{m^2 \times K}$$

500 mm paksuse soojustuse/sõrestiku kihi õhupilude parandustegur, vastavalt valemile (12):

$$\Delta U_{g \text{ 500 mm soojustus/sõrestik}} = 0,01 \times \left(\frac{4,717}{5,012}\right)^2 = 0,0089 \frac{W}{m^2 \times K}$$

500 mm paksuse soojustuskihi õhujuhtivuse parandustegur, vastavalt valemile (13):

$$\Delta U_{a \text{ 500 mm soojustus/sõrestik}} = 0,005 \times \left(\frac{4,717}{5,012}\right)^2 = 0,0044 \frac{W}{m^2 \times K}$$

Korrigeeritud piirdetarindi soojusjuhtivus, vastavalt valemile (10):

$$U_c = 0,2 + 0,0089 + 0,0044 = 0,213 \frac{W}{m^2 \times K}$$

## LISA 5. Välispiirde kondenseerumisriski ja väljakuivamise arvutus Glaseri meetodiga

Arvutustes kasutatud materjalide difusioonitakistuskonstandid ja aurutakistused on võetud tabelist 3.1.

### Mansardkorrus

Kondenseerumine

Kliimatingimused: sees  $20^{\circ}\text{C}$  ja  $\text{RH} = 50\%$   $\rightarrow p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

väljas  $-10^{\circ}\text{C}$  ja  $\text{RH} = 80\%$   $\rightarrow p_a = 0,8 \cdot 259,7 = 207,76 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

kondenseerumisperiood 90 päeva = 2160 h

**Tabel L1.** Välisseina kondenseerumise arvutustabel

Mansardkorrus

välis temp    sisetemp

-10                    20

Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	
Välispind			0.04	0.40	0.12	-9.88
tuuletõke	0.003	1	0.00	0.03	0.01	-9.87
kivivill	0.2	0.047	4.26	42.64	12.79	2.92
laudis	0.022	0.13	0.17	1.70	0.51	3.43
linaluu	0.2	0.04	5.00	50.11	15.03	18.46
laudis	0.022	0.13	0.17	1.70	0.51	18.97
õhk	0.04	0.025	0.16	1.60	0.48	19.45
kipsplaat	0.013	0.25	0.05	0.52	0.16	19.61
Sisepind			0.13	1.30	0.39	20.00

R(m2K)/W    9.98    100.00  
 U W/m2K    0.10

kontroll

välisõhk  
 välispind  
 kihtide  
 vahel  
 sisepind  
 siseõhk

P<sub>max</sub>  
(Pa)    S<sub>d</sub>  
summa

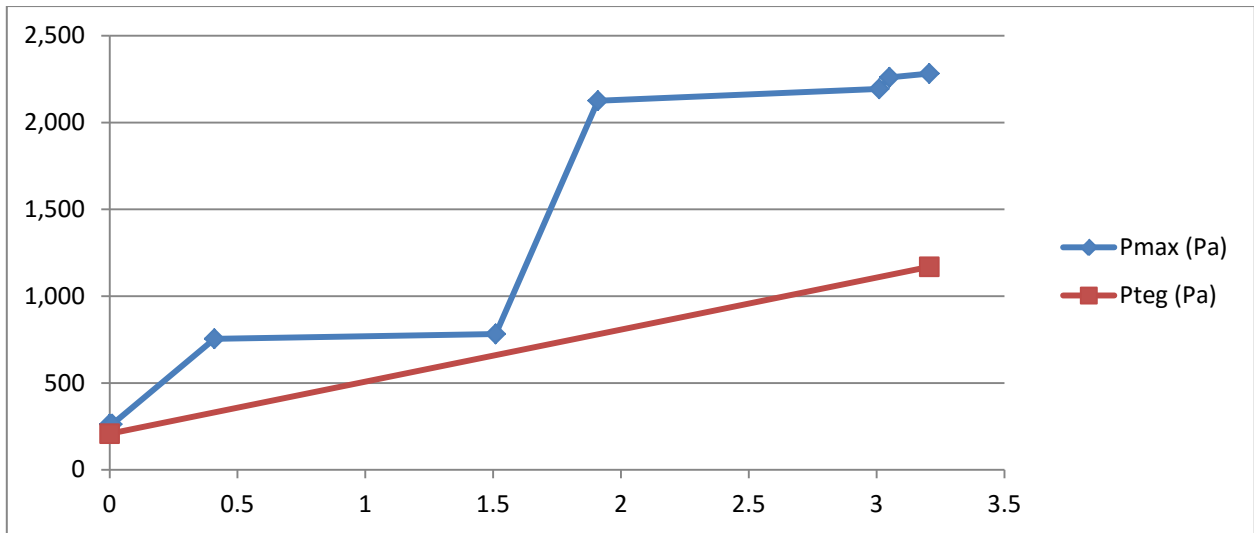
μ	S <sub>d</sub>	P <sub>teg</sub> (Pa)	P <sub>max</sub> (Pa)	S <sub>d</sub> summa
		207.9	260	
		207.9	263	0
	0.01		263	0.01
2	0.4		754	0.41
50	1.1		782	1.51
2	0.4		2,125	1.91
50	1.1		2,194	3.01
1	0.04		2,260	3.05
12	0.16		2,282	3.21
		1169.1	2,338	

3.21

veeauuru osarõhud sees ja väljas

2,338	260	
50	80	
1169	208	961.19

tegelik rõhk	S <sub>d</sub> summa
207.9016577	0
1169.094815	3.206



**Joonis 1.** Välisseina kondenseerumise graafik

Graafiku järgi mansardkorruse seinas kondenseerumist ei teki.

## Välissein 2

- Kondenseerumine

Kliimatingimused: sees  $20^{\circ}\text{C}$  ja  $\text{RH} = 50\%$   $\rightarrow p_1 = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \cdot 10^3 \text{ Pa}$   
väljas  $-10^{\circ}\text{C}$  ja  $\text{RH} = 80\%$   $\rightarrow p_a = 0,8 \cdot 259,7 = 207,76 \cdot 10^3 \text{ Pa}$   
kondenseerumisperiod 90 päeva = 2160 h

Kondenseerumispunkti väärtus vastavalt graafikust ja tabelist  $p_{sw} = -6,19^{\circ}\text{C} = 363\text{Pa}$



**Tabel L2.** Välisseina kondenseerumise arvutustabel

Välissein 2

välis-temp    sisetemp

-10            20

Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	-10
Välispind			0.04	0.63	0.19	-9.81
krohv	0.002	0.7	0.00	0.05	0.01	-9.80
tellis	0.12	0.6	0.20	3.17	0.95	-8.85
õhk	0.12		0.16	2.53	0.76	-8.09
tellis	0.12	0.6	0.20	3.17	0.95	-7.14
tellis	0.12	0.6	0.20	3.17	0.95	-6.19
linaluu	0.2	0.04	5.00	79.19	23.76	17.57
laudis	0.022	0.13	0.17	2.68	0.80	18.38
õhk	0.04		0.16	2.53	0.76	19.14
kipsplaat	0.013	0.25	0.05	0.82	0.25	19.38
Sisepind			0.13	2.06	0.62	20.00

R(m2K)/W    6.31    100.00  
 U W/m2K    0.16

kontroll

välisõhk  
 välispind  
 kihtide  
 vahel

sisepind  
 siseõhk

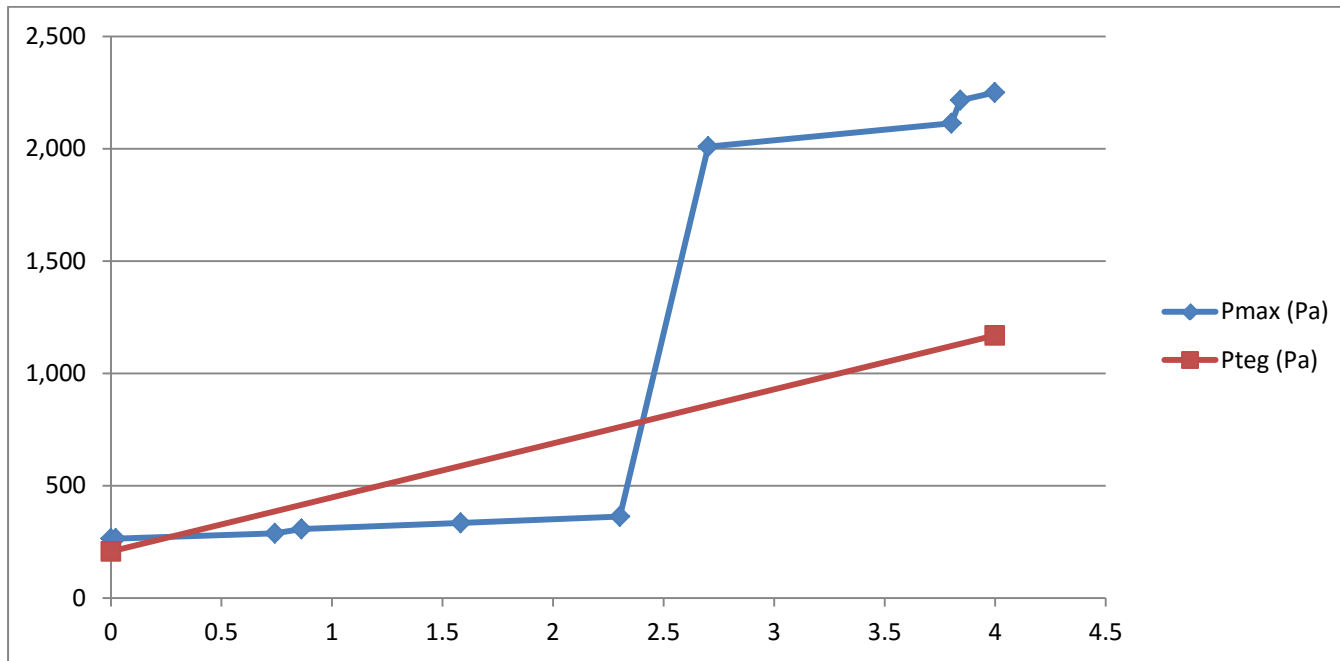
$\mu$	$S_d$	$P_{teg}$ (Pa)	$P_{max}$ (Pa)	$S_d$ summa
		207.9	260	0
11	0.02		265	0.022
6	0.72		288	0.742
1	0.12		308	0.862
6	0.72		334	1.58
6	0.72		363	2.30
2	0.4		2,009	2.70
50	1.1		2,113	3.80
1	0.04		2,216	3.84
12	0.16		2,250	4.00
		1169.1	2,338	

2.88

veeauru osarõhud sees ja väljas

2,338	260	
50	80	
1169	208	961.19

tegelik rõhk	$S_d$ summa
207.9016577	0
1169.094815	3.998



**Joonis L2.** Välisseina kondenseerumise graafik

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seina puhul, vastavalt valemile (30):

Kondenseerumispinnast väljaspool:

$$(0,02 + 0,72 + 0,12 + 0,72 + 0,72) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 3,45 \cdot 10^6 \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{kg}$$

Kondenseerumispinnast seespool:

$$(0,4 + 1,1 + 0,04 + 0,16) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 2,55 \cdot 10^6 \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{kg}$$

Difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda, vastavalt valemile (33):

$$i_i = \frac{1169 - 390}{2,55 \cdot 10^6} = 305,49 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, vastavalt valemile (34):

$$i_a = \frac{390 - 208}{3,45 \cdot 10^6} = 52,75 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Kondenseerunud vee kogus, vastavalt valemile (32), kui kondenseerumisperiood on 3 kuud:

$$W_T = 2160 \cdot (305,49 - 52,75) \cdot 10^{-6} = 0,55 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimus kondenseerumisel:

$$W_T = 0,55 \frac{kg}{m^2} < 1,0 \frac{kg}{m^2}$$

- Väljakuivamine

Kliimatingimused: sees 12°C ja RH = 70% →  $p_i = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$  Pa

väljas 12°C ja RH = 70% →  $p_a = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$  Pa

kondenseerumiskohas 12°C ja RH = 100% →  $p_{sw} = 1402$  Pa

kuivamisperiood 90 päeva = 2160 h

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast ruumi, vastavalt valemile (33):

$$i_i = \frac{1402 - 981,4}{2,55 \cdot 10^6} = 164,94 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, vastavalt valemile (34):

$$i_a = \frac{1402 - 981,4}{3,45 \cdot 10^6} = 121,91 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Välja kuivava vee kogus, vastavalt valemile (35):

$$W_V = 2160 \cdot (164,94 + 121,91) \cdot 10^{-6} = 0,62 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimus välja kuivamisel:

$$W_V = 0,62 \frac{kg}{m^2} > W_T = 0,55 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimused on rahuldatud, sest väljakuivava vee hulk on suurem kui kondenseeruva vee hulk.

### Pööningu põrand

- Kondenseerumine

Kliimatingimused: sees 20°C ja RH = 50% →  $p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \cdot 10^3$  Pa

väljas -10°C ja RH = 80% →  $p_a = 0,8 \cdot 259,7 = 207,76 \cdot 10^3$  Pa

kondenseerumisperiood 90 päeva = 2160 h

Kondenseerumispunkti väärtus vastavalt graafikust ja tabelist  $p_{sw} = -9,09^\circ\text{C} = 310$  Pa

**Tabel L3.** Pööning põranda kondenseerumise arvutustabel

Pööningu põrand välis temp sisetemp

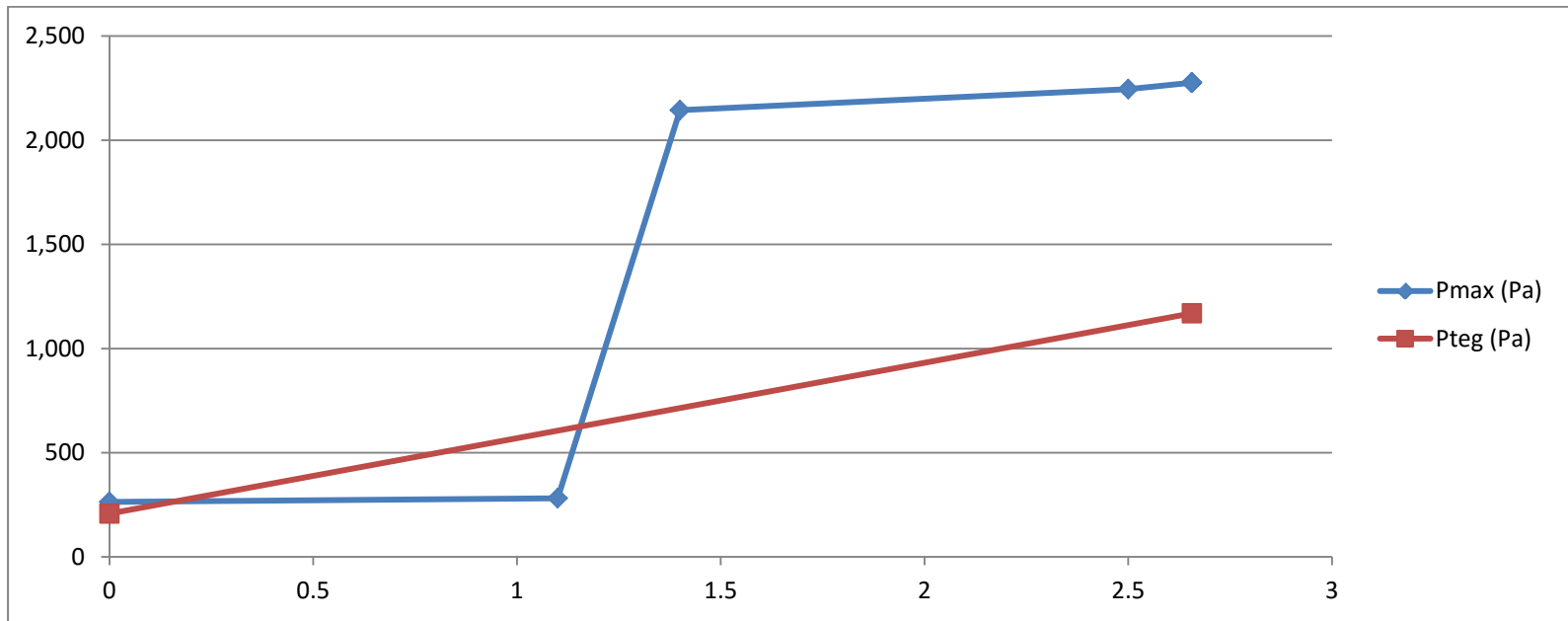
							P <sub>max</sub> (Pa)	S <sub>d</sub> summa
					-10	20		
Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	-10		
Välispind			0.04	0.58	0.17	-9.83		
laudis	0.022	0.13	0.17	2.45	0.73	-9.09	välisõhk	
klaasvill	0.3	0.047	6.38	92.33	27.70	18.61	välispind	
laudis	0.022	0.13	0.17	2.45	0.73	19.34	kihtide vahel	
kipsplaat	0.013	0.25	0.05	0.75	0.23	19.57		
	0	1	0.00	0.00	0.00	19.57		
	0	1	0.00	0.00	0.00	19.57		
	0	1	0.00	0.00	0.00	19.57		
Sisepind			0.10	1.45	0.43	20.00	sisepind	
			R(m2K)/W	6.91	100.00		kontroll	siseõhk
			U W/m2K	0.14				

μ	S <sub>d</sub>	P <sub>teg</sub> (Pa)	P <sub>max</sub> (Pa)	S <sub>d</sub> summa
		207.9	260	0
50	1.1		282	1.1
1	0.3		2,144	1.4
50	1.1		2,245	2.5
12	0.16		2,276	2.66
0	0		2,276	2.66
0	0		2,276	2.66
0	0		2,276	2.66
		1169.1	2,338	

veeauuru osarõhud sees ja väljas

2,338	260	
50	80	
1169	208	961.19

tegelik rõhk	S <sub>d</sub> summa
207.9016577	0
1169.094815	2.656



**Joonis L3.** Välisseina kondenseerumise graafik

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinu puhul, vastavalt valemile (30):

Kondenseerumispinnast väljaspool:

$$1,1 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 1,65 \cdot 10^6 \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{kg}$$

Kondenseerumispinnast seespool:

$$(0,3 + 1,1 + 0,16) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 2,34 \cdot 10^6 \frac{m^2 \cdot h \cdot Pa}{kg}$$

Difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda, vastavalt valemile (33):

$$i_i = \frac{1169 - 310}{2,34 \cdot 10^6} = 367,09 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, vastavalt valemile (34):

$$i_a = \frac{310 - 208}{1,65 \cdot 10^6} = 61,82 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Kondenseerunud vee kogus, vastavalt valemile (32):

$$W_T = 2160 \cdot (367,09 - 61,82) \cdot 10^{-6} = 0,66 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimus kondenseerumisel:

$$W_T = 0,66 \frac{kg}{m^2} < 1,0 \frac{kg}{m^2}$$

- Väljakuivamine

Kliimatingimused: sees 12°C ja RH = 70% →  $p_i = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$  Pa

väljas 12°C ja RH = 70% →  $p_a = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$  Pa

kondenseerumiskohas 12°C ja RH = 100% →  $p_{sw} = 1402$  Pa

kuivamisperiood 90 päeva = 2160 h

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast ruumi, vastavalt valemile (33):

$$i_i = \frac{1402 - 981,4}{2,34 \cdot 10^6} = 179,74 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, vastavalt valemile (34):

$$i_a = \frac{1402 - 981,4}{1,65 \cdot 10^6} = 254,91 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{h \cdot m^2}$$

Välja kuivava vee kogus, vastavalt valemile (35):

$$W_V = 2160 \cdot (179,74 + 254,91) \cdot 10^{-6} = 0,94 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimus välja kuivamisel:

$$W_V = 0,94 \frac{kg}{m^2} > W_T = 0,66 \frac{kg}{m^2}$$

Tingimused on rahuldatud, sest väljakuivava vee hulk on suurem kui kondenseeruva vee hulk.

### LISA 6. Fotod



Joonis L4 . Maja põhjakülg





**Joonis L5.** Maja läänekül



**Joonis L6.** Maja kirdekülg



**Joonis L7.** Maja lõunakülg