



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

MAAELAMU OLEMASOLEVA OLUKORRA ANALÜÜS, ENERGIATÕHUSUS
NING SELLE ENERGIATÕHUSAMAKS MUUTMISE VÕIMALUSED

The country house analysis of current condition, the energy efficiency and its
enhancement possibilities.

Üliõpilane: Mihkel Kala

(allkiri)

Juhendaja: Aime Ruus

(allkiri)

Tartu, 2014.a.

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: NAEI 074437

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees (allkiri)

Abstract

Kala, M. The country house analysis of current condition, the energy efficiency and its enhancement possibilities. Master's thesis. In two volumes. Tartu 2014. 111 pages. 28 tables. 25 drawings.

Key words: energy efficiency, thermal conductivity, external walls, energy balance, additional insulating.

The purpose of this research is to assess the existing condition of a country house, which is built horizontal timber logs, vertical timber logs and wooden frame. The facade is covered with weatherboard.

It takes under focus the main problems with the facade, the reasons that they occur and the energy efficiency of the whole building. All the calculations in this research have been carried out according to the valid standards. The calculations showed that the building needs extra insulation

It proposes three additional insulation possibilities. In the first possibility wall constructions insulated with thermal foam, ceiling insulated with blown wool, plinth area insulated with foam. Building heating expenses decreased about 35%.

In the second possibility wall construction insulated with rock wool on the inside, ceiling insulated with blown wool, the existing floor is replaced by an insulated concrete floor. Building heating expenses decreased about 49%.

In the third possibility wall construction insulated with rock wool on the outside, ceiling insulated with blown wool, the existing floor is replaced by an insulated concrete floor, plinth area insulated with foam. Building heating expenses decreased about 64%.

As a result of the research it appeared that with the best insulation solution it is possible to economize 64% from the annual heating costs.

SISUKORD

Abstract	3
SISSEJUHATUS.....	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	8
1.1 Hoonete energiatõhususe miinimumnõuded	8
1.2 Maaelamute energiatõhusus	8
1.3 Lisasoojustamise võimalused.....	9
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	14
3. MATERJAL JA METOODIKA	15
3.1 Hoone olemasolevate välispiirete soojusjuhtivuse arvutamine.....	15
3.2 Pinnasel asuva põranda soojusjuhtivuse arvutamine. Alt tuulutatav põrand	17
3.3 Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamine	20
3.4 Avatäidete soojusjuhtivuse arvutamine.....	21
3.5 Hoone soojakaod.....	21
3.6 Välispiirdeosa külmasildade lisakonduktants	22
3.7 Soojakadu.....	22
3.8 Hoone soojakulud.....	23
3.9 Soojatulud	24
3.10 Lisasoojustamise võimalused	26
3.11 Tööde maksumus	27
3.12 Hoone mõõdistamine ja digitaliseerimine.....	27
4. HOONE ÜLEVAADE, OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS.....	28
5. HOONE OLEMASOLEVATE VÄLISPIIRETE SOOJUSJUHTIVUSE ARVUTAMINE.....	31
5.1. Pinnasel asuva põranda soojusjuhtivuse arvutamine.....	31
5.2. Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamine	34
5.3 Pööningu vahelae soojusjuhtivus	41
5.4. Avatäidete soojusjuhtivus	45
6. HOONE SOOJAKAOD	47
6.1 Välispiirete summaarne soojuserikadu.....	47
6.2. Välispiirdeosa külmasildade lisakonduktants	48
7. HOONE ENERGIABILANSS.....	49
7.1 Hoone soojakulud.....	49
7.2 Hoone soojatulud	51
7.3 Hoone energiabilanss kuude kaupa	53
8. VÕIMALUSED LISASOOJUSTAMISEKS	54
8.1 Lisasoojustamise võimalus nr.1	54

8.1.1 Seinakonstruktsiooni soojustamine termovahuga	54
8.1.2 Pinnasel asuva põranda soojustamine	59
8.1.3 Pööningu vahelae soojustamine puistevillaga	61
8.1.4 Hoone soojakaod	65
8.1.6 Soojustustööde maksumus	67
8.2 Lisasoojustamise võimalus nr.2	68
8.2.1 Seinakonstruktsiooni soojustamine seestpoolt	69
8.2.2 Põrandaplaadi soojustamine	74
8.2.3 Hoone soojakaod	76
8.3 Lisasoojustamise võimalus nr.3	79
8.3.1 Seinakonstruktsiooni soojustamine väljastpoolt.....	80
8.3.2 Põrandaplaadi soojustus koos soklisoojustusega.....	86
8.3.4 Hoone soojakaod	87
8.3.6 Soojustustööde maksumus	90
10. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED	91
11. KOKKUVÕTE.....	93
12. KASUTATUD KIRJANDUS	94
13. LISAD	96
Lisa 1. Andmetabelid	96
Lisa 2. Pildid	102
Lisa 3. Joonised	104

SISSEJUHATUS

Eesti maapiirkondades ringi liikudes näeme väga palju maha jäetud või lihtsalt halvas seisukorras maaelamuid. Seda just seetõttu, et linnastumise käigus on rahvastik kolinud linnadesse ning maapiirkondades on rahvastik vähenenud, mille tulemusena jäävad tühjadeks ka maaelamud.

Eestis oli linnarahvastiku protsent 1940. aastal 33,6, 1950. aastal 47,1 ja 1988. aastal 71,6 (s.o 1,126 miljonit inimest, 1989. aasta rahvaloenduse andmeil). 2000. aasta rahvaloenduse andmeil oli linnarahvastiku osatähtsus 67,4%. [16]

Seega on näha, et linnarahvastiku osakaal on vähenemas ning maarahvastiku osakaal vaikselt tõusmas. Inimesed on hakanud taas väärtustama maaelu. Oma panuse sellele annab kindlasti kodanikualgatus „Maale elama“, mille üldeesmärgiks on muuta ühiskonna hoiakuid maal elamise suhtes teadlikumaks ja positiivsemaks, ning selle kaudu soodustada linnast maale elama asumise trendi.

Maarahvastiku osatähtsuse tõusuga tõuseb ka vajadus elamiskõlbulike maaelamute järele. Järjest tõusvate energiahindade tõttu on inimesed muutunud teadlikumaks ning aina rohkem on hakatud tegema investeeringuid elamute energiatõhusamaks muutmiseks.

Antud töös soovitakse leida lahendused ühe tüüpilise maaelamu energiatõhusamaks muutmiseks, pakkudes välja kolm võimalikku hoone lisasoojustamise lahendust olemasoleva hoone näol.

Parema ülevaate saamiseks energiakadudest leitakse antud töös eraldi kõigi välispiirete soojakaod. Hoone välispiirete soojakaod leitakse arvutuslikul meetodil.

Antud töös kirjeldatakse hoone olemasolevat olukorda ning pakutakse välja lahendused lisasoojustamiseks ja võrreldakse erinevate lahenduste soojajuhtivusi.

Põhjalik uuring maaelamute kohta on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonna poolt: „Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I“.

Eesti Vabaõhumuuseumi Maa-Arhitektuuri Keskuse poolt on koostatud käsiraamat: „VANA MAAMAJA. Käsiraamat“.

Käesolev töö on jaotatud kaheksaks osaks. Esimeses osas antakse ülevaade teemaga seotud kirjandusallikatest, energiatõhususe nõuetest.

Töö teises ja kolmandas osas on välja toodud peamised tööga seonduvad eesmärgid ning ülesanded. Antakse ülevaade arvutustes kasutatavatest ehitusstandarditest, tutvustatakse metoodikat energiatõhususe arvutamiseks. Tutvustatakse materjale hoone lisasoojustamiseks.

Töö neljandas osas kirjeldatakse hoonet ja antakse olemasoleva olukorra kirjeldus ning pööratakse tähelepanu probleemide peamistele põhjustele.

Töö viiendas osas tegeletakse hoone olemasolevate välispiirete soojusjuhtivuste arvutamisega. Igat piiret käsitletakse eraldi.

Töö kuuendas ja seitsmendas osas tegeletakse soojakadude arvutustega ja energiabilansi koostamiseks vajalike arvutustega.

Töö kaheksandas osas tegeletakse hoone võimalike lisasoojustamise võimalustega.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Hoonete energiatõhususe miinimumnõuded

2012. aastal jõustunud määrusega nr. 68 kehtestatakse hoonete energiatõhususe miinimumnõuded ning nõuetele vastavuse tõendamiseks vajalikud lähteandmed ja arvutusmeetodid.

Välispiiretele kehtestatud üldised nõuded [5]:

- 1) Hoone välispiirded peavad olema pikaajaliselt õhkupidavad ja piisavalt soojustatud. Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumide soojuslikust mugavusest ja hallituse ning kondensaadi vältimisest külmasildadel, sisepindadel ja tarindites.
- 2) Ruumide soojusliku mugavuse tagamiseks ei või piirde soojusläbivus üldjuhul ületada väärtust 0,5 vatti ruutmeetri ja kraadi kohta [$W/(m^2K)$]. Sellest väärtusest kõrgema soojusläbivusega avatäidete puhul tuleb tagada soojuslik mugavus kütelahendustega.

Energiatõhususe arvutamist käsitleb Ehitusfüüsika ABC. Soojus, niiskus, müra Tiit Masso poolt koostatud raamatu eesmärgiks on selgitada, kuidas majade tarindus ja keskkonnatingimused mõjutavad nende kasutamise mugavust ja energiakulu ning millest võivad olla tingitud soovimatud häired nende kasutamisel.

Raamat käsitleb maju vaid ühest, ehituskonstruktori vaatevinklist. Hoone soojust ja niiskust mõjutavad samavõrd ka ventilatsioon ja küttesüsteem, mida selles raamatus on käsitletud vaid marginaalselt.

1.2 Maaelamute energiatõhusus

Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas koostatud uuring keskendub maapiirkonnas asuvate üksikelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasäästu uurimisele. Tähelepanu on pööratud sellele, kuidas oskamatult on kasutatud vanadele ehitistele sobimatuid materjale, mis on aga rikkunud puitelamute ehitusfüüsikalise toimimise ja sisekliima. [7]

Eesti Vabaõhumuuseumi Maa-ArHITEKTUURI Keskuse teaduri Joosep Metslangi poolt koostatud käsiraamat keskendub eesti taluhoonete arengule 19. sajandi keskpaigast kuni Teise maailmasõjani. Raamatu kõige mahukamas osas pakutakse võimalikke lahendusi praktilisteks hooldus- ja ehitustöödeks.

1.3 Lisasoojustamise võimalused

Seinu on võimalik soojustada nii seest kui ka väljast, kuid igal võimalusel on omad plussid ja miinused.

Seina soojustamine väljastpoolt: [9]

- + Niiskustehniliselt turvaline
- + Kandekonstruktsioon on soojas ja kuivas
- ± Korrektselt tehes säilib maja välisilme, halvasti tehes saab välisilme rikutud.
- Tuleb lahendada kogu hoone korraga.

Seina soojustamine seestpoolt: [9]

- + Saab teha tubade kaupa, fassaadi ei ole vaja muuta.
- Tekivad külmasillad vaheseinte, -lagede ja avatäidete juures.
- Madal temperatuur ja kõrge suhteline niiskus palkseina sisepinnal.

	Temperatuuri jaotus	Õhu veeaurusisalduse ja küllastussisalduse jaotus	Suhtelise niiskuse jaotus
15 cm palksein; U 0,7 W (m ² ×K)			
15 cm palksein + 10 cm lisasoojustus väljaspool; U 0,25 W (m ² ×K)			
15 cm palksein + 10 cm lisasoojustus seespool; U 0,25 W (m ² ×K)			
15 cm palksein + 5 cm lisasoojustus seespool; U 0,35 W (m ² ×K)			

Tabel 3.1 Lisasoojustamise mõju palkseina soojus- ja niiskusrežiimile [10]

Tabelis 3.1 on näidatud lisasoojustamise mõju palkseina soojus- ja niiskusrežiimile. Tabelis on ülevaade nelja seina soojus- ja niiskusrežiimist külmal talvekuul. Seinad on tihendatud nii, et õhuhuhtivus ei vähenda seinte soojapidavust. Seinast vasakul poolel on väliskliima ja paremal pool sisekliima. Vasakpoolne skeemide tulp näitab temperatuuride jaotust välisseinas. Keskmisel skeemide tulbal on õhu veeaurusisaldus ja veeauru küllastussisalduse graafikud. Parempoolsetel skeemidel on suhtelise niiskuse jaotus seinas.[10]

Niiskustehniliselt turvalised lahendused on väljastpoolt lisasoojutatud sein ja lisasoojustuseta sein. Mõlemal juhul on suhteline niiskus alla kriitilise taseme, vältimaks veeauru kondenseerumist ja hallituseente teket. Soojusvool läbi lisasoojustatud seina on ligi kolm korda väiksem kui tavaseinal. [10]

100 mm paksuse lisasoojustuse korral on seespoolse ja väljaspoolse lisasoojustusega seinte soojusjuhtivus ühesugune. Märkimisväärselt erineb aga seespoolse ja väljaspoolse lisasoojustusega palkseina niiskusrežiim. 100 mm paksuse seespoolse soojustuse korral langeb palgi sisepinna temperatuur alla küllastustemperatuuri ja veeaur kondenseerub palgi

sisepinnale. Kui seespoolse lisasoojustuse paksus on õhem, kuni 50 mm, on võimalik veeauru kondenseerumist vältida. Niiskustehniliselt turvalise lahenduse tagamiseks tuleb siseõhu niiskust vähendada: hoones peab olema korralikult toimiv ventilatsioon. [10]

Pööningu vahelae soojustamine puistevillaga

Puistevill on tõhus ja odav soojustusmaterjal, millel on muude soojustusmaterjalidega võrreldes mitu eelist. Puistevilla iseloomustamiseks sobivad märksõnad: soodne hind, head soojusisolatsiooniomadused, kiiresti paigaldatav, kvaliteetne tulemus. Erinevalt plaat- või rullvillast ei anta puistevillale tehases liimainete abil kindlat kuju, vaid ta turustatakse pakkidesse kokku surutult. Objektil hekseldatakse vill kohevaks ning puhutakse seejärel spetsiaalse puhuri abil voolikuid pidi ühtlase paksusega kihina paigalduskohta. [12]

Puistevilla vaieldamatu eelis on seegi, et objektil pole vaja soojustusmaterjali mõõtu lõigata ega suuri pakke ühest kohast teise kanda. Sellega säästetakse tublisti aega ja hoitakse kokku tööjõudu. Esiletõstmist väärib ka see, et paigaldamisel ei teki materjalikadusid. Et vill puhutakse õigesse kohta ühtlase kihina, siis ei jää soojustuse alumistesse kihtidesse tühikuid, nagu võib juhtuda näiteks plaatvilla paigaldamisel. Tehtud töö kvaliteeti on lihtne kontrollida.[12]

Tselluvilla toodetakse Eestis vanapaberist. Vanad ajalehed vm purustatakse ning saadud massile lisatakse seenhaiguste tõrjeks ja tulekindlaks muutmiseks booraksit ja boorhapet. Tulekahju korral tselluvill söestub. Seda soovitatakse kasutada vaid mittesüttivates konstruktsioonides (betooni peal). Tselluvill on kivi- või klaasvillast odavam, kuid ta soojusjuhtivus ja veeimavus on mineraalvilla omast suurem. [12]

Horisontaalpindadel tselluvill vajub, seepärast peaks selle kiht olema projekteeritust 20% paksem. Vajumise ja materjali suure veeimavuse tõttu ei soovitata tselluvillast soojustuskihti kasutada ruumides, kus ta võib niiskusega kokku puutuda. [12]

Soojusjuhtivus - 0,041 W/(mK)

Seinakonstruktsiooni soojustamine termovahuga

Termovaht on külmkõvastuv, 2-komponentne, süstitav, karbamiidvaikvaht, mille struktuur on avatud pooridega.[13]

Termovaht valmistatakse mobiilse seadme abil vahetult objektil. Spetsiaalsete ainete vesilahused segatakse seadmetes vajalikes suhetes kokku, segu muudetakse suruõhu abil vahuks, mis pritsitakse (süstitakse) surve abil läbi müüritisse puuritud aukude, seintes olevatesse tühemikesse. [13]

Termovaht koosneb miljonitest väikestest avatud õhumullidest. Tahenedes muutuvad need pehmeks, valgeks, veeauru läbilaskvaks materjaliks – Termovahuks. Termovaht on kasutuses juba üle 50 aasta ja on soojustatud selle tehnoloogia abil tuhandeid maju üle maailma. [13]

Süsteemi eelisteks on [13]:

- Hea heliisolatsioon
- Soojuse ja külma parem isoleerimine
- Tuld tõkestav toime
- Kondentsvett ei teki (hea difusioon $\mu = 2,2$)
- Energiasäästlik
- Vananemiskindel
- Mädanemiskindel
- Korrosioonikindel
- Kemikaalikindel

Termovaht on kohapeal paigaldatav soojustusvaht kahekihilistele müüritistele, välisseintele, eterniitvooderdisele, installatsioonišahtidele jne, eriti hästi sobib vanade hoonete soojustamiseks. [13]

Soojusjuhtivus - 0,035 w/(mk)

Põrandaplaadi soojustamine

Põrand pinnasel on igasugune põrand, mis on kontaktis aluspinnasega, olenemata sellest, kas see toetub tervikuna pinnasele või mitte ja asub välispinnaga samal või ligilähedasel kõrgusel.[1]

Soojusjuhtivus sõltub põranda tunnusmõõdust B' ja võrdväärse paksuse d_t koguväärtusest. Tihedate betoonplaatide ja õhukeste põrandakattematerjalide soojustakistuse võib jätta arvestamata. Plaadi all asuva killustiku ja/või kruusakihi soojusjuhtivus loetakse pinnase omaga samaväärseks ning selle soojustakistust ei arvestata. [1]

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Töö eesmärk:

- Hinnata olemasoleva maaelamu seisukorda, pöörata tähelepanu fassaadikahjustustele
- Pakkuda välja lahendused hoone energiatõhusamaks renoveerimiseks

Ülesanded:

- Hoone tehnilise seisukorra hindamine
- Hoone mõõdistamine ning digitaliseerimine
- Hoone olemasolevate välispiirete soojusjuhtivuste arvutamine
- Hoone energiabilansi koostamine
- Pakkuda välja võimalused hoone soojustamiseks

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Hoone olemasolevate välispiirete soojusjuhtivuse arvutamine

Piirdetarindite soojustakistuste ja soojusjuhtivuste arvutused on tehtud vastavalt standardile EVS-EN ISO 6946:2008 „Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod“. [2]

Standardis on esitatud meetod hoone konstruktsioonide ja komponentide soojustakistuse ja soojusjuhtivuse arvutamiseks. Arvutusmeetod põhineb materjalide ja toodete arvutuslikul soojuserijuhtivusel või soojustakistusel nende materjalide ja toodete asjakohase kasutamise puhul. Standard annab ka ligikaudse meetodi, mida võib kasutada mittehomogeensete kihtide puhul.[2]

Homogeensete kihtide soojustakistus R leitakse valemiga [2] :

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad m^2K/W \quad (1)$$

Kus:

d materjali kihi paksus komponentides, m

λ materjali soojuserijuhtivus, [W/(mK)]

Kogusoojatakistus R_t leitakse valemiga [2] :

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

Kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, [m^2K/W]

R_1, R_2, R_n iga kihi arvutuslik soojustakistus, [m^2K/W]

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, [m^2K/W]

Soojusjuhtivus U leitakse valemiga [2] :

$$U = \frac{1}{R_t} \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (3)$$

Kus:

R_t konstruktsiooni kogusoojatakistus, [m^2K/W]

Soojuslikult mittehomogeense piirdetarindi kogusoojustakistus avaldub valemist:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad m^2K/W \quad (4)$$

Kus:

R_T piirdetarindi kogusoojatakistus, m^2K/W

R_T' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), m^2K/W

R_T'' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojatakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paraleelselt olevaid kihte), m^2K/W

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus saadakse järgmisest valemist:

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

Kus:

$A_a \dots A_n$ piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud), m^2

$R_{Ta} \dots R_{Tn}$ piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, m^2K/W

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus saadakse järgmisest valemist:

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

Kus:

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, m^2K/W

$R_1; R_x; R_n$ on iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse soojuslikult homogeensena või mittehomogeensena, m^2K/W

R_{se} piirde välispinna soojustakistus, m^2K/W

R_x avaldub valemiga:

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

Kus:

$A_{xa} \dots A_{xn}$ mittehomogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud), m^2

$R_{xa} \dots R_{xn}$ mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused, m^2K/W

Maksimaalne suhteline arvutusviga:

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \times R_T} \times 100\% \quad (8)$$

3.2 Pinnasel asuva pörandi soojusjuhtivuse arvutamine. Alt tuulutatav pörand

Alt tuulutatava pörandi soojustakistuste ja soojusjuhtivuste väärtuste arvutused on tehtud vastavalt standardile EVS-EN ISO 13370:2008 „Hoone soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid“.[1]

Standardis on esitatud arvutusmeetodid pinnasega soojuslikus kontaktis olevate piirdetarindite, kaasa arvatud pörandad, pörand välisõhu kohal (alt tuulutatav pörand) ja keldrid, soojusjuhtivuse ja soojusvoo arvutamiseks.

Pörandi soojuslähivus on antud valemiga [1] :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (9)$$

Kus:

U_f on pörandi välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$

$U_g = \frac{1}{R_g}$ on soojusjuhtivus, mis tuleneb pinnasesse suunduvast soojusvoost, $W/(m^2 \cdot K)$

U_x on võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskkeskkonna vahel, mis tulenebsoojuslevist läbi õhkvahe seinte ning õhkvahe tuulutamisest, $W/(m^2 \cdot K)$

U_g ehk pinnase soojusjuhtivus leitakse valemiga [1] :

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \frac{\pi B'}{d_g} + 1 \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (10)$$

Kus:

λ külmumata pinnase soojuserijuhtivus, $W/(mK)$

B' põranda tunnusmõõde, m

d_g ekvivalentne kogupaksus, m

d_g ehk ekvivalentne kogupaksus leitakse valemiga [1] :

$$d_g = w + \lambda \cdot R_{si} + R_f + R_{se} \quad m \quad (11)$$

Kus:

w põrandaaluste välisseinte paksus, m

λ külmumata pinnase soojuserijuhtivus, $[W/(mK)]$

R_{si} sisepinna soojustakistus, $[m^2 K/W]$

R_f põranda konstruktsiooni soojustakistus, $[m^2 K/W]$

R_{se} välispinna soojustakistus, $[m^2 K/W]$

Põranda tunnusmõõde B' leitakse valemiga [1] :

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad m \quad (12)$$

Kus:

B' põranda tunnusmõõde, m

A põranda pindala, m^2

P põranda välisperimeeter, m

Võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel U_x leitakse valemiga [1]:

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (13)$$

Kus:

h pörandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes, m

U_w õhkvahe seinte soojusjuhtivus, W/(m²K)

B' pörandala iseloomulik laius, m

ε tuulutusavade pindala õhkvahe ümbermõõdu pikkuses, m²/m

v keskmine tuulekiirus 10 meetri kõrgusel, m/s

f_w tuuletõkketegur

Õhkvahe seinte soojusjuhtivus U_w leitakse valemiga[2] :

$$U_w = \frac{1}{R_t} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (14)$$

Kus:

R_t Nõrgalt ventileeritud õhkvahega komponendi kogusoojatakistus, [m² K/W]

Nõrgalt ventileeritud õhkvahega komponendi kogusoojatakistus R_t leitakse valemiga[2]:

$$R_t = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v} \quad \text{m}^2 \text{ K/W} \quad (15)$$

Kus:

A_v Õhuavade suurus, mm²

$R_{T,u}$ Ventileerimata õhkvahe kogusoojatakistus, m² K/W

$R_{T,v}$ Hästiventileeritud õhkvahe kogusoojatakistus, m² K/W

3.3 Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamine

Piirdetarindite soojustakistuste ja soojusjuhtivuste arvutused on tehtud vastavalt standardile EVS-EN ISO 6946:2008 „Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod“. [2]

Kui hoone küljes on kütmata ruum, võib sise- ja väliskeskonna vahelise soojusülekanne leidmiseks käsitleda kütmata ruumi koos selle välispiirde konstruktsioonikomponentidega kui homogeenset lisakihti, mille soojustakistus on R_u . [2]

$$R_u = \frac{A_i}{k(A_{e,k} \cdot U_{e,k}) + 0.33 \cdot n \cdot V} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad (16)$$

Kus:

A_i	kõikide sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahel asuvate komponentide üldpind, m^2
$A_{e,k}$	kütmata ruumi ja väliskeskonna vahel asuva komponendi k üldpind, m^2
$U_{e,k}$	kütmata ruumi ja väliskeskonna vahel asuva komponendi k soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
n	kütmata ruumi ventileerimise määr
V	kütmata ruumi maht, m^3

Konstruktsiooni keskmine soojusjuhtivus arvutatakse kaalutud keskmise kujul:

$$U = \frac{A_1 \cdot U_1 + A_2 \cdot U_2}{A} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (17)$$

Kus:

A_1	esimese seiniosa pindala, m^2
U_1	esimese seiniosa soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
A_2	teise seiniosa pindala, m^2
U_2	teise seiniosa soojusjuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
A	kogu sein pindala, m^2

3.4 Avatäidete soojusjuhtivuse arvutamine

Puidust raamijaotusega ja klaaspinnaga ukse soojajuhtivus U_a arvutatakse valemiga [4]:

$$U_a = \frac{U_k \cdot A_k + U_r \cdot A_r + \psi_k \cdot l_k}{A_k + A_r} \quad \text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (18)$$

Kus:

U_k	klaasiosa U-arv, W/(m ² K)
A_k	klaasiosa pindala, m ²
U_r	piida ja raamiosa U-arv, W/(m ² K)
A_r	piida ja raamiosa pindala, m ²
ψ_k	klaasiserva joonkülmasilla lisajuhtivus, W/(mK)
l_k	klaasiserva perimeetri pikkus, m

3.5 Hoone soojakaod

Soojakaod juhtivuse teel läbi piirdetarindite – seinad, aknad, laed ja põrandad – on võrdelised nende pindala ja soojajuhtivusega. [6]

Soojakaod läbi piirde leitakse valemiga [6]:

$$\Phi = A \cdot U \quad \text{W/K} \quad (19)$$

Kus:

A	välispiirde pindala, m ²
U	soojajuhtivus, W/(m ² K)

3.6 Välispiirdeosa külmasildade lisakonduktants

Lisakonduktants $\Delta\Psi$ (W/K) arvutatakse järgmise valemiga [5] :

$$\Delta\Psi = \Psi_j \cdot l_j + \Psi_p \cdot n_p \quad \text{W/(mK)} \quad (20)$$

Kus:

Ψ_j joonkülmasilla lisakonduktants, W/(mK)

l_j joonkülmasilla pikkus, m

Ψ_p punktkülmasilla lisakonduktants, W/K

n_p samasuguste punktkülmasildade arv välispiirdeosas

3.7 Soojakadu

Soojajuhtivuskaod leitakse valemiga [6]:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta t \cdot t \quad \text{kWh} \quad (21)$$

Kus:

A piirdetarindi pindala, m²

U tarindi soojajuhtivus, W/(m²K)

Δt sise- ja välisõhu temperatuurivahe, K

t kestus tundides

Kraadtunnid leitakse valemiga:

$$Kh = \Delta t \cdot t \cdot n_p \quad (22)$$

Kus:

Δt sise- ja välisõhu temperatuurivahe, K

t kestus tundides

n_p päevade arv kuus

3.8 Hoone soojakulud

Temperatuuri erinevusega kaasneb alati soojuste levik soojemast keskkonnast külmemasse. Nii ka hoonete puhul – toasoojus hajub ümbritsevasse keskkonda. [6]

Hoone soojus kandub väliskeskkonda põhiliselt neljal viisil [6]:

- Soojajuhtivuse teel läbi piirdetarindite
- Konvektsiooni teel koos ventilatsiooniga
- Konvektsiooni teel koos kanalisatsiooni juhitud sooja veega
- Soojakiirguse teel läbi akende

Soojajuhtivuskadude suuruse määrab ühelt poolt tarindite pindala ja soojajuhtivus, teiselt poolt temperatuurivahe ja kestus. [6]

Soojakulu põrandast

Sügavamal on pinnase temperatuur Eestis aastaringselt $+6...7\text{ °C}$ [6]

Põrandate ja välisõhu temperatuurivaheks arvestan $+22\text{ °C}-(+7\text{ °C})=15\text{ °C}$

Soojakulu õhuvahetusele

Vanasti majade ventileerimisele palju ei mõeldud. Ruumide ahiküte ja pliidid pidid tagama õhuvahetuse, korstnad tõmbe, õhk pääses sisse ehitise pooride ja märkamata pilude kaudu.[6]

Arvutustes väljendatakse vajaliku ventileeritava õhukoguse õhuvahetuse kordarvuna tunnis, milleks on 0,5 1/h. See tähendab, et kogu hoone õhk vahetub kahe tunni jooksul, mis vastab olemasolevate hoonete üldisele õhuvahetusele.

Soojakulu sooja veega

Majja siseneva külma vee temperatuur on ligikaudu võrdne pinnase temperatuuriga, $+7...8\text{ °C}$. tarbevesi soojendatakse temperatuurini 55 °C , aga kasutatakse keskmise temperatuuriga ligikaudu $+35...40\text{ °C}$; soe vesi lastakse kanalisatsiooni.

Sooja veega kaotsiminev soojahulk sõltub tarbitud veehulgast:

$$Q_v = Vc\Delta t \quad (23)$$

Kus:

V	tarbitud veehulk
c	vee erisoojus, 4,19 kJ/(kgK), st 1,16 Wh/(kgK)
Δt	temperatuurivahe (ca 30°C)

3.9 Soojatulud

Hoonete põhiliseks soojaandjaks on küttesüsteem. Siiski võib lisanduda märkimisväärset hulgal soojust ka muudest allikatest, milleks on [6]:

- Päikesekiirgus
- Inimesed ise
- Hoone elektriseadmed ja valgustid

Päikesekiirgus

Akende soojatulu käsitlemisel ei ole õige päikesekiirguse hulka kütteperioodi jooksul summeerida, sest see jätab eksliku mulje; seda tuleb vaadelda kuude kaupa. Ühtlasi peab silmas pidama alende suunda (põhjapoolsed aknad saavad märksa vähem kiirgust kui lõunapoolsed) samuti akende tarindust (klaaside energialäbilaskvust, valgusava osatähtsust), kardinade olemasolu ja hoone ümbrust. [6]

Akende kaudu hoonesse sisenev päikeseenergia hulk kWh kuus leitakse valemiga [6]:

$$Q_p = G \cdot F_s \cdot F_1 \cdot A_g \cdot g \quad \text{kWh} \quad (24)$$

Kus:

G	päikese kiirgus pinnale, kWh/m ² kuus
F_s	akna suunast sõltuv parandustegur

F_1	akna raamide hulgast, varjetest ja kardinatest sõltuv parandustegur
A_g	aknaava pindala koos piitade ja raamidega m ²
g	klaaside kogukiirguse läbilaskvuse tegur

Parandustegur F_1 leitakse valemiga [6]:

$$F_1 = F_r \cdot F_k \cdot F_v \quad (25)$$

Kus:

F_r raamide parandustegur (valgusava ja aknaava pindalade suhe)

F_k kardinate parandustegur

F_v varjete parandustegur

Parandustegurid on esitatud lisan 13.4.

Andmete puudumisel leitakse klaaside kogukiirguse läbilaskvuse tegur valemiga [6]:

$$g = 0,9 \cdot g_0 \quad (26)$$

Kus:

g_0 klaaside otsekiirguse läbilaskvuse tegur.

Läbilaskvustegurid on esitatud lisan 13.4

Inimestest eristuv soojusenergia

Inimeste eritatud soojaenergia leitakse valemiga [6]:

$$Q_{in} = \varphi_{in} \cdot n \cdot \Delta t \quad \text{kWh} \quad (27)$$

Kus:

φ_{in} 70 Wh/h

n inimeste hulk hoones

Δt inimeste hoones viibimise kestus tundides

Hoone elektriseadmed ja valgustid

Peaaegu kogu hoones tarbitud elekter muundub soojuseks. Selle hulk sõltub kasutatavate valgustite ja seadmete tüübist ja kasutamismeetodist. [6]

3.10 Lisasoojustamise võimalused

Soojajuhtivus arvutatakse vastavalt kas [1]:

$d_t < B'$ (soojustamata ja mõõdukalt soojustatud põrand)

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (28)$$

$d_t > B'$ (hästi soojustatud põrand)

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \times B' + d_t} \quad (29)$$

Avatüübid

Aknad

Soojakulu akende kaudu on tänapäeva hoonetes tavaliselt ca 20...30% hoone kõigist soojakadudest. Akna valik mõjutab hoone soojakulu oluliselt.

Asendatavad aknad võivad olla kas PVC aknad või puit-alumiiniumaknad soojajuhtivusega

$$< 1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Uksed

Hoone olemasolevad uksed, mida saab käsitleda välisustena vahetatakse välja uute energiatõhusamate välisuste vastu. Uute uste soojajuhtivus $< 1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

3.11 Tööde maksumus

Ehitusfirmadelt saadud info põhjal saab üldehitustöid teostav ehitustööline keskmiselt 6 eur/h palka. Arvestades kõiki makse, puhkusetasusid ning erinevaid kulutusi ehitusfirmale saadakse töömehele kuluvaks palgafondiks ligikaudu 15 eur/h, millest lähtutakse hoone soojustuslahenduste maksumuste arvutamisel.

3.12 Hoone mõõdistamine ja digitaliseerimine

Hoone mõõdistamine ja digitaliseerimine toimus ajavahemikul veebruar 2013 aasta.

Mõõdistamiseks kasutati Bosch laserkaugusmõõdjat DLE 40. Antud seadmega mõõdistati üles kogu hoone.

Saadud mõõtmistulemuste alusel on hoone joonestatud arvutiprogrammi Autocad 2009 abil üles.

4. HOONE ÜLEVAADE, OLEMASOLEVA OLUKORRA KIRJELDUS

Vaadeldav hoone asub Võru maakonnas Varstu vallas Krabi külas Järve talus. Tegemist on Järve talu elamuhoonega.



Skeem 4.1 Asukohaskeem. Väljavõte www.regio.ee

Üldist

Hoone on kahekorruseline puitelamu. Hoonel puudub kelder ning teine korrus on osaliselt välja ehitatud. Teise korruse ruumi kasutatakse vaid suviti, kui hoonet kütma ei pea.

Hoone on ehitatud mitmes järgus. Maja ehitamisega alustati 1964 aastal, mil toodi lähedal asuvast talukompleksist aidahoone, millest sai praegusele Järve talu elamuhoonele algus. Aidahoone, mis on praeguseks hoone elutoaks on rõhtpalkidest ehitis. Aidahoonele ehitati juurde püstpalk konstruktsioonist köök ning väike sahver.

Pere suurenedes ja sellest tingitud ruumi puuduse tõttu ehitati olemasolevale hoonele juurde kaks magamistuba. Juurdeehitatavad toad rajati puitkarkass konstruktsioonile.



Pilt 4.1 Kirjeldatav hoone

Katus, vihmaveerennid ja –torud

Hoone algne laastkatus on asendatud terve katuse ulatuses eterniidiga. Eterniitkatus on rahuldavas korras, kuid hoone lõuna küljel majale liiga lähedal asuv suur kask langetab hoone katusele lehti ja oksapuru, mille tulemusena on eterniidi pinnal hakanud kasvama sammal. (lisa 2, pilt nr. 1)

Hoonel puuduvad vihmaveetorud, mille tõttu vihmaveerennidest tulev sadevesi voolab vabalt vihmaveerennist maapinnale, pritsides fassaadi märjaks, tänu millele on vastavates kohtades fassaad ja sokkel saanud niiskuskahjustusi.

Pidevalt niiskel puidul hakkavad kasvama mädanikseened ja puit laguneb. Katusele vihmaveerennide kaudu maapinnale sadav vesi ei valgu hoonest eemale vaid imbub hoone lähedal maapinda ja sealt edasi vundamenti. Märja müüri külmudes laguneb müür. Korrigeerimist vajavad ka vihmaveerennide kalded.

Katteplekid

Hoone katuse harja katab korralik tsingitud plekk. Akende nii ülemistel kui ka alumistel servadel puudub katteplekk. Aknaruutudelt tulev vihmavesi valgub aknalengi ja fassaadi vahele. Soklil puudub müüri kattev katteplekk. (lisa 2. pilt nr.2)

Korstnad

Hoone mõlemad korstnad on laotud kuni katuse läbiviiguni savitellistest ning katusest väljaulatuv osa on laotud silikaattellistest. Korstende silikaatosad, mis ulatuvad katusest välja on halvas seisus. Korstnapitsid on hõredad ning silikaatkivid lagunened.

Aknad ja ukсед

Hoonel on säilinud kõik algupärased aknad. Akendeks on kahekordse klaasiga puidust lahusraamidega suure klaaspinnaga aknad. Akende piirdelauad on säilinud samuti algupärased.

Hoone välisüksed on välja vahetatud uute puidust tahveluste vastu. (lisa 2, pilt 3)

Fassaad

Hoonel on kolme liiki seinakonstruktsioone. Hoone ajalooliselt esimese osa seinakonstruktsiooniks on tahumata rõhtpalk, millele on külge liidetud püstpalkkonstruktsioonist kõögiosa. Hilisemalt on hoonele juurde ehitatud puitkarkasskonstruktsioonis juurdeehitis.

Kogu hoone on väljast kaetud voodrilauaga, millele on teostatud 2010. aastal hooldusvärvimine. Korraliku vihmavee ärajuhtimise süsteemi puudumisel on fassaad saanud kohati veekahjustusi.

Vundament, sokkel

Vundament on valatud betoonist. Soklios on jäetud katmata ning seega on olnud soklios terve hoone eksisteerimise aeg ilmastikuolude käes. Hoonel puudub pandus vee eemale juhtimiseks vundamendilt. Kohati ääristavad vundamenti lillepeenrad, mis on vundamendile liiga lähedal. Puudub korralik drenaažisüsteem. Seega kannatab vundament liigniiskuse käes. Sokliosale leidub niiskusekahjustusi.

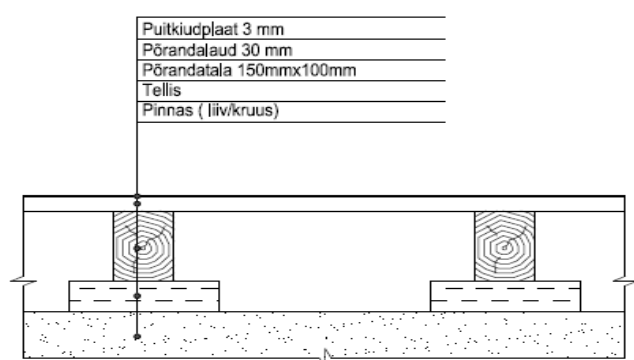
5. HOONE OLEMASOLEVATE VÄLISPIIRETE SOOJUSJUHTIVUSE ARVUTAMINE

5.1. Pinnasel asuva põranda soojusjuhtivuse arvutamine.

Kogu hoone ulatuses on hoonel alt tuulutatav põrand pindalaga 77,56 m². Põrandakonstruktsiooni soojajuhtivus ja soojatakistus on välja toodud tabelis 5.3. Vundamendi soojajuhtivus ja soojatakistus on välja toodud tabelis 5.4.

Põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes on 0,3 m. Põrandaaluste välisseinte paksus ehk vundamendi paksus on 0,4 m.

Pinnas millel hoone asub on kruus. Pinnase soojuslikud omadused on esitatud tabelis 5.1



Joonis 5.1 Pinnasel asuv põrand

Tabel 5.1 Pinnase soojuslikud omadused [1]

Kategooria	Kirjeldus	Soojusjuhtivus λ $W/(m \cdot K)$	Soojusmahtuvus $\rho \cdot c$ $J/(m^3 \cdot K)$
1	Savi ja savimöll	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	Liiv või kruus	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	Homogeenne kivim	3,5	$2,0 \times 10^6$

Arvutusteks vajalik keskmine tuulte kiirus 10 meetri kõrgusel on välja toodud lisas 1 asuvas tabelis. Kõige lähim mõõtejaam vaadeldavale hoonele asub Võrus. Seega kasutan arvutustes Võru mõõtejaama tulemusi. Tuuletõkketegur on esitatud tabelis 5.2

Tabel 5.2 Tuuletõkketeguri väärtused [1]

Asukoht	Näide	Tuuletõkketegur f_w
Varjatud	Linnakeskus	0,02
Keskmine	Äärelinn	0,05
Tuulele avatud	Maapiirkond	0,10

Põrand välisõhu kohal on igasugune põrand, mis ei ole kontaktis pinnasega, näiteks on toetatud puitu või talasid ja plokke kasutades. Ka alt tuulutatav põrand. [1]

Põrandakonstruktsiooni erinevate komponentide soojatakistus (R) arvutatakse valemiga 1 [2]. Kogu piirdetarindi soojatakistus (R_t) arvutatakse valemiga 2 [2] ja soojusjuhtivus (U) arvutatakse valemiga 3 [2]. Vastavad tulemused on kantud tabelisse 5.3

Tabel 5.3 Alt tuulutatava põrandakonstruktsiooni soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruktsiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)
Välispind			0,04
Põranda laudis	0,03	0,12	0,25
Puitkiudplaat	0,003	0,18	0,02
Sisepind			0,17
		R (m²K/W)	0,48
		U (W/(mK))	2,08

Vundamendi erinevate komponentide soojatakistus (R) arvutatakse valemiga 1 [2]. Kogu piirdetarindi soojatakistus (R_t) arvutatakse valemiga 2 [2] ja soojusjuhtivus (U) arvutatakse valemiga 3 [2]. Vastavad tulemused on kantud tabelisse 5.4

Tabel 5.4 Vundamendiseina soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruksiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)
Välispind			0,04
Vundamendisein	0,40	2,3	0,17
Sisepind			0,13
		R (m²K/W)	0,34
		U (W/(mK))	2,9

Põrand välisõhu kohal on soojustamata [$U_f = 2,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$] ja õhkvahe seinad on samuti soojustamata [$U_w = 2,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$].

Põranda iseloomulik laius B° vastavalt valemile 12:

$$B^{\circ} = \frac{77,56}{0,5 \cdot 37,4} = 4,148 \text{ m}$$

Välisõhu kohal asuva konstruktsiooni ekvivalentne kogupaksus d_g vastavalt valemile 11:

$$d_g = 0,4 + 2,0 \cdot 0,17 + 0 + 0,04 = 0,504 \text{ m}$$

Pinnase soojajuhtivus U_g vastavalt valemile 10:

$$U_g = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 4,148 + 0,504} \ln \frac{\pi \cdot 4,148}{0,504} + 1 = 0,97 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel U_x vastavalt valemile 13:

$$U_x = 2 \cdot \frac{0,3 \cdot 2,9}{4,148} + 1450 \cdot \frac{1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 3,1 \cdot 0,1}{4,148} = 1,63 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Tuulutusavade pindala õhkvahe übermõõdu pikkuses ε :

$$\varepsilon = \frac{0,04}{37,4} = 1,070 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{m}$$

Põranda soojuslähivus vastavalt valemile 9:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2,08} + \frac{1}{0,97+1,63} = 0,865 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Alt tuulutatava põranda soojajuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U_{tp} = \frac{1}{0,865} = 1,156 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

5.2. Välisseinte soojusjuhtivuse arvutamine

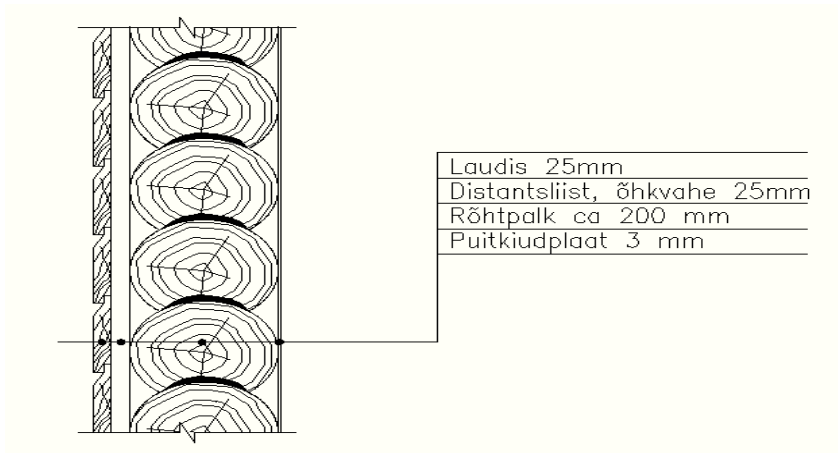
Hoonel esineb kolme erineva konstruktsiooniga välisseinu. Hoone välisseinad on väljastpoolt kaetud kogu ulatuses voodrilauaga. Seestpoolt katab välisseinu puitkiudplaat koos siseviimistlusega.

Hoone seinakonstruktsioonid:

- Rõhtpalkkonstruktsioon paksusega ≈ 20 cm. Konstruktsiooni välispiire pindala arvestades esimese korruse kõrgusega 2,35 m, on 27,44 m². Konstruktsiooniga külgnab 8,39 m² ulatuses trepikoda, mis on soojustamata ning kütmata hooneosa.
- Püstpalkkonstruktsioon paksusega ≈ 20 cm. Konstruktsiooni välispiire pindala arvestades esimese korruse kõrgusega 2,35 m, on 22,90 m². Konstruktsiooniga külgnab 11,23 m² ulatuses sahver, mis on soojustamata ning kütmata hooneosa.
- Puitkarkasskonstruktsioon kogupaksusega 20 cm. Soojustuskihi paksuseks on 15cm. Konstruktsiooni välispiire pindala arvestades esimese korruse kõrgusega 2,35 m, on 42,23 m². Konstruktsiooniga külgnab 10,62 m² ulatuses veranda, mis on soojustamata ning kütmata hooneosa.

Voodritagune õhkvahe pole tuulutatav, seetõttu on kaasatud arvutustesse nii õhkvahe kui voodrilaud.

Rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus



Joonis 5.2 Rõhtpalkkonstruktsioon

Rõhtpalkkonstruktsiooni erinevate komponentide soojatakistus (R) arvutatakse valemiga 1 [2]. Kogu piirdetarindi soojatakistus (R_t) arvutatakse valemiga 2 [2] ja soojusjuhtivus (U) arvutatakse valemiga 3 [2]. Vastavad tulemused on kantud tabelisse 5.5

Tabel 5.5 Rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruktsiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)
Välispind			0,04
Laudis	0,025	0,12	0,21
Õhkvahe	0,025		0,18
Palk	0,20	0,12	1,67
Puitkiudplaat	0,003	0,18	0,02
Sisepind			0,13
R (m²K/W)			2,25
U (W/(mK))			0,44

Kütmata ruumi soojustakistus R_u vastavalt valemile 16:

$$R_u = \frac{8,39}{k(8,39 \cdot 2,63) + 0,33 \cdot 3 \cdot 18,6} = 0,21 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva rõhtpalkkonstruktsiooni erinevate komponentide soojatakistus (R) arvutatakse valemiga 1 [2]. Kogu piirdetarindi soojatakistus (R_t) arvutatakse valemiga 2 [2] ja soojusjuhtivus (U) arvutatakse valemiga 3 [2]. Vastavad tulemused on kantud tabelisse 5.6

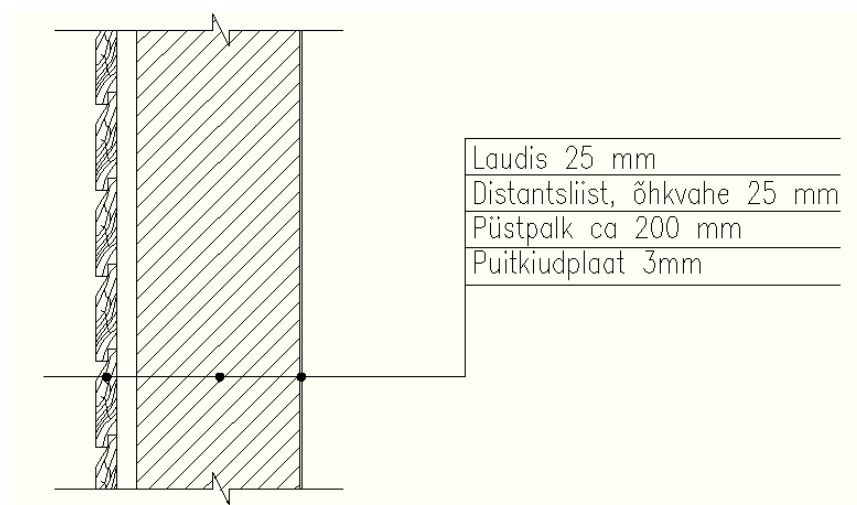
Tabel 5.6 Kütmata ruumiga kohakuti asetseva rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruktsiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m²K/W)
1	2	3	4
Välispind			0,04
Kütmata hooneosa			0,21
Laudis	0,025	0,12	0,21
1	2	3	4
Õhkvahe	0,025		0,18
Palk	0,20	0,12	1,67
Puitkiudplaat	0,003	0,18	0,02
Sisepind			0,13
		R (m²K/W)	2,46
		U (W/(mK))	0,41

Rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{19,05 \cdot 0,440 + 8,39 \cdot 0,41}{27,44} = 0,43 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus



Joonis 5.3 Püstpalkkonstruktsioon

Püstpalkkonstruktsiooni erinevate komponentide soojatakistus (R) arvutatakse valemiga 1 [2]. Kogu piirdetarindi soojatakistus (R_t) arvutatakse valemiga 2 [2] ja soojusjuhtivus (U) arvutatakse valemiga 3 [2]. Vastavad tulemused on kantud tabelisse 5.7

Tabel 5.7 Püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruktsiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)
Välispind			0,04
Laudis	0,025	0,12	0,21
Õhkvähe	0,025		0,18
Palk	0,20	0,12	1,67
Puitkiudplaat	0,003	0,18	0,02
Sisepind			0,13
R (m²K/W)			2,25
U (W/(mK))			0,44

Kütmata ruumi soojustakistus R_u vastavalt valemile 16:

$$R_u = \frac{11,23}{k(11,23 \cdot 2,63) + 0,33 \cdot 3 \cdot 14,7} = 0,26 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni erinevate komponentide soojatakistus (R) arvutatakse valemiga 1 [2]. Kogu piirdetarindi soojatakistus (R_t) arvutatakse valemiga 2 [2] ja soojusjuhtivus (U) arvutatakse valemiga 3 [2]. Vastavad tulemused on kantud tabelisse 5.8

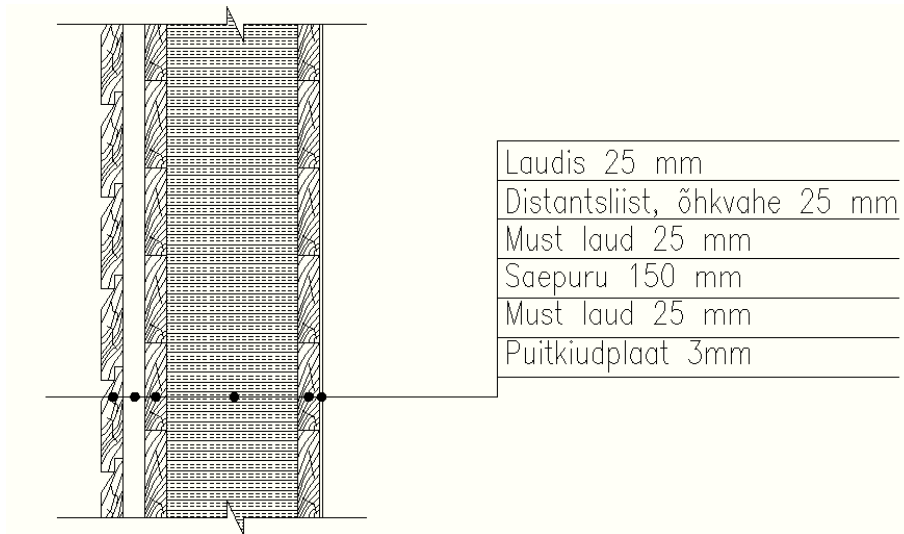
Tabel 5.8 Kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruktsiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m²K/W)
Välispind			0,04
Kütmata hooneosa			0,26
Laudis	0,025	0,12	0,21
Õhkvahe	0,025		0,18
Palk	0,20	0,12	1,67
Puitkiudplaat	0,003	0,18	0,02
Sisepind			0,13
		R (m²K/W)	2,51
		U (W/(mK))	0,40

Püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{11,67 \cdot 0,440 + 11,23 \cdot 0,40}{22,90} = 0,42 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus



Joonis 5.4 Puitkarkasskonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,07} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 3,13 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 2,24 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{2,24} + \frac{0,6}{3,13} + \frac{0,05}{2,24}} = 2,96 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{150 \text{ saepuru}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,15}{0,12} + \frac{0,15}{0,07} + \frac{0,15}{0,12}} = 1,94 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,025}{0,12} + 1,944 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 2,93 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{2,96+2,93}{2} = 2,94 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{2,94} = 0,34 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{2,96-2,93}{2 \times 2,94} \times 100\% = 0,5\%$$

Kütmata ruumi soojustakistus R_u vastavalt valemile 16:

$$R_u = \frac{10,62}{k(10,62 \cdot 4,00) + 0,33 \cdot 3 \cdot 17,84} = 0,18 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kütmata ruumil, milleks on veranda, on 7,31 m² klaaspinda. Klaasi paksus on 3 mm. Kütmata ruumi ja väliskeskkonna vahel asuva komponendi soojusjuhtivuse $U_{e,k}$ leian puitosa ja klaasosa kaalutud keskmist arvestades vastavalt valemile 17.

$$U = \frac{3,3 \cdot 1,79 + 7,32 \cdot 5,0}{10,62} = 4,00 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{2,94+0,18} = 0,32 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{31,61 \cdot 0,34 + 10,62 \cdot 0,32}{42,23} = 0,33 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

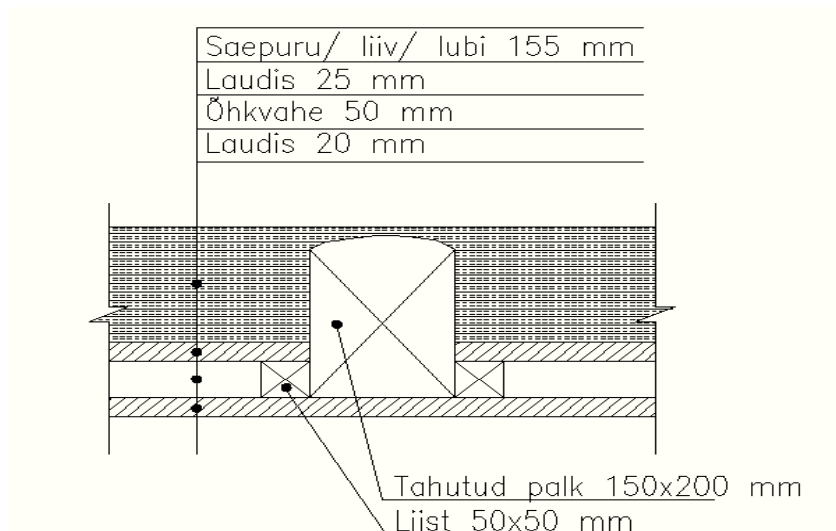
Keskmine seina soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{27,44 \cdot 0,43 + 22,90 \cdot 0,42 + (42,23 \cdot 0,33)}{92,57} = 0,39 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

5.3 Pööningu vahelae soojusjuhtivus

Hoonel on eterniidiga kaetud viilkatus. Eterniidi alla on jäetud vana mitmekihiline laastkate. Katusealune on hästi ventileeritud, mille alusel arvestakse katuseks pööningu vahelae. Katusealune ventileeritud õhuruum ja katusekate jäetakse kogusoojatakistuses arvestamata. Hoone katusealune on osaliselt välja ehitatud. Pööningu vahelae pindala on 82,63 m², väljaehitatud osa pindala on 20,73 m². Väljaehitatud osa on kasutusel vaid suvekuudel ning on kütmata hooneosa.

Väljaehitamata pööninguosa vahelae soojusjuhtivus



Joonis 5.5 Pööningu vahelagi

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,155}{1,5} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 0,78 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 1,55 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{1,55} + \frac{0,6}{0,78} + \frac{0,2}{1,55}} = 1,11 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{\left(\frac{0,15}{0,12}\right)} + \frac{0,6}{\left(\frac{0,15}{1,5}\right)} + \frac{0,2}{\left(\frac{0,15}{0,12}\right)}} = 0,16 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,02}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,025}{0,12} + 0,16 + 0,1 = 0,84 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{1,11+0,84}{2} = 0,97 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

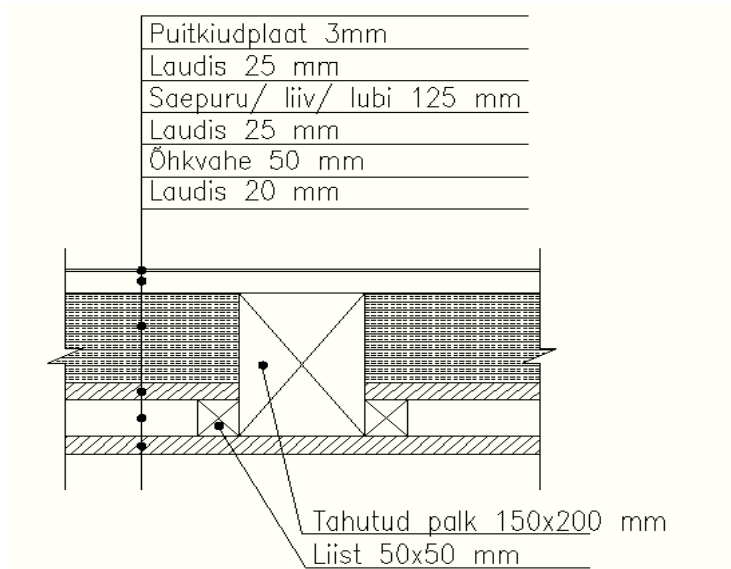
Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{0,97} = 1,03 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{1,11-0,84}{2 \times 0,97} \times 100\% = 13,4\%$$

Väljaehitatud pööninguosa vahelae soojusjuhtivus



Joonis 5.6 Väljaehitatud pööninguosa vahelagi

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,003}{0,18} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,125}{1,5} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 0,98 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,003}{0,18} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 1,78 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{1,78} + \frac{0,6}{0,98} + \frac{0,2}{1,78}} = 1,20 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{0,15} + \frac{0,6}{1,5} + \frac{0,2}{0,12}} = 0,13 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,003}{0,18} + \frac{0,025}{0,12} + 0,13 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 1,03 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{1,20+1,03}{2} = 1,12 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{1,12} = 0,89 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{1,20-1,03}{2 \times 0,89} \times 100\% = 9,6\%$$

Kütmata ruumi soojustakistus R_u vastavalt valemile 16:

$$R_u = \frac{20,73}{k(20,73 \cdot 1,03) + 0,33 \cdot 3 \cdot 43,5} = 0,32 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kütmata ruumi, milleks on teise korruse väljaehitatud osa, laekonstruktsioon on väljaehitamata põõninguosa vahelaekonstruktsiooniga sarnane. Seega kütmata ruumi ja väliskeskkonna vahel asuva komponendi soojusjuhtivus $U_{e,k} = 1,03 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Piirdetarindi soojusjuhtivus koos kütmata ruumi soojusjuhtivusega vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{1,12+0,32} = 0,69 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Pööningu vahelae soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{61,90 \cdot 1,03 + 20,73 \cdot 0,69}{82,63} = 0,94 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

5.4. Avatäidete soojusjuhtivus

Aknad

Hoonel on kõik aknad säilinud algupärased. Akendeks on kahekordse klaasiga puidust lahusraamidega suure klaaspinnaga aknad. Hoonel on kokku 7,04 m² aknapinda. Kahekordse klaasiga puidust lahusraamidega akna soojusjuhtivuseks on võetud 2,7 W/(m²K) [4]. Hoone esimesel korrusel on kokku 7,04 m² aknapinda.

Uksed

Hoone välisperimeetril asuvaid uusi puituksi ei saa arvestada hoone välispiirde avatäideteks, kuna vaadeldavad ukсед on kütmata kergkonstruktsiooni avatäideteks. Seega arvestan hoone peauksena 60 mm paksuse täispuidust ukse, mis eraldab köetavat pinda sahvrist. Hoone küljeukseks võtan puidust raamijaotusega ja klaaspinnaga ukse, mis eraldab köetavat osa verandast. Hoone peaukse pindala on 1,806 m² ja küljeukse pindala on 1,68 m².

Uste soojusjuhtivuse arvutamine

Peauks

Peaukse kogusoojatakistus vastavalt valemile 2:

$$R_t = 0,13 + 0,46 + 0,04 = 0,63 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Peaukse soojatakistus vastavalt valemile 1:

$$R = \frac{0,06}{0,13} = 0,46 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Peaukse soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{0,63} = 1,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Küljeuks

Küljeukse soojusjuhtivus U_{ku} vastavalt valemile 18:

$$U_{ku} = \frac{5,7 \cdot 0,23 + 2,0 \cdot 1,57 + 0,06 \cdot 2,74}{0,23 + 1,57} = 2,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

6. HOONE SOOJAKAOD

6.1 Välispiirete summaarne soojuserikadu

Alt tuulutatava põranda soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 77,56 \cdot 1,156 = 89,66 \frac{W}{K}$$

Seinte soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 92,57 \cdot 0,39 = 36,10 \frac{W}{K}$$

Pööningu vahelae soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 82,63 \cdot 1,15 = 95,02 \frac{W}{K}$$

Akende soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 7,04 \cdot 2,7 = 19,0 \frac{W}{K}$$

Uksed:

Peaukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,806 \cdot 1,59 = 2,87 \frac{W}{K}$$

Küljeukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,68 \cdot 2,56 = 4,3 \frac{W}{K}$$

Uste soojakaod kokku

$$\Phi_u = 2,87 + 4,3 = 7,17 \frac{W}{K}$$

6.2. Välispiirdeosa külmasildade lisakonduktants

Arvutustes on arvestatud joonkülmasildadega. Vastavad välispiirete geomeetriliste joonkülmasildade soojuslähivused on esitatud lisa 1.

Välissein – välissein

$$\Delta\Psi = 1,0 \cdot 23,5 = 23,5 \text{ W/K}$$

Katuselagi – välissein

$$\Delta\Psi = 0,4 \cdot 37,39 = 14,96 \text{ W/K}$$

Põrand – välissein

$$\Delta\Psi = 0,4 \cdot 37,39 = 14,96 \text{ W/K}$$

Akna liitumine välisseinaga

$$\Delta\Psi = 0,5 \cdot 28,24 = 14,12 \text{ W/K}$$

Tabel 6.1 Välispiirete soojakaod

Piirdetarindi osa	A m ²	U W/(m ² K)	AU W/K	%
Alt tuulutatav põrand	77,56	1,156	28,5	26,9
Seinad	92,57	0,39	11,5	10,9
Pööningu vahelagi	82,63	1,15	30,2	28,7
Aknad	7,04	2,7	6,0	5,7
Uksed	3,49	-	2,3	7,5
Välispiirete külmasildade lisakonduktants	l m	Ψ W/(mK)		
Välissein - välissein	23,5	1	7,5	7,1
Katuselagi – välissein	37,39	0,4	4,8	4,5
Põrand – välissein	37,39	0,4	4,8	4,5
Akna liitumine välisseinaga	28,24	0,5	4,5	4,2
		Kokku:	314,49	100

7. HOONE ENERGIABILANSS

7.1 Hoone soojakulud

Et saada detailsem ülevaade hoone soojakulude kohta, on vaadeldud kraadtundide hulka kuude lõikes, lähtudes kuu keskmisest temperatuurist. Hoone soojakulu arvutustes arvestan kütteperioodiks september – aprill.

Kraadtundide hulk sõltub hoone sisetemperatuurist, välisõhu piirtemperatuurist kütte sisselülitamisel ja ilmastikust.

Sisetemperatuur on peamine soojuslik mugavuse indikaator. Kerge kehalise aktiivsuse korral on neutraalne ruumitemperatuur talvel +22°C. [7] Seega kasutan arvutustes hoone sisetemperatuurina väärtust +22°C.

Arvutustes kasutan Võru mõõtejaama kuude keskmist õhutemperatuuri. Andmed on esitatud lisas 1.

Soojakulu pörandast

Sügavamal on pinnase temperatuur Eestis aastaringselt +6...7 °C [6]

Pörandate ja välisõhu temperatuurivaheks arvestan +22 °C-(+7°C)=15 °C

Kraadtundide hulk pöranda puhul leian valemiga:

$$Kh = \Delta t \cdot t \cdot n_p$$

Arvutustulemused on esitatud kuude lõikes tabelis 7.1

Tabel 7.1. Kraadtundide hulk kuude kaupa pörandal

Kuu	Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Märts	Apr
Kraadtunnid	10800	11160	10800	11160	11160	10080	11160	10800

Soojakulu pörandast on esitatud tabelis 7.2.

Soojakulu õhuvahetusele

Toatemperatuuriga õhu mahukaal on 1,23 kg/m³, selle erisoojus 1,01 kJ/(kgK) ehk 0,278 Wh/(kgK). Õhu erisoojus seega 1,23 x 0,278=0,34 Wh/(m³K). Kui õhuvahetus on 0,5 – kordne, kulub sooja hoone iga kuupmeetri kohta 0,5 x 0,34= 0,17 W/(m³K). [6]

Antud hoone kubatuur on 182,3 m³.

Soojakulu õhuvahetusega on esitatud tabelis 7.2.

Soojakulu veega

Eeldades, et sooja vee kulu inimese kohta päevas on 50 l siis soojakulu:

$$Q_v = 50 \times 1,16 \times 30 = 1740 \frac{Wh}{d} = 1,74 \frac{kWh}{in. d}$$

Soojakulud kokku

Tabelis 7.2 on esitatud erinevad hoone soojakulud kütteperioodil kuude kaupa.

Tabel 7.2 Hoone soojakulud kuude kaupa

		Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Mär	Apr	Kokku
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Päevi		30	31	30	31	31	28	31	30	242
Keskmine välistemperatuur	°C	10,7	5,8	0,3	-4	-6,3	-5,7	-1,3	4,8	
Temperatuuri vahe	°C	11,3	16,2	21,7	26	28,3	27,7	23,3	17,2	
Kraadtunnid	Kh	8136	12053	15624	19344	21055	18614	17335	12384	124546
Seinte soojakulu	kWh	294	435	564	698	760	672	626	447	4496
Akende soojakulu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2366
Uste soojakulu	kWh	58	86	112	139	151	133	124	89	893
Vahelae soojakulu	kWh	773	1145	1485	1838	2001	1769	1647	1177	11834
Põranda soojakulu	kWh	968	1001	968	1001	1001	904	1001	968	7811
Külmasildade soojakulu	kWh	549	814	1055	1306	1422	1257	1170	836	8409
Soojakulu soojale veele	kWh	52,2	53,94	52,2	53,94	53,94	48,72	53,94	52,2	421
Soojakulu õhuvahetusele	kWh	252	374	484	599	652	577	537	384	3859
Kokku soojakulud	kWh	3246	4354	5296	6347	6816	6047	5798	4409	40093

7.2 Hoone soojatulud

Päikeseenergia

Akende kaudu hoonesse sisenev päikeseenergia hulk kWh kuus leitakse valemiga 24. Akna suunast sõltuv parandustegur F_s on esitatud lisas 1. Aknaava pindala A_g koos piitade ja raamidega on $1,005 \text{ m}^2$, valgusava pindala on $0,712 \text{ m}^2$. Klaaside kogukiirguse läbilaskvuse tegur g väärtused on esitatud lisas 1. Parandustegur F_1 leitakse valemiga 25. Raamide parandustegur F_r on valgusava ja aknaava pindala suhe. Kardinate parandustegur F_k väärtused on esitatud lisas 1. Varjete parandustegurid F_v on esitatud lisas 1.

$$F_r = \frac{0,712 \text{ m}^2}{1,005 \text{ m}^2} = 0,708$$

Hoone akendel on läbipaistev tekstiilkardin seespool, mille parandustegur $F_k = 0,80$. Andmete puudumisel leitakse klaaside kogukiirguse läbilaskvuse tegur valemiga 26. Klaaside otsekiirguse läbilaskvuse tegur g_0 väärtused on esitatud lisas 1.

Arvutustulemused on esitatud kuude kaupa tabelis 7.3.

Inimeste eritatud soojusenergia

Hoonetes elab alaliselt üks inimene, kelle hoonetes viibimise kestus on 16 h ööpäevas. Inimestelt eralduv soojusenergia leitakse vastavalt valemile 27.

$$Q_{\text{in}} = 70 \cdot 1 \cdot 16 = 1,12 \text{ kWh/d}$$

Arvutustulemused on esitatud kuude kaupa tabelis 7.3.

Olmeelektrist tingitud soojusenergia

Peaaegu kogu hoonetes tarbitud elekter muundub soojuseks. Selle hulk sõltub kasutatavate valgustite ja seadmete tüübist ja kasutamismeetodist.[6]

Kuna hoones elab alaliselt ainult 1 inimene, on hoones kasutatav elektrienergia hulk küllatki väike, keskmiselt 55 kWh kuus.

Hoone soojatulud kokku

Tabel 7.3 Hoone soojatulud kuude kaupa

Kuu		Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Mär	Apr	Kokku
Päevi		30	31	30	31	31	28	31	30	242
Aknaid läbiv päikesekiirgus										
N (1 m ²)	kWh	10,99	5,55	2,59	2,27	3,78	8,51	16,65	15,76	
E (3 m ²)	kWh	49,90	24,56	7,95	7,53	11,93	27,82	65,24	71,00	
S (1 m ²)	kWh	23,72	13,76	5,90	4,50	8,09	14,35	32,67	29,74	
W (2 m ²)	kWh	32,62	15,72	5,96	5,01	8,62	19,19	44,77	44,77	
Kokku	kWh	117,23	59,59	22,4	19,31	32,42	69,87	159,33	161,27	641,42
Inimesed	kWh	33,60	34,72	33,60	34,72	34,72	31,36	34,72	33,60	271,04
Olmeelekter	kWh	55	55	55	55	55	55	55	55	440
Kokku soojatulud	kWh	206	149	111	109	122	156	249	250	1352

7.3 Hoone energiabilanss kuude kaupa

Tabel 7.4 Hoone energiabilanss

<i>Soojakulud kokku</i>										
Kuu		Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Mär	Apr	Kokku
Päevi		30	31	30	31	31	28	31	30	242
Keskmine välistemperaatuur	°C	10,7	5,8	0,3	-4	-6,3	-5,7	-1,3	4,8	
Temperatuuri vahe	°C	11,3	16,2	21,7	26	28,3	27,7	23,3	17,2	
Kraadtunde	Kh	8136	12053	15624	19344	21055	18614	17335	12384	124546
Seinte soojakulu	kWh	294	435	564	698	760	672	626	447	4496
Akende soojakulu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2366
Uste soojakulu	kWh	58	86	112	139	151	133	124	89	893
Vahelae soojakulu	kWh	773	1145	1485	1838	2001	1769	1647	1177	11834
Põranda soojakulu	kWh	968	1001	968	1001	1001	904	1001	968	7811
Külma-sildade soojakulu	kWh	549	814	1055	1306	1422	1257	1170	836	8409
Soojakulu soojale veele	kWh	52,2	53,94	52,2	53,94	53,94	48,72	53,94	52,2	421
Soojakulu õhu-vahetusele	kWh	252	374	484	599	652	577	537	384	3859
Kokku soojakulud	kWh	3246	4354	5296	6347	6816	6047	5798	4409	40093
<i>Soojatulud kokku</i>										
Aknaid läbiv päikesekiirgus										
N (1 m ²)	kWh	11	5,55	2,59	2,27	3,78	8,51	16,65	15,76	
E (3 m ²)	kWh	49,9	24,6	7,95	7,53	11,93	27,82	65,24	71,00	
S (1 m ²)	kWh	23,7	13,8	5,90	4,50	8,09	14,35	32,67	29,74	
W (2 m ²)	kWh	32,6	15,7	5,96	5,01	8,62	19,19	44,77	44,77	
Kokku päike	kWh	117	59,6	22,4	19,31	32,42	69,87	159,3	161,2	641,42
Inimesed	kWh	33,6	34,7	33,60	34,72	34,72	31,36	34,72	33,60	271,04
Olmeelektter	kWh	55	55	55	55	55	55	55	55	440
Kokku soojatulud	kWh	206	149	111	109	122	156	249	250	1352
<i>Energiakulu</i>	kWh	1726	2563	3292	4035	4357	3812	3509	2517	38741

Nagu tabelist 7.4 selgub on hoone energiakulu väga suur, 499,5 kWh m² kohta. Seetõttu vajab hoone lisasoojustamist ning tehnosüsteemide korrastamist.

8. VÕIMALUSED LISASOOJUSTAMISEKS

8.1 Lisasoojustamise võimalus nr.1

Olemasolev fassaadikate, milleks on voodrilaud jäetakse alles. Voodrilaua ja seinakonstruktsiooni vaheline õhkvahe paksusega 25 mm soojustatakse termovahuga $\lambda=0,041$ W/(m·K).

Sokliosaa soojustatakse 100 mm paksuse EPS 120 Perimeeter vahtplastiga, mille soojuseri juhtivus $\lambda=0,036$ W/(m·K). Sokliosaa kaetakse tsementlaastplaadi baasil sokliplaadiga, mille paksus on 10 mm ning soojuseri juhtivus $\lambda=0,2$ W/(m·K). Peale sokliosaa soojustust rajatakse ümber hoone perimeetri pandus sadevee eemalejuhtimiseks soklilt.

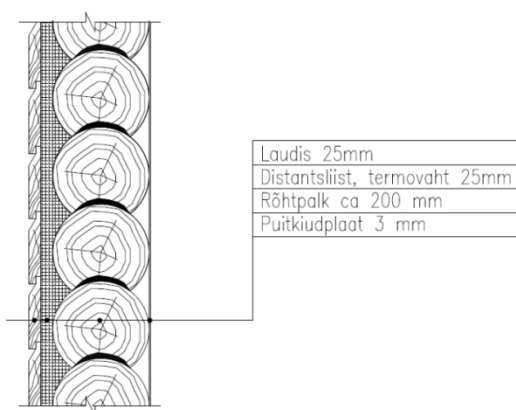
Pööningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Olemasolev soojustuskiht, milleks on saepuru/liiv/lubi eemaldatakse ning asendatakse 500 mm paksuse tselluvilla kihiga.

Olemasolevad avatäited säilitatakse.

8.1.1 Seinakonstruktsiooni soojustamine termovahuga

Voodrilaua ja seinakonstruktsiooni vaheline õhkvahe soojustatakse termovahuga.

Rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus



Joonis 8.1 Termovahuga soojustatud rõhtpalkkonstruktsioon

Termovahuga täidetud õhkvahe soojustakistus R vastavalt valemile 1:

$$R = \frac{0,25}{0,035} = 0,71 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Asendades peatükk 5 leitud rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivuse tulemustes õhkvahe väärtused termovahuga täidetud õhkvahe väärtustega saadakse vastava piirdetarindi kogusoojatakistuseks vastavalt valemile 2:

$$R_t = 0,04 + 0,21 + 0,71 + 1,67 + 0,02 + 0,13 = 2,78 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{2,78} = 0,36 \text{ (W/(mK))}$$

Asendades peatükk 7 leitud kütmata ruumiga kohakuti asetseva rõhtpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivuse tulemustes õhkvahe väärtused termovahuga täidetud õhkvahe väärtustega saadakse vastava piirdetarindi kogusoojatakistuseks vastavalt valemile 2:

$$R_t = 0,04 + 0,21 + 0,21 + 0,71 + 1,67 + 0,02 + 0,13 = 2,99 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus U vastavalt valemile 3:

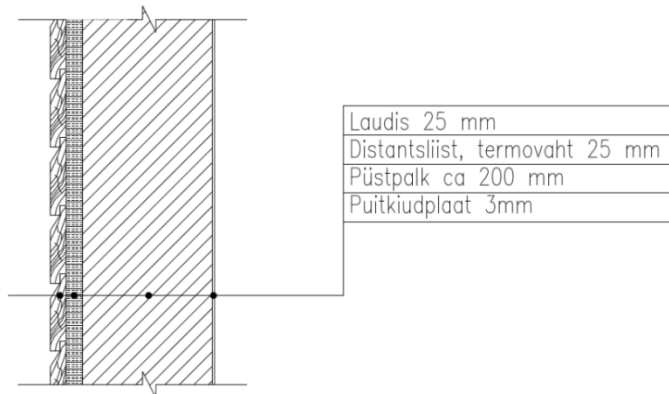
$$U = \frac{1}{2,99} = 0,33 \text{ (W/(mK))}$$

Rõhtpalkkonstruktsiooni keskmine soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{19,05 \cdot 0,36 + 8,39 \cdot 0,33}{27,44} = 0,35 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus

Voodrilaua ja seinakonstruktsiooni vaheline õhkvahe soojustatakse termovahuga.



Joonis 8.2 Termovahuga soojustatud püstpalkkonstruktsioon

Termovahuga täidetud õhkvahe soojustakistus vastavalt valemile 1:

$$R = \frac{0,025}{0,035} = 0,71 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Asendades peatükk 5 leitud püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivuse tulemustes õhkvahe väärtused termovahuga täidetud õhkvahe väärtustega saadakse vastava piirdetarindi kogusoojatakistuseks vastavalt valemile 2:

$$R_t = 0,04 + 0,21 + 0,71 + 1,67 + 0,02 + 0,13 = 2,78 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus U vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{2,78} = 0,36 \text{ (W/(mK))}$$

Asendades peatükk 5 leitud kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivuse tulemustes õhkvahe väärtused termovahuga täidetud õhkvahe väärtustega saadakse vastava piirdetarindi kogusoojatakistuseks vastavalt valemile 2:

$$R_t = 0,04 + 0,26 + 0,21 + 0,71 + 1,67 + 0,02 + 0,13 = 3,04 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus U vastavalt valemile 3:

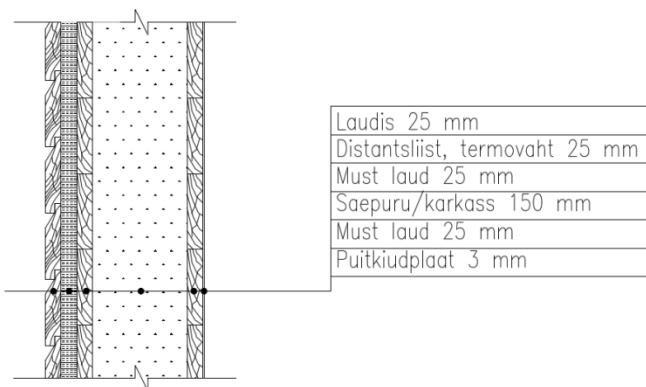
$$U = \frac{1}{3,04} = 0,32 \text{ (W/(mK))}$$

Püstpalkkonstruktsiooni keskmine soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{11,67 \cdot 0,36 + 11,23 \cdot 0,32}{22,90} = 0,34 \quad \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus

Voodrilaua ja seinakonstruktsiooni vaheline õhkvahe soojustatakse termovahuga.



Joonis 8.3 Termovahuga soojustatud puitkarkasskonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,025}{0,035} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,07} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 3,67 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,025}{0,035} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 2,78 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{2,78} + \frac{0,6}{3,67} + \frac{0,05}{2,78}} = 3,51 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{150 \text{ saepuru}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{\left(\frac{0,15}{0,12}\right)} + \frac{0,6}{\left(\frac{0,15}{0,07}\right)} + \frac{0,05}{\left(\frac{0,15}{0,12}\right)}} = 1,94 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,025}{0,035} + \frac{0,025}{0,12} + 1,944 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 3,47 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{3,51+3,47}{2} = 3,49 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{3,49} = 0,29 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{3,51-3,47}{2 \times 3,49} \times 100\% = 0,6\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{3,49+0,18} = 0,27 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{31,61 \cdot 0,29 + 10,62 \cdot 0,27}{42,23} = 0,285 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Keskmine seina soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{27,44 \cdot 0,35 + 22,90 \cdot 0,34 + (42,23 \cdot 0,285)}{92,57} = 0,32 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

8.1.2 Pinnasel asuva põranda soojustamine

Sokliosa soojustamine

Soojustuseta sokkel on külmasillaks, mille juures on seinte sisepind allservas ebameeldivalt jahe ning kus on puittarindite kahjustuste ja hallituse oht. Ka soojakadu selle kaudu on suur. Sokkel peaks olema soojustatud põrandast ca 1 m võrra allapoole; külmasilla oluliseks vähendamiseks piisab juba 10 cm paksusest soojustusest. [6]

Sokliosa soojustatakse 100 mm paksuse EPS 120 Perimeeter vahtplastiga, mille soojuseri juhtivus $\lambda=0,036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [15]. Sokliosa kaetakse tsementlaastplaadi baasil sokliplaadiga, mille paksus on 10 mm ning soojuseri juhtivus $\lambda=0,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [14]

Tabel 8.1 Vundamendiseina soojusjuhtivus ja soojustakistused

Konstruktsiooni osa	d (m)	λ (W/(mK))	R (m ² K/W)
Välispind			0,04
Tsementlaastplaat	0,01	0,2	0,05
EPS 120 Perimeeter	0,1	0,036	2,77
Vundamendisein	0,40	2,3	0,17
Sisepind			0,13
		R (m²K/W)	3,16
		U (W/(mK))	0,316

Põranda iseloomulik laius B^{\cdot} vastavalt valemile 12:

$$B^{\cdot} = \frac{77,56}{0,5 \cdot 37,4} = 4,148 \text{ (m)}$$

Välisõhu kohal asuva konstruktsiooni ekvivalentne kogupaksus d_g vastavalt valemile 11:

$$d_g = 0,51 + 2,0 \cdot 0,17 + 0 + 0,04 = 0,527 \text{ (m)}$$

Pinnase soojajuhtivus U_g vastavalt valemile 10:

$$U_g = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 4,148 + 0,527} \ln \frac{\pi \cdot 4,148}{0,527} + 1 = 0,958 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Võrdväärne soojusjuhtivus õhkvahe ja väliskeskkonna vahel U_x vastavalt valemile 13:

$$U_x = 2 \cdot \frac{0,3 \cdot 0,316}{4,148} + 1450 \cdot \frac{1,070 \cdot 10^{-3} \cdot 3,1 \cdot 0,1}{4,148} = 2,04 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Tuulutusavade pindala õhkvahe übermõõdu pikkuses ε :

$$\varepsilon = \frac{0,04}{37,4} = 1,070 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{m}$$

Põranda soojuslähivus vastavalt valemile 9:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{2,08} + \frac{1}{0,96 + 2,04} = 1,15 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Alt tuulutatava põranda soojajuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U_{tp} = \frac{1}{1,15} = 0,870 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

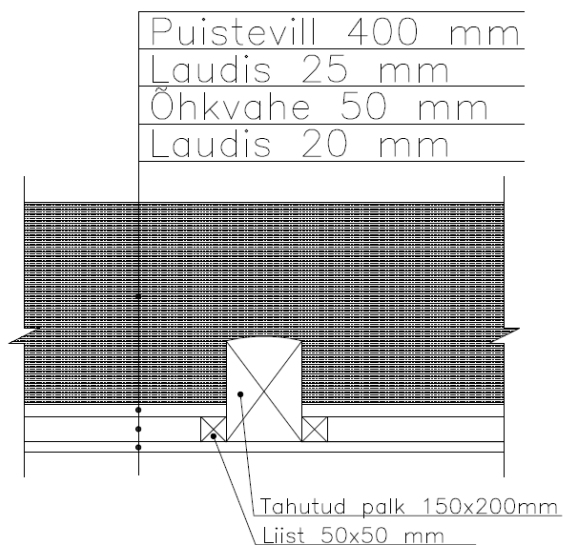
8.1.3 Pööningu vahelae soojustamine puistevillaga

Pööningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Olemasolev soojustuskiht, milleks on saepuru/liiv/lubi eemaldatakse ning asendatakse 500mm paksuse tselluvilla kihiga.

Enne paigaldust rajatakse käiguteed ning teostatakse läbiviigid. Samuti isoleeritakse korstnjalg nt. fooliumipõhise materjaliga. Katusealuste soojustamisel tagatakse tuulesuunamine. Räästa tuuletõke peab ulatuma vähemalt 150 mm isolatsioonikihi pinnast kõrgemale. [11]

Tööde tegemise juures on oluline jälgida, et tselluvilla ei tohi puistada katusekonstruktsiooni ja seina vahele nii, et see ummistaks tuulutust.

Väljaehitamata pööninguosa vahelae soojusjuhtivus



Joonis 8.4 Puistevillaga soojustatud pööningu vahelagi

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,4}{0,041} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 11,47 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,3}{0,041} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 9,03 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{9,03} + \frac{0,6}{11,47} + \frac{0,2}{9,03}} = 10,41 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{tselluvill} = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{\left(\frac{0,3}{0,041}\right)} + \frac{0,6}{\left(\frac{0,4}{0,041}\right)} + \frac{0,2}{\left(\frac{0,3}{0,041}\right)}} = 8,62 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + 8,62 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 9,29 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{10,41+9,29}{2} = 9,85 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

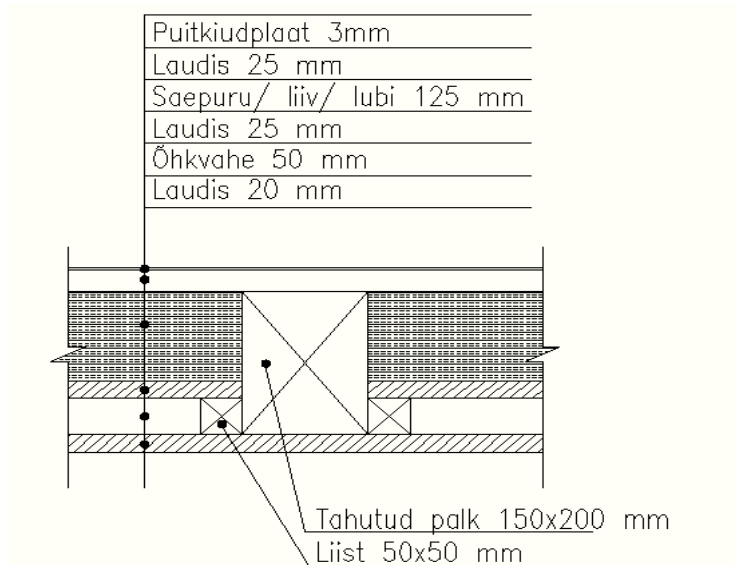
Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{9,85} = 0,10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{10,41-9,29}{2 \times 9,85} \times 100\% = 5,68\%$$

Väljaehitatud pööninguosa vahelae soojusjuhtivus



Joonis 8.5 Väljaehitatud pööningu vahelagi

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,003}{0,18} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,125}{1,5} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 0,98 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,003}{0,18} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 1,78 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,2}{1,78} + \frac{0,6}{0,98} + \frac{0,2}{1,78}} = 1,20 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R = \frac{0,2+0,6+0,2}{\frac{0,15}{0,12} + \frac{0,125}{1,5} + \frac{0,15}{0,12}} = 0,13 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,003}{0,18} + \frac{0,025}{0,12} + 0,13 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,05}{0,31} + \frac{0,02}{0,12} + 0,1 = 1,03 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{1,20+1,03}{2} = 1,12 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{1,12} = 0,89 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{1,20-1,03}{2 \times 0,89} \times 100\% = 9,6\%$$

Kütmata ruumi soojustakistus R_u vastavalt valemile 16:

$$R_u = \frac{20,73}{k(20,73 \cdot 0,1) + 0,33 \cdot 3 \cdot 43,5} = 0,46 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kütmata ruumi, milleks on teise korruse väljaehitatud osa, laekonstruktsioon on väljaehitamata pööninguosa vahelaekonstruktsiooniga sarnane. Seega kütmata ruumi ja väliskeskkonna vahel asuva komponendi soojusjuhtivus $U_{e,k} = 0,1 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Piirdetarindi soojusjuhtivus koos kütmata ruumi soojusjuhtivusega vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{1,12+0,46} = 0,63 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Pööningu vahelae soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{61,90 \cdot 0,1 + 20,73 \cdot 0,63}{82,63} = 0,23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

8.1.4 Hoone soojakaod

Välispiirete summaarne soojuserikadu

Alt tuulutatava põranda soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 77,56 \cdot 0,87 = 67,47 \frac{W}{K}$$

Seinte soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 92,57 \cdot 0,32 = 29,62 \frac{W}{K}$$

Pööningu vahelae soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 82,63 \cdot 0,23 = 19,0 \frac{W}{K}$$

Akende soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 7,04 \cdot 2,7 = 19,0 \frac{W}{K}$$

Uksed:

Peaukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,806 \cdot 1,59 = 2,87 \frac{W}{K}$$

Küljeukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,68 \cdot 2,56 = 4,3 \frac{W}{K}$$

Uste soojakaod kokku

$$\Phi_u = 2,87 + 4,3 = 7,17 \frac{W}{K}$$

Tabel 8.2 Välispiirete soojakaod

Piirdetarindi osa	A m²	U W/(m²K)	AU W/K	%
Alt tuulutatav põrand	77,56	0,87	67,47	34,56
Seinad	92,57	0,32	29,62	15,17
Pööningu vahelagi	82,63	0,23	19,0	9,73
Aknad	7,04	2,7	19,0	9,73
Uksed	3,49	-	7,17	3,67
Välispiirete külmasildade lisakonduktats	l m	Ψ W/(mK)	ΔΨ W/K	
Välissein - välissein	23,5	0,5	11,75	6,02
Katuselagi – välissein	37,39	0,4	14,96	7,66
Põrand – välissein	37,39	0,4	14,96	7,66
Akna liitumine välisseinaga	28,24	0,4	11,30	5,79
		Kokku:	195,23	100

Soojakulud kokku

Tabelis 8.3 on esitatud erinevad hoone soojakulud kütteperioodil kuude kaupa.

Tabel 8.3 Hoone soojakulud kuude kaupa

		Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Mär	Apr	Kokku
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Päevi		30	31	30	31	31	28	31	30	242
Keskmine välis-temperatuur	°C	10,7	5,8	0,3	-4	-6,3	-5,7	-1,3	4,8	
Temperatuuri vahe	°C	11,3	16,2	21,7	26	28,3	27,7	23,3	17,2	
Kraadtunde	Kh	8136	12053	15624	19344	21055	18614	17335	12384	124546
Seinte soojakadu	kWh	241	357	463	573	624	551	513	367	3689
Akende soojakadu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2366
Uste soojakadu	kWh	58	86	112	139	151	133	124	89	892
Vahelae soojakadu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2366
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Põranda soojakadu	kWh	729	753	729	753	753	680	753	729	5878
Külmasildade soojakadu	kWh	431	638	828	1025	1115	986	918	656	6597
Soojakadu soojale veele	kWh	52	54	52	54	54	49	54	52	421
Soojakadu õhuvahetusele	kWh	252	374	484	599	652	577	537	384	3859
Kokku soojakaod	kWh	2072	2720	3261	3878	4149	3684	3558	2747	26069

Soojakulud võrreldes soojustamata hoonega

Hoone soojakulud peale välispiirete soojustamist on 26069 kWh. Võrreldes algse, soojustamata hoone soojakuludega, milleks oli 40093 kWh on soojakulud vähenenud 14024 kWh ehk 35%.

8.1.6 Soojustustööde maksumus

Soojustustööde maksumused on arvestatud hetkel kehtivate materjalide hindadega.

Termovahuga soojustatud õhkvahe – ca 550 EUR. Hind sisaldab transportteenust ning termovahu paigaldust.

Põõningu soojustamine 500 mm paksuse puistevillaga – ca 830 EUR. Hind sisaldab transportteenust ning puistevilla paigaldust.

EPS 120 Perimeeter vahtpolüsterooliga soojustatud ning sokliplaadiga kaetud sokliosade – ca 2000 EUR. Hind sisaldab materjalihinda ning vajaliku tööjõu hinda.

Soojustustööde kogumaksumus – ca **3380** EUR

8.2 Lisasoojustamise võimalus nr.2

Hoone fassaad jäetakse puutumata. Hoone seinakonstruktsioonid soojustatakse seestpoolt 25mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$, millele lisatakse soojustuskihiks 50 mm mineraalvilla $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 12 mm kipsplaadiga $\lambda=0,23$.

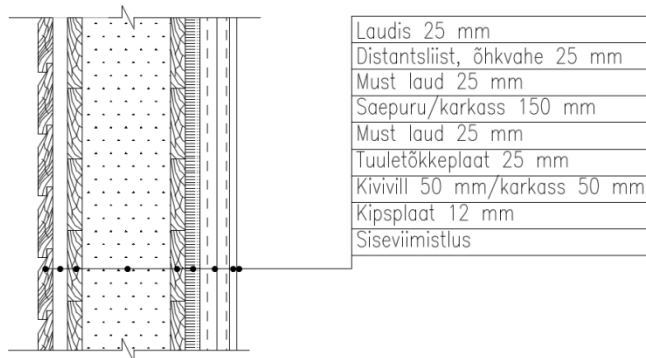
Olemasolev põrandakonstruktsioon eemaldatakse kogu hoone ulatuses. Pinnas planeeritakse vastavalt vajalikule kõrgusele. Planeeritud ning tihendatud pinnasele asetatakse soojustuskiht EPS 100 kahes kihis, et vältida võimalike läbivaid vuuke, kogupaksusega 200 mm. Soojustuskihi peale asetatakse hüdroisolatsioon, mille peale valatakse raudbetoon plaat.

Põõningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Olemasolev soojustuskiht, milleks on saepuru/liiv/lubi eemaldatakse ning asendatakse 500 mm paksuse tselluvilla kihiga. Olemasolevad avatäited säilitatakse.

8.2.1 Seinakonstruktsiooni soojustamine seestpoolt

Puitkarkasskonstruktsioon

Puitkarkasskonstruktsioon kaetakse seestpoolt 25mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$, millele lisatakse soojustuskihiks 50mm mineraalvilla $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 12mm kipsplaadiga $\lambda=0,23$.



Joonis 8.6 Seestpoolt soojustatud puitkarkasskonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,07} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,025}{0,05} + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 5,0$$

(m²K/W)

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + 0,18 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,25}{0,03} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 3,53$$

(m² K/W)

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{3,53} + \frac{0,6}{5,0} + \frac{0,05}{3,53}} = 4,73 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{150 \text{ saepuru}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{0,12} + \frac{0,6}{0,07} + \frac{0,05}{0,12}} = 1,94 \quad (\text{m}^2 \text{ K/W})$$

$$R_{50 \text{ mineraalvill}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{0,12} + \frac{0,6}{0,05} + \frac{0,05}{0,12}} = 0,84 \quad (\text{m}^2 \text{ K/W})$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,025}{0,12} + 1,94 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,025}{0,03} + 0,84 + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 4,64$$

(m² K/W)

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{4,73+4,64}{2} = 4,69 \quad (\text{m}^2 \text{ K/W})$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{4,69} = 0,21 \quad \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{4,73-4,64}{2 \times 4,69} \times 100\% = 1,0\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

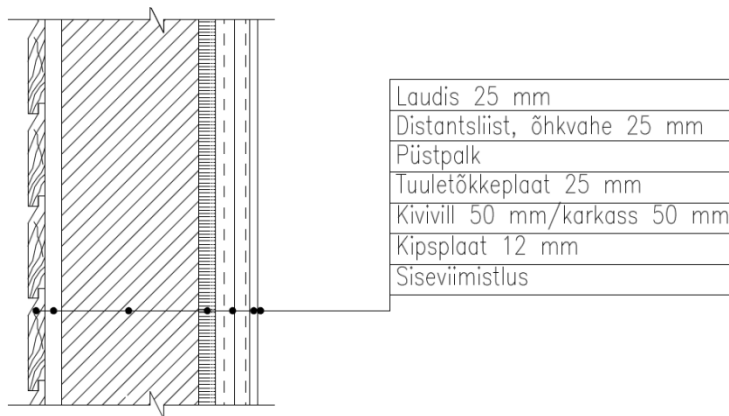
$$U = \frac{1}{4,69+0,18} = 0,20 \quad \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{31,61 \cdot 0,21 + 10,62 \cdot 0,20}{42,23} = 0,21 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Püstpalk

Püstpalkkonstruktsioon kaetakse seestpoolt 25mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$, millele lisatakse soojustuskihiks 50mm mineraalvilla $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 12mm kipsplaadiga $\lambda=0,23$.



Joonis 8.7 Seestpoolt soojustatud püstpalkkonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 4,11 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + 0,18 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,25}{0,03} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 3,53 \text{ (m}^2\text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{3,53} + \frac{0,6}{4,11} + \frac{0,05}{3,53}} = 4,02 \text{ (m}^2\text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{50 \text{ mineraalvill}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\left(\frac{0,05}{0,12}\right) + \left(\frac{0,6}{0,05}\right) + \left(\frac{0,05}{0,12}\right)} = 0,84 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,025}{0,03} + 0,84 + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 3,95 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{4,02+3,95}{2} = 3,99 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{3,99} = 0,25 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{4,02-3,95}{2 \times 3,99} \times 100\% = 0,9\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

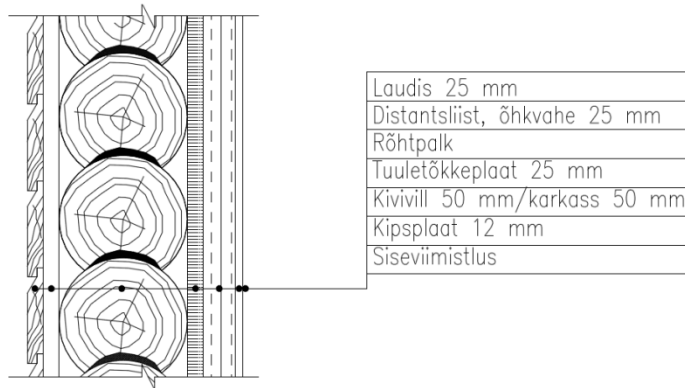
$$U = \frac{1}{4,69+0,26} = 0,20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{31,61 \cdot 0,25 + 10,62 \cdot 0,20}{42,23} = 0,24 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Rõhtpalk

Rõhtpalkkonstruktsioon kaetakse seestpoolt 25mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$, millele lisatakse soojustuskihiks 50mm mineraalvilla $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 12mm kipsplaadiga $\lambda=0,23$.



Joonis 8.8 Seestpoolt soojustatud rõhtpalkkonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 4,11 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + 0,18 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,25}{0,03} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 3,53 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{3,53} + \frac{0,6}{4,11} + \frac{0,05}{3,53}} = 4,02 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{50 \text{ mineraalvill}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{0,12} + \frac{0,6}{0,05} + \frac{0,05}{0,12}} = 0,84 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,12} + 0,18 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,025}{0,03} + 0,84 + \frac{0,012}{0,23} + 0,13 = 3,95 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{4,02+3,95}{2} = 3,99 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{3,99} = 0,25 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{4,02 - 3,95}{2 \times 3,99} \times 100\% = 0,9\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 16:

$$U = \frac{1}{4,69+0,21} = 0,20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

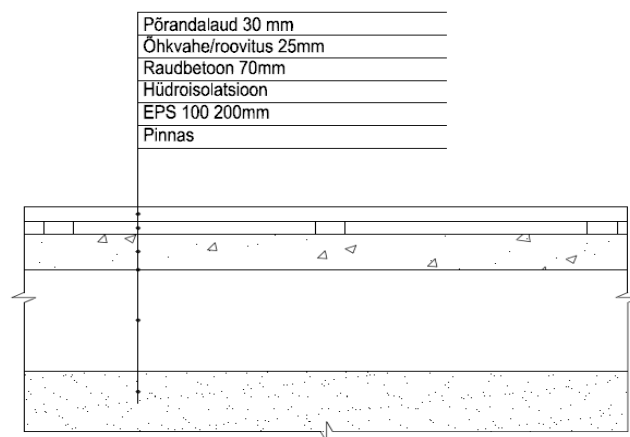
$$U = \frac{31,61 \cdot 0,25 + 10,62 \cdot 0,20}{42,23} = 0,24 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

8.2.2 Põrandaplaadi soojustamine.

Pinnase kohal paikneva köetava ruumi põranda soojustuskihi paksus peaks olema vähemalt 20...30 cm. Olemasolevad tarindused selle lisamist tavaliselt ei võimalda. Põranda

pealtpoolt soojustamisega kaasneks põrandatarindi paiknemine jahedas ja niiskes ning niiskuse tarindisse kondenseerumise oht. [6]

Seepärast on nii pinnase kohal kui ka pinnasel paikneva põrandal lisasoojustamiseks praktiliselt ainus võimalus olemasolev tarind lammutada ja asendada uue, soojustusega. [6] Olemasolev põrandakonstruktsioon eemaldatakse kogu hoone ulatuses. Pinnas planeeritakse vastavalt vajalikule kõrgusele. Planeeritud ning tihendatud pinnasele asetatakse soojustuskiht kahes kihis, et vältida võimalike läbivaid vuuke. Soojustuskihi peale asetatakse hüdroisolatsioon, mille peale valatakse raudbetoon plaat.



Joonis 8.9 Soojustatud põrandaplaat

Põrandakonstruktsiooni osaks on 200 mm paksune soojustuskiht soojuseri juhtivusega $0,036 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Soojustuskihi soojustakistus vastavalt valemile 1:

$$R_f = \frac{0,2}{0,036} = 5,56 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Konstruktsiooni ekvivalentne kogupaksus vastavalt valemile 10:

$$d_t = 0,4 + 2,0 \cdot 0,17 + 5,56 + 0,04 = 11,94 \text{ (m)}$$

Põranda tunnusmõõde vastavalt valemile 12:

$$B' = \frac{77,56}{0,5 \cdot 37,4} = 4,148 \text{ (m)}$$

$$d_t > B'$$

Põrandaplaadi soojusjuhtivus vastavalt valemile 29:

$$U = \frac{2,0}{0,457 \times 4,148 + 11,94} = 0,143 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

8.2.3 Hoone soojakaod

Põranda soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 77,56 \cdot 0,143 = 11,09 \frac{W}{K}$$

Seinate soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 92,57 \cdot 0,24 = 22,22 \frac{W}{K}$$

Pööningu vahelagi vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 82,63 \cdot 0,23 = 19,0 \frac{W}{K}$$

Akende soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 7,04 \cdot 2,7 = 19,0 \frac{W}{K}$$

Uksed:

Peaukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,806 \cdot 1,59 = 2,87 \frac{W}{K}$$

Küljeukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,68 \cdot 2,56 = 4,3 \frac{W}{K}$$

Uste soojakaod kokku

$$\Phi_u = 2,87 + 4,3 = 7,17 \frac{W}{K}$$

Tabel 8.4 Välispiirete soojakaod

Piirdetarindi osa	A m ²	U W/(m ² K)	AU W/K	%
Põrand	77,56	0,143	11,09	8,44
Seinad	92,57	0,24	22,22	16,90
Pööningu vahelagi	82,63	0,23	19,0	14,45
Aknad	7,04	2,7	19,0	14,45
Uksed	3,49	-	7,17	5,45
Välispiirete külmasildade lisakonduktats	I m	Ψ W/(mK)	ΔΨ W/K	
Välissein - välissein	23,5	0,5	11,75	8,94
Katuselagi – välissein	37,39	0,4	14,96	11,38
Põrand – välissein	37,39	0,4	14,96	11,38
Akna liitumine välisseinaga	28,24	0,4	11,30	8,60
		Kokku:	195,23	100

Soojakulud kokku

Tabelis 8.5 on esitatud erinevad hoone soojakulud kütteperioodil kuude kaupa.

Tabel 8.5 Hoone soojakulud kuude kaupa

		Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Mär	Apr	Kokku
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Päevi		30	31	30	31	31	28	31	30	242
Keskmine välis-temperatuur	°C	10,7	5,8	0,3	-4	-6,3	-5,7	-1,3	4,8	
Temperatuuri vahe	°C	11,3	16,2	21,7	26	28,3	27,7	23,3	17,2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kraadtunde	Kh	8136	12053	15624	19344	21055	18614	17335	12384	124546
Seinte soojakadu	kWh	181	268	347	430	468	414	385	275	2767
Akende soojakadu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2397
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Uste soojakadu	kWh	58	86	112	139	151	133	124	89	892
Vahelae soojakadu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2366
Põranda soojakadu	kWh	120	124	120	124	124	112	124	120	966
Külmasildade soojakadu	kWh	431	638	828	1025	1115	986	918	656	6597
Soojakadu soojale veele	kWh	52	54	52	54	54	49	54	52	419
Soojakadu õhuvahetusele	kWh	252	374	484	599	652	577	537	384	3859
Kokku soojakaod	kWh	1521	2178	2764	3387	3671	3249	3052	2226	20266

Soojakulud võrreldes soojustamata hoonega

Hoone soojakulud peale välispiirete soojustamist on 20266 kWh. Võrreldes algse, soojustamata hoone soojakadudega, milleks oli 40093 kWh on soojakaod vähenenud 19827 kWh ehk 49%.

8.2.4 Soojustustööde maksumus

Soojustustööde maksumused on arvestatud hetkel kehtivate materjalide hindadega.

Seinakonstruktsiooni soojustamine seestpoolt – ca 2500 EUR. Hind sisaldab materjali maksumust ning vajaliku tööjõu maksumust.

Põõningu soojustamine 500 mm paksuse puistevillaga – ca 830 EUR. Hind sisaldab transportteenust ning puistevilla paigaldust.

Põrandaplaadi soojustamine ning raudbetoon plaadi valamine – ca 4400 EUR. Hind sisaldab materjali maksumust ning vajaliku tööjõu maksumust.

Soojustustööde kogumaksumus – ca **7730** EUR.

8.3 Lisasoojustamise võimalus nr.3

Olemasolev fassaadikate eemaldatakse. Hoone välisseinad soojustatakse väljastpoolt 150 mm paksuselt mineraalvillaga $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 25 mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$. Fassaad kaetakse voodrilauaga. Voodrilaua ning soojustatud seina vahele jäetakse tuulutatav õhkvahe.

Sokliosa soojustatakse 100 mm paksuse EPS 120 Perimeeter vahtplastiga, mille soojuserijuhtivus $\lambda=0,036$ W/(m·K). Sokliosa kaetakse tsementlaastplaadi baasil sokliplaadiga, mille paksus on 10 mm ning soojuserijuhtivus $\lambda=0,2$ W/(m·K).

Olemasolev põrandakonstruktsioon eemaldatakse kogu hoone ulatuses. Pinnas planeeritakse vastavalt vajalikule kõrgusele. Planeeritud ning tihendatud pinnasele asetatakse soojustuskiht EPS 100 kahes kihis, et vältida võimalike läbivaid vuuke, kogupaksusega 200 mm. Soojustuskihi peale asetatakse hüdroisolatsioon, mille peale valatakse raudbetoon plaat.

Põõningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Olemasolev soojustuskiht, milleks on saepuru/liiv/lubi eemaldatakse ning asendatakse 500 mm paksuse tselluvilla kihiga.

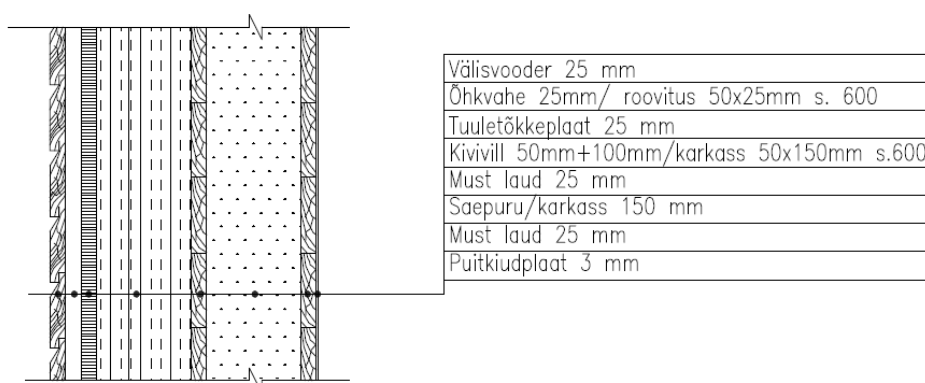
Hoone olemasolevad aknad asendatakse. Uuteks akendeks valitakse puit-alumiinium aknad soojajuhtivusega $U=0,9$ W/(m²K).

Hoone olemasolevad kaks ust, mida on varasemalt käsitletud, kui hoone välisuksi vahetatakse välja uute energiatõhusamate välisuste vastu. Uute välisuste soojusjuhtivus $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

8.3.1 Seinakonstruktsiooni soojustamine väljastpoolt

Puitkarkasskonstruktsioon

Puitkarkasskonstruktsioon soojustatakse väljastpoolt 150mm paksuselt mineraalvillaga $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 25 mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$. Fassaad kaetakse voodrilauaga. Voodrilaua ning soojustatud seinavahele jäetakse tuulutatav õhkvahe.



Joonis 8.10 Väljastpoolt soojustatud puitkarkasskonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,15}{0,05} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,07} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 6,58 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,15}{0,05} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 5,69 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{5,69} + \frac{0,6}{6,58} + \frac{0,05}{5,69}} = 6,44 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{150 \text{ saepuru}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{(0,12)} + \frac{0,6}{(0,07)} + \frac{0,05}{(0,12)}} = 1,94 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

$$R_{150 \text{ mineraalvill}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{(0,12)} + \frac{0,6}{(0,05)} + \frac{0,05}{(0,12)}} = 2,5 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,035} + \frac{0,025}{0,12} + 1,944 + 2,5 + \frac{0,025}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 5,97 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{6,44+5,97}{2} = 6,21 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{6,21} = 0,16 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{6,44-5,97}{2 \times 6,21} \times 100\% = 3,8\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 16:

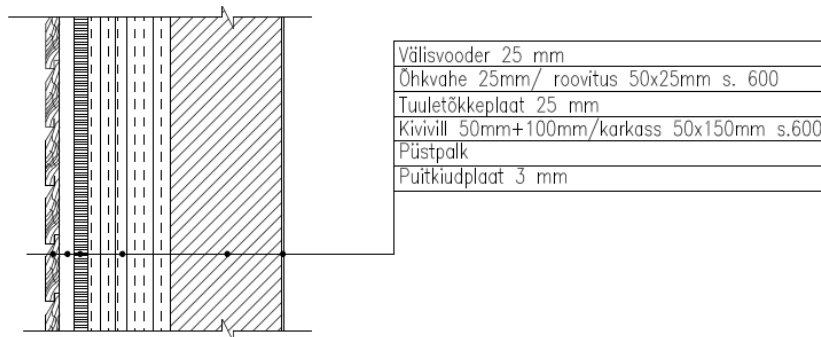
$$U = \frac{1}{6,21+0,18} = 0,15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Puitkarkasskonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{31,61 \cdot 0,16 + 10,62 \cdot 0,15}{42,23} = 0,16 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Püstpalk

Püstpalkkonstruktsioon soojustatakse väljastpoolt 150mm paksuselt mineraalvillaga $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 25 mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$. Fassaad kaetakse voodrilauaga. Voodrilaua ning soojustatud seina vahele jäetakse tuulutatav õhkvahe.



Joonis 8.11 Väljastpoolt soojustatud püstpalkkonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,15}{0,05} + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 5,85 (m^2 K/W)$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 3,93 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{3,93} + \frac{0,6}{5,85} + \frac{0,05}{3,93}} = 5,46 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{150 \text{ mineraalvill}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{\left(\frac{0,15}{0,12}\right)} + \frac{0,6}{\left(\frac{0,15}{0,05}\right)} + \frac{0,05}{\left(\frac{0,15}{0,12}\right)}} = 2,5 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,035} + 2,5 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 5,19 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{5,46+5,19}{2} = 5,33 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{5,33} = 0,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{5,46-5,19}{2 \times 5,33} \times 100\% = 2,5\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

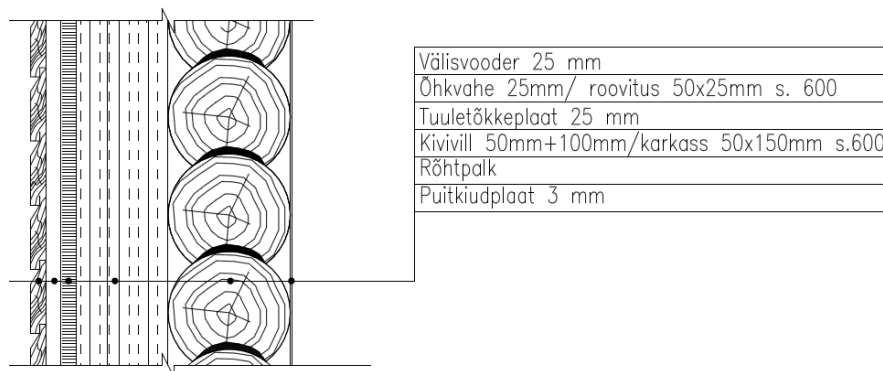
$$U = \frac{1}{5,33+0,26} = 0,18 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{31,61 \cdot 0,19 + 10,62 \cdot 0,18}{42,23} = 0,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Rõhtpalk

Rõhtpalkkonstruktsioon soojustatakse väljastpoolt 150mm paksuselt mineraalvillaga $\lambda=0,05$. Soojustuskiht kaetakse 25 mm paksuse tuuletõkkeplaadiga $\lambda=0,03$. Fassaad kaetakse voodrilauaga. Voodrilaua ning soojustatud seina vahele jäetakse tuulutatav õhkvahe.



Joonis 8.12 Väljastpoolt soojustatud rõhtpalkkonstruktsioon

Soojustuse sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,15}{0,05} + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 5,85 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Karkass sektsiooni soojustakistus vastavalt valemile 2:

$$R_{karkass} = 0,04 + \frac{0,025}{0,03} + \frac{0,15}{0,12} + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 3,93 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogusoojatakistuse ülemine piirväärtus vastavalt valemile 5:

$$R_T' = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{3,93} + \frac{0,6}{5,85} + \frac{0,05}{3,93}} = 5,46 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Mittehomogeense kihi soojustakistus vastavalt valemile 7:

$$R_{150 \text{ mineraalvill}} = \frac{0,05+0,6+0,05}{\frac{0,05}{0,12} + \frac{0,6}{0,05} + \frac{0,05}{0,12}} = 2,5 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus vastavalt valemile 6:

$$R_T'' = 0,04 + \frac{0,025}{0,035} + 2,5 + \frac{0,2}{0,12} + \frac{0,003}{0,18} + 0,13 = 5,19 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi kogusoojatakistus vastavalt valemile 4:

$$R_T = \frac{5,46+5,19}{2} = 5,33 \text{ (m}^2 \text{ K/W)}$$

Piirdetarindi soojusjuhtivus vastavalt valemile 3:

$$U = \frac{1}{5,33} = 0,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Maksimaalne suhteline arvutusviga vastavalt valemile 8:

$$e = \frac{5,46-5,19}{2 \times 5,33} \times 100\% = 2,5\%$$

Kütmata ruumiga kohakuti asetseva püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 16:

$$U = \frac{1}{5,33+0,21} = 0,18 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Püstpalkkonstruktsiooni soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{19,05 \cdot 0,19 + 8,39 \cdot 0,18}{27,44} = 0,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Keskmine seina soojusjuhtivus vastavalt valemile 17:

$$U = \frac{27,44 \cdot 0,19 + 22,90 \cdot 0,16 + (42,23 \cdot 0,19)}{92,57} = 0,18$$

8.3.2 Põrandaplaadi soojustus koos soklisoojustusega

Sokliosa soojustatakse 100 mm paksuse EPS 120 Perimeeter vahtplastiga, mille soojuserijuhtivus $\lambda=0,036$ W/(m·K). Sokliosa kaetakse tsementlaastplaadi baasil sokliplaadiga, mille paksus on 10 mm ning soojuserijuhtivus $\lambda=0,2$ W/(m·K).

Olemasolev põrandakonstruktsioon eemaldatakse kogu hoone ulatuses. Pinnas planeeritakse vastavalt vajalikule kõrgusele. Planeeritud ning tihendatud pinnasele asetatakse soojustuskiht EPS 100 kahes kihis, et vältida võimalike läbivaid vuuke, kogupaksusega 200 mm. Soojustuskihi peale asetatakse hüdroisolatsioon, mille peale valatakse raudbetoon plaat.

Soojustuskihi soojustakistus vastavalt valemile 1:

$$R_f = \frac{0,2}{0,036} = 5,56 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Konstruktsiooni ekvivalentne kogupaksus vastavalt valemile 10:

$$d_t = 0,51 + 2,0 \cdot 0,17 + 5,56 + 0,04 = 14,48 \text{ (m)}$$

Põranda tunnusmõõde vastavalt valemile 12:

$$B' = \frac{77,56}{0,5 \cdot 37,4} = 4,148 \text{ (m)}$$

$$d_t > B'$$

Põrandaplaadi soojusjuhtivus vastavalt valemile 29:

$$U = \frac{2,0}{0,457 \times 4,148 + 14,48} = 0,105 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

8.3.3 Avatäited

Aknad

Hoone olemasolevad aknad asendatakse. Uuteks akendeks valitakse puit-alumiinium aknad soojajuhtivusega $U=0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Hoone esimesel korrusel on kokku $7,04 \text{ m}^2$ aknapinda.

Uksed

Hoone olemasolevad kaks ust, mida on varasemalt käsitletud, kui hoone välisuksi vahetatakse välja uute energiatõhusamate välisuste vastu. Uute välisuste soojusjuhtivus $U=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

8.3.4 Hoone soojakaod

Välispiirete summaarne soojuserikadu

Põrandaplaat koos soklisoojustusega soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 77,56 \cdot 0,105 = 8,14 \frac{W}{K}$$

Seinte soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 92,57 \cdot 0,19 = 17,58 \frac{W}{K}$$

Pööningu vahelae soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 82,63 \cdot 0,23 = 19,0 \frac{W}{K}$$

Akende soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 7,04 \cdot 0,9 = 6,34 \frac{W}{K}$$

Uksed:

Peaukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,806 \cdot 0,8 = 1,63 \frac{W}{K}$$

Küljeukse soojakadu vastavalt valemile 19:

$$\Phi = 1,68 \cdot 0,8 = 1,34 \frac{W}{K}$$

Uste soojakaod kokku

$$\Phi_u = 1,63 + 1,34 = 2,97 \frac{W}{K}$$

Tabel 8.6 Välispiirete soojakaod

Piirdetarindi osa	A m ²	U W/(m ² K)	AU W/K	%
1	2	3	4	5
Põrand	77,56	0,105	8,14	8,44
Seinad	92,57	0,19	17,58	16,90
Pööningu vahelagi	82,63	0,23	19,0	14,45
Aknad	7,04	0,9	6,34	14,45
Uksed	3,49	0,8	2,97	5,45

1	2	3	4	5
Välispiirete külmasildade lisakonduktats	l m	Ψ W/(mK)	$\Delta\Psi$ W/K	
Välissein - välissein	23,5	0,3	7,05	8,94
Katuselagi – välissein	37,39	0,2	7,48	11,38
Põrand – välissein	37,39	0,3	11,22	11,38
Akna liitumine välisseinaga	28,24	0,1	2,82	8,60
		Kokku:	195,23	100

Soojakulud kokku

Tabelis 8.7 on esitatud erinevad hoone soojakulud kütteperioodil kuude kaupa.

Tabel 8.7 Hoone soojakulud kuude kaupa

		Sept	Okt	Nov	Dets	Jan	Veb	Mär	Apr	Kokku
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Päevi		30	31	30	31	31	28	31	30	242
Keskmine välis-temperatuur	°C	10,7	5,8	0,3	-4	-6,3	-5,7	-1,3	4,8	
Temperatuuri vahe	°C	11,3	16,2	21,7	26	28,3	27,7	23,3	17,2	
Kraadtunde	Kh	8136	12053	15624	19344	21055	18614	17335	12384	124546
Seinte soojakadu	kWh	143	212	275	340	370	327	305	218	2190
Akende soojakadu	kWh	52	76	99	123	133	118	110	79	790
Uste soojakadu	kWh	24	36	46	57	63	55	51	37	370
Vahelae soojakadu	kWh	155	229	297	368	400	354	329	235	2366
Põranda soojakadu	kWh	88	91	88	91	91	82	91	88	709
Külmasildade soojakadu	kWh	232	344	446	553	602	532	495	354	3558
Soojakadu soojale veele	kWh	52	54	52	54	54	49	54	52	421
Soojakadu õhuvahetusele	kWh	252	374	484	599	652	577	537	384	3859
Kokku soojakaod	kWh	998	1416	1787	2184	2365	2094	1973	1446	14263

Soojakulud võrreldes soojustamata hoonega

Hoone soojakulud peale välispiirete soojustamist on 14263 kWh. Võrreldes algse, soojustamata hoone soojakadudega, milleks oli 40093 kWh on soojakaod vähenenud 25830 kWh ehk 64%.

8.3.6 Soojustustööde maksumus

Soojustustööde maksumused on arvestatud hetkel kehtivate materjalide hindadega.

Seinakonstruktsiooni soojustamine väljastpoolt – ca 7300 EUR. Hind sisaldab materjalide maksumust ning vajaliku tööjõu ja seadmete maksumust.

EPS 120 Perimeeter vahtpolüsterooliga soojustatud ning sokliplaadiga kaetud sokliosad – ca 2000 EUR. Hind sisaldab materjalihinda ning vajaliku tööjõu hinda.

Põõningu soojustamine 500 mm paksuse puistevillaga – ca 830 EUR. Hind sisaldab transportteenust ning puistevilla paigaldust.

Põrandaplaadi soojustamine ning raudbetoon plaadi valamine – ca 4400 EUR. Hind sisaldab materjali maksumust ning vajaliku tööjõu maksumust.

Avatäidete vahetus – ca 2500 EUR. Hind sisaldab avatäiteid ning nende paigaldust.

Soojustustööde kogumaksumus – ca **17030** EUR.

10. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED

Vaadeldava hoone välispiirded on rahuldavas seisukorras. Hoone fassaadile on teostatud mõned astad tagasi hooldusvärvimine.

Esmajärjekorras tuleks antud hoone puhul tegeleda hoone ümbruse vertikaalplaneeringuga. Eemaldada tuleks kogu sokliosale liiga lähedal asuv taimestik, anda maapinnale kalle hoonest eemale ning rajada drenaaz vihmavee eemale juhtimiseks hoonelt.

Sokkel on kogu perimeetri ulatuses saanud niiskus- ja külmakahjustusi. Kahjustatud kohad tuleks korrastada.

Antud hoone fassaad on rahuldavas seisukorras. Värvipind on hakanud koorduma ning voodrilaud on saanud mõnest kohast niiskuskahjustusi.

Antud seisukorra tõttu oleks mõistlik niiskuskahjustustega voodrilauad välja vahetada ning teostada parandus värvimise tööd. Enne voodrilaudade asendust tuleks kindlaks teha palkkonstruktsiooni seisukord ning vajadusel kahjustada saanud palkosad proteesida.

Tähelepanu tuleb pöörata ka hoone puudulikele veeplekksidele. Paigaldada tuleks sokli- ja aknaplekid

Katusekatteks oleval eterniidil puuduvad hetkel läbivad vigastused, kuid eterniit on välispinnalt sammaldunud. Sammaldunud eterniitpind tuleks mehhaaniliselt puhastada.

Hoone vihmaveesüsteem on puudulik ning amortiseerunud. Kogu vihmaveesüsteem vajab väljavahetamist.

Arvutuste käigus leitud kogu hoone soojakaod on 40093 kWh aastas. Arvutustest võib järeldada, et kõige rohkem sooja väljub läbi pööningu vahelae, mis moodustab kogu välispiirete soojakaost 29% ehk 11834 kWh aastas. Teisel kohal on külmasildadest tingitud lisakonduktants 21% ning kolmandal kohal on põrand 19%.

Arvutustest tulenevalt on hoone välispiirete soojakaod väga suured. Sellest lähtudes tuleks olukorra parandamiseks välispiirdeid soojustada.

Esimeses lisasoojustamise võimaluses pakutakse välja lahend, kus soojustatakse hoone fassaadi ja seinakonstruktsiooni vahel paiknev õhkvahe termovahuga, soojustatakse ning korrastatakse sokliosa, pööningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Antud soojustuse

lahendiga on hoone soojakulud 26069 kWh. Võrreldes algse, soojustamata hoone soojakuludega, milleks oli 40093 kWh on soojakulud vähenenud 14024 kWh ehk 35%.

Teises lisasoojustamise võimaluses pakutakse välja lahend, kus soojustatakse hoone seinakonstruktsioonid seestpoolt, eemaldatakse olemasolev põrandakonstruktsioon ning asendatakse uue, soojustatud betoonpõrandaga. Pööningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Selline lahend ei ole niiskustehniliselt turvaline, kuna seinakonstruktsioon paikneb külmas ning on oht, et niiskus hakkab kondenseeruma seinakonstruktsiooni pinnale. Antud soojustusvõimaluse puhul on hoone soojakulud 20266 kWh. Võrreldes algse, soojustamata hoone soojakadudega, milleks oli 40093 kWh on soojakadud vähenenud 19827 kWh ehk 49%.

Kolmandas lisasoojustamise võimaluses pakutakse välja lahend, kus soojustatakse hoone seinakonstruktsioonid väljastpoolt, sokliosa soojustatakse. Eemaldatakse olemasolev põrandakonstruktsioon ning asendatakse uue, soojustatud betoonpõrandaga. Pööningu vahelagi soojustatakse puistevillaga. Antud soojustusvõimaluse puhul on hoone soojakulud 14263 kWh. Võrreldes algse, soojustamata hoone soojakadudega, milleks oli 40093 kWh on soojakadud vähenenud 25830 kWh ehk 64%.

Suurima energia kokkuhoiu annab pööningu vahelae soojustamine. Töös pakutav soojustamine parandab piirde soojapidavust ligikaudu 80%, mis võimaldab kokku hoida peaaegu 10 MWh soojusenergiat aastas. Märkimisväärse energia kokkuhoiu annab ka põrandaplaadi soojustamine koos sokliosa soojustamisega. Töös pakutav soojustamine parandab piirde soojapidavust ligikaudu 90 %, mis võimaldab kokku hoida peaaegu 7 MWh soojusenergiat aastas. Seega on nende kahe konstruktsiooni soojustamine kõige kiiremini äratasuvam.

Pärast lisasoojustamist vastavalt kolmandale lisasoojustamise võimalusele, mis sisaldab seinte ja pööningu vahelae soojustamist, põrandaplaadi soojustamist koos sokliosa soojustamisega, soojapidavamate avatäidete paigaldamist on võimalik vähendada soojakadusid 64%

11. KOKKUVÕTE

Käesolevas töös sooviti anda ülevaade maapiirkonnas asuva maaelamu olemasolevast olukorrast ja peamistest probleemidest ning pakkuda välja lahendused hoone energiatõhusamaks renoveerimiseks.

Vaadeldava hoone välispiirded on rahuldavas seisukorras. Hoone fassaadile on teostatud mõned astad tagasi hooldusvärvimine. Hoone vihmaveesüsteem on amortiseerunud ja kogu hoone perimeetril puudub pandus, mistõttu tekib sokliosale ja vundamendile suur niiskuskooormus. Sokkel on kogu perimeetri ulatuses saanud niiskus- ja külmakahjustusi. Katusekatteks oleval eterniidil puuduvad hetkel läbivad vigastused, kuid eterniit on välispinnalt sammaldunud. Hoone katteplekid on puudulikud.

Arvutuste käigus leitud kogu hoone soojakaod on 40093 kWh aastas. Arvutustest võib järeldada, et kõige rohkem sooja väljub läbi pööningu vahelae, mis moodustab kogu välispiirete soojakaost 29% ehk 11834 kWh aastas. Teisel kohal on külmasildadest tingitud lisakonduktants 21% ning kolmandal kohal on põrand 19%.

Arvutustest tulenevalt on hoone välispiirete soojakaod väga suured. Sellest lähtudes tuleks olukorra parandamiseks välispiirdeid soojustada.

Parim võimalik lahendus hoone soojustamiseks on kolmandana välja pakutud soojustuvõimalus, mis on küll võrreldes teiste lahendustega tunduvalt kallim, kuid annab kõige parema tulemuse ning selline soojustuslahendus on soojustatavatele konstruktsioonidele niiskustehniliselt turvaline.

Suurima energia kokkuhoiu annab pööningu vahelae soojustamine. Töös pakutav soojustamine parandab piirde soojapidavust ligikaudu 80%, mis võimaldab kokku hoida peaaegu 10 MWh soojusenergiat aastas.

Pärast lisasoojutamist vastavalt kolmandale lisasoojustamise võimalusele, mis sisaldab seinte ja pööningu vahelae soojustamist, põrandaplaadi soojustamist koos sokliosade soojustamisega, soojapidavamate avatäidete paigaldamist on võimalik vähendada hoone soojakadusid 64%

12. KASUTATUD KIRJANDUS

1. EVS-EN ISO 13370:2008. HOONETE SOOJUSLIK TOIMIVUS. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid. 2011. Eesti standardikeskus.
2. EVS-EN ISO 6946:2008. HOONE KOMPONENDID JA HOONEKONSTRUKTSIOONID. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetodid. 2011. Eesti standardikeskus.
3. Taastuenergia OÜ. Tuule kiirus eestis. Kättesaadav: [<http://www.taastuenergia.ee/tuule-kiirus.html>] (13.03.13)
4. Ehituskonstruktori käsiraamat: Tometaja Tiit Masso. Tallinn: „Ehitame“ kirjastus, 2010. 576 lk.
5. Energiatõhususe miinimumnõuded, Vabariigi Valitsuse määrus, Vastu võetud 30.08.2012 nr 68. Kättesaadav: [<https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004>] / (27.03.13)
6. Masso, T. Ehitusfüüsika ABC. Ehitame kirjastus, 2012. 172 lk.
7. Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I. Toimetaja Kalamees T. Tallinn 2011. 114 lk.
8. Jaagus, J. KAGU-EESTI KLIIMARESSURSSIDE ÜLEVAADE. Kättesaadav: [<http://www.geo.ut.ee/kera/kliima2.html>] / (28.03.13)
9. Alev, Ü. VANA PALKMAJA SOOJUSTAMINE. Kättesaadav: [http://helthproject.eu/wpcontent/uploads/2012/01/vana_palkmaja_soojustamine_ylar_alev_2011.pdf] / (18.04.13)
10. Metslang, J. Vana maamaja käsiraamat. Tammerraamat, 2012. 293 lk.

11. Werro Wool. Paigaldamine. Kättesaadav:
[<http://www.tselluvill.ee/tselluvill/paigaldamine>] (19.04.13)
12. SÄÄSTVA RENOVEERIMISE INFOKESKUS. Miks ja millal tasub maja soojustamisel eelistada puistevilla? Kättesaadav:
[<http://www.renoveeri.net/?id=216>] (19.04.13)
13. Therm OÜ. Termovaht. Kättesaadav: [<http://therm.ee/soojustusmaterjalid/37-2/>]
(19.04.13)
14. Tempesi. Toodete tehnilised andmed-TDS. Tempesi SOCCOLO sokliplaat tooteleht. Kättesaadav:
[http://www.tempsi.ee/images/stories/Infokeskus/tds/est/Tempesi_zoccolo_tds_est.pdf] / (05.05.14)
15. Puumarket. EPS toodete tehnilised näitajad. Kättesaadav:
[http://www.puumarket.ee/static/files/338.EPS_tehniline_info.pdf] / (05.05.14)
16. Eesti Entsüklopeedia. Linnastumine. Kättesaadav:
[<http://entsyklopeedia.ee/artikkel/linnastumine1>] / (10.05.14)

13. LISAD

Lisa 1. Andmetabelid

Lisa 1.1 Keskmise tuule kiirus aastas 10 meetri kõrgusel [3]

m/s	jaan.	veeb.	märts	apr.	mai	juuni	juuli	aug.	sept.	okt.	nov.	dets.	aasta
JÕGEVA	3,4	3	3,3	3,4	3,2	2,9	2,5	2,5	2,9	3,3	3,5	3,5	3,1
JÕHVI	5	4,7	4,7	4,3	4	3,7	3,5	3,6	4,1	4,8	5	5,2	4,4
KIHNU	7	6	5,7	5	4,8	4,9	5,1	5,6	6,6	7,5	7,8	7,6	6,1
KUNDA	5,3	4,7	4,5	4,2	3,9	3,7	3,6	3,9	4,5	5,1	5,4	5,6	4,5
KUUSIKU	3,4	3,3	3,3	3,4	3,2	3	2,6	2,6	2,8	3,2	3,3	3,4	3,1
KURESSAARE	5,9	5,4	5,4	5,1	5	5,1	4,8	4,8	5,2	5,7	5,9	5,9	5,3
KÄRDLA	4,8	4,4	4,4	4,3	4,1	4	3,6	3,7	4,2	4,5	4,8	4,8	4,3
NAISSAAR	6,2	5,1	4,7	4,5	4,1	4,2	4,1	4,8	5,6	6,2	6,5	6,7	5,2
NARVA	4,4	4,1	4,1	3,7	3,5	3,4	3,1	3,2	3,7	4,3	4,5	4,6	3,9
NIGULA	4,5	4,1	4,2	4	3,7	3,5	3,1	3,2	3,7	4,1	4,3	4,4	3,9
PAKRI	6,1	5,2	5,1	4,7	4,3	4,3	4,1	4,5	5,2	5,8	6,2	6,3	5,2
PÄRNU	5,1	4,5	4,6	4,1	4,1	4,4	4,4	4,5	5	5,4	5,5	5,2	4,7
RISTNA	5,1	4,4	4,2	3,8	3,5	3,6	3,8	4,1	4,8	5,3	5,4	5,3	4,4
SÕRVE	7,2	6,3	6,1	5,7	5,5	5,4	5,3	5,5	6,6	7,3	7,7	7,5	6,3
TALLINN	4,8	4,5	4,5	4,4	4,2	4	3,7	3,8	4,2	4,7	4,7	4,9	4,4
TARTU	4,4	4,1	4,1	3,9	3,5	3,4	3,2	3,3	3,7	4,3	4,4	4,5	3,9
TIIRIKOJA	3,9	3,7	3,6	3,3	3,3	3,3	3,1	3,1	3,4	3,9	4,1	4	3,6
TÜRI	2,9	2,7	2,8	2,8	2,6	2,6	2,3	2,3	2,5	2,9	2,9	2,9	2,7
TÕRAVERE	4,3	4,2	4,2	4	3,8	3,4	3,2	3,2	3,7	4,3	4,4	4,4	3,9
VALGA	3,1	3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,2	2,2	2,5	2,9	3,1	3,1	2,8
VILJANDI	3	2,9	2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	2,3	2,5	2,9	3	3	2,7
VILSANDI	7,5	6,6	6,5	6,2	5,5	5,5	5,5	5,8	6,9	7,4	7,9	7,8	6,6
VIRTSU	4,5	4,2	4,2	4,1	4	4,2	4,1	4,2	4,4	4,9	5,1	4,8	4,4
V MAARJA	4,5	4,3	4,3	4,1	3,9	3,6	3,3	3,4	3,8	4,3	4,5	4,5	4
VÕRU	3,4	3,2	3,2	3,1	2,9	2,9	2,7	2,7	3	3,4	3,4	3,4	3,1

Lisa 1.2 Välispiirete geomeetriliste külmasildade lisakonduktantsid [5] :

	Joonkülmasilla soojusläbivus Ψ , W/(m·K)			
	Uus hoone	Oluliselt rekonst-ruueeritav hoone	Rekonst-ruueeritav hoone	Olemasolev hoone
Välisseina välisnurk	0,2	0,3	0,5	1,0
Välisseina sisenurk	-0,1	-0,2	-0,2	0,3
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,1	0,1	0,2	0,9
Välisseina ja vahelae liitekoht	0,1	0,2	0,3	0,8
Katuse ja välisseina liitekoht	0,2	0,2	0,4	0,4
Põrand-pinnase ja välisseina liitekoht	0,3	0,3	0,4	0,4
Alt tuulutatud põranda ja välisseina liitekoht	0,3	0,3	0,4	0,4
Akna liitumine välisseinaga (aken soojustuse kihis, raam kaetud soojustusega min. 40% soojustuse paksusest)	0,1	0,1	0,2	0,2
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruktsiooni kihis)	0,2	0,3	0,4	0,5
Rõdu liitumine välisseinaga	0,3	0,5	0,6	0,8

Lisa 1.3 Kuude ja aasta keskmised õhutemperatuurid Eestis perioodil 1966-1998 [8]

Jaam	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Aasta
Valga	-6.1	-5.6	-1.3	4.7	11.4	15.3	16.9	15.7	10.5	5.6	0.3	-4.0	5.3
Võru	-6.3	-5.7	-1.3	4.8	11.6	15.5	17.1	16.0	10.7	5.8	0.3	-4.0	5.4
Tartu	-6.4	-6.1	-1.8	4.3	11.0	15.1	16.7	15.6	10.4	5.5	0.1	-4.0	5.0
Viljandi	-5.9	-5.6	-1.4	4.3	11.0	15.1	16.8	15.7	10.4	5.6	0.3	-3.7	5.2
Tallinn	-4.9	-5.2	-1.6	3.5	9.6	14.4	16.5	15.6	10.7	6.0	1.0	-2.6	5.2
Narva	-7.0	-6.7	-2.2	3.7	10.2	14.8	16.7	15.5	10.3	5.3	-0.1	-4.3	4.7
Pärnu	-4.9	-5.0	-1.5	3.9	11.0	15.5	17.4	16.6	11.6	6.5	1.4	-2.6	5.8
Vilsandi	-1.9	-2.8	-0.6	3.4	8.8	13.3	16.5	16.6	12.6	8.1	3.8	0.5	6.5

Lisa 1.4 Valgusava kogukiirguse läbilaskvustegurid g_0 [6]

Klaasi liik	U-arv W/(m²K)	Tegur g_0
Ühekordne lihtklaas	6,0	0,85
Kahekordne lihtklaas	3,0	0,75
Kolm klaasi ühes raamis	2,0	0,70
Isolatsiooniklaas + eriklaas	1,8	0,65
Isolatsiooniklaas madal-E-kattega + eriklaas	1,0...1,4	0,55
Kolm klaasi ühes raamis, madal-E-kattega	1,0...1,4	0,50
Kaks isolatsiooniklaasi, madal-E-kate	0,7...0,9	0,40
Tugev päikesekaitseklaas	0,20	0,20

Lisa 1.5 Kardinate parandustegurid F_k [6]

Kardina liik	Tegur F_k
kardinata	1,00
Läbipaistev tekstiilkardin seespool	0,80
Tume tekstiilkardin seespool	0,75
Värviline tekstiilkardin seespool	0,70
Valge tihe tekstiilkardin seespool	0,50
Valge ribikardin klaaside vahel	0,30
Valge ribikardin seespool	0,60
Ribiluugid väljaspool	0,30

Lisa 1.6 Varjete parandustegurid F_v [6]

Kuu	Varje ulatus 45° üle horisondi			Varje ulatus 15° üle horisondi		
	N	E ja W	S	N	E ja W	S
Jaanuar	0,95	0,60	0,25	0,98	0,86	0,75
Veebruar	0,90	0,50	0,30	0,96	0,83	0,76
Märts	0,90	0,50	0,40	0,96	0,83	0,80
Aprill	0,80	0,50	0,50	0,93	0,83	0,83
Mai	0,80	0,55	0,70	0,93	0,85	0,90
Juuni	0,60	0,50	0,75	0,86	0,83	0,91
Juuli	0,70	0,55	0,75	0,90	0,85	0,91
August	0,65	0,40	0,40	0,88	0,80	0,80
September	0,85	0,50	0,45	0,95	0,83	0,81
Oktoober	0,90	0,55	0,30	0,96	0,85	0,76
November	0,90	0,60	0,20	0,96	0,86	0,73
Detsember	0,95	0,80	0,20	0,98	0,93	0,73

Lisa 1.7 Päikese kogukiirus Tõraveres kWh/m² kuus [6]

Kuu	Püstpinna suund								Rõhtpin d
	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	
1	10	10	12	23	28	23	13	10	13
2	23	23	29	41	49	44	30	23	31
3	45	50	68	92	106	94	70	50	79
4	44	55	74	91	93	90	70	54	109
5	60	77	98	105	101	101	93	73	154
6	71	90	114	116	106	110	104	87	177
7	66	83	105	107	101	105	99	80	165
8	49	65	81	105	94	93	78	61	127
9	30	36	52	71	76	69	51	35	78
10	15	17	25	40	47	39	24	16	36
11	7	7	8	17	21	17	9	7	13
12	6	6	7	13	16	13	7	6	8
Kokku	426	519	673	821	838	798	648	502	990
Sept-apr	180	204	275	388	436	389	274	201	367
Sept-apr %	42	39	41	47	52	49	42	40	37
Mai-aug	246	315	398	433	402	409	374	301	623
Nov-veebr	46	46	56	94	114	97	59	46	65
Nov-veebr %	11	9	8	11	14	12	9	9	7
3+4+9+10	134	158	219	294	322	292	215	155	302

Lisa 2. Pildid

Pilt 1. Sammal hoone katusel



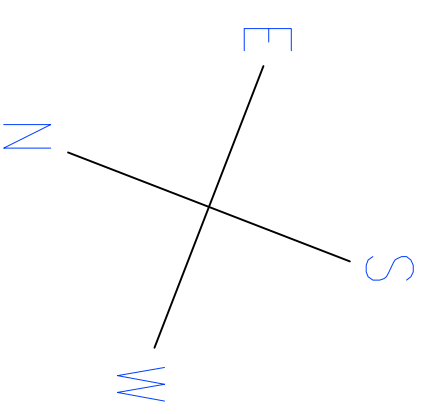
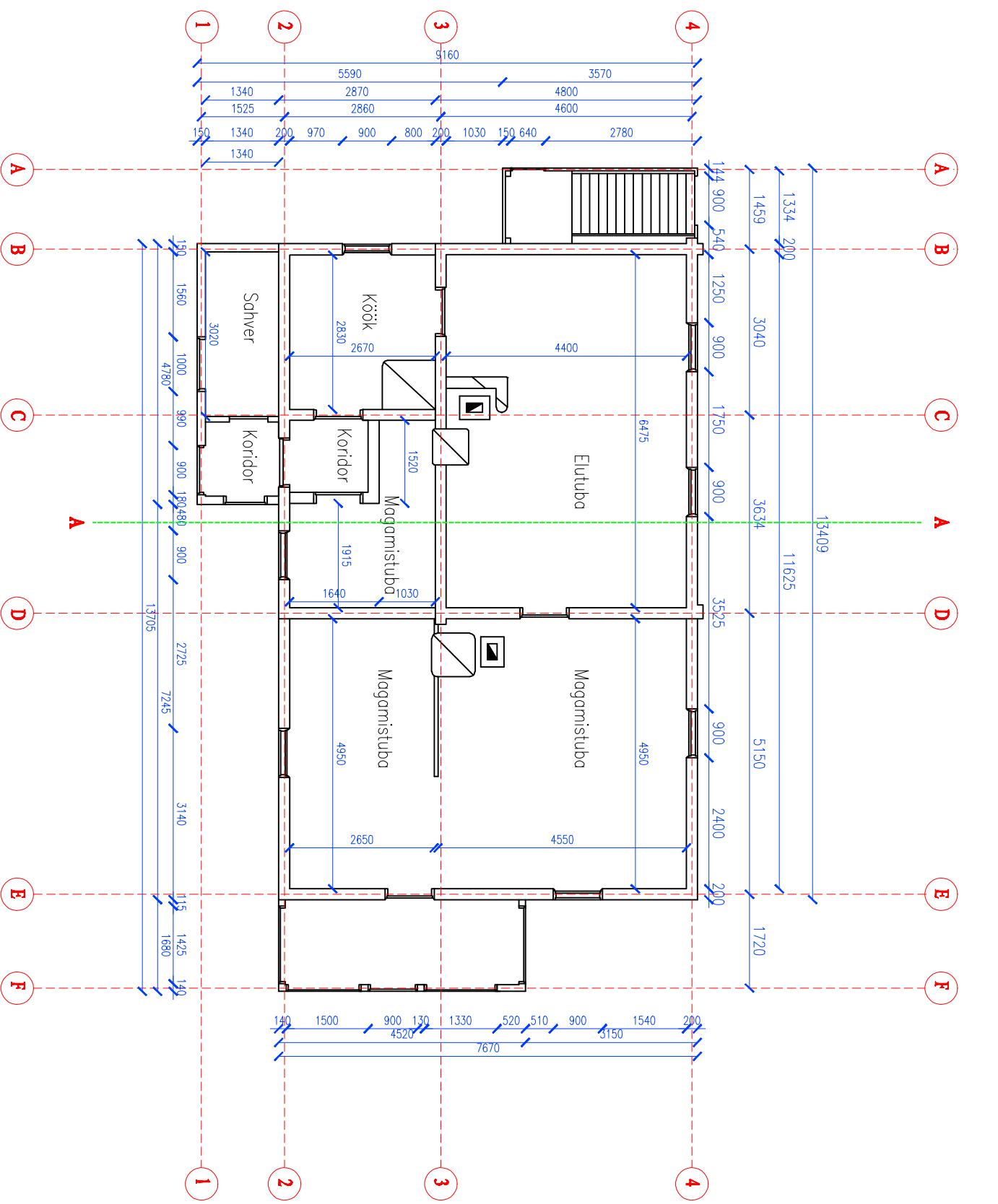
Pilt 2. Sokliosa puudulik katteplekk



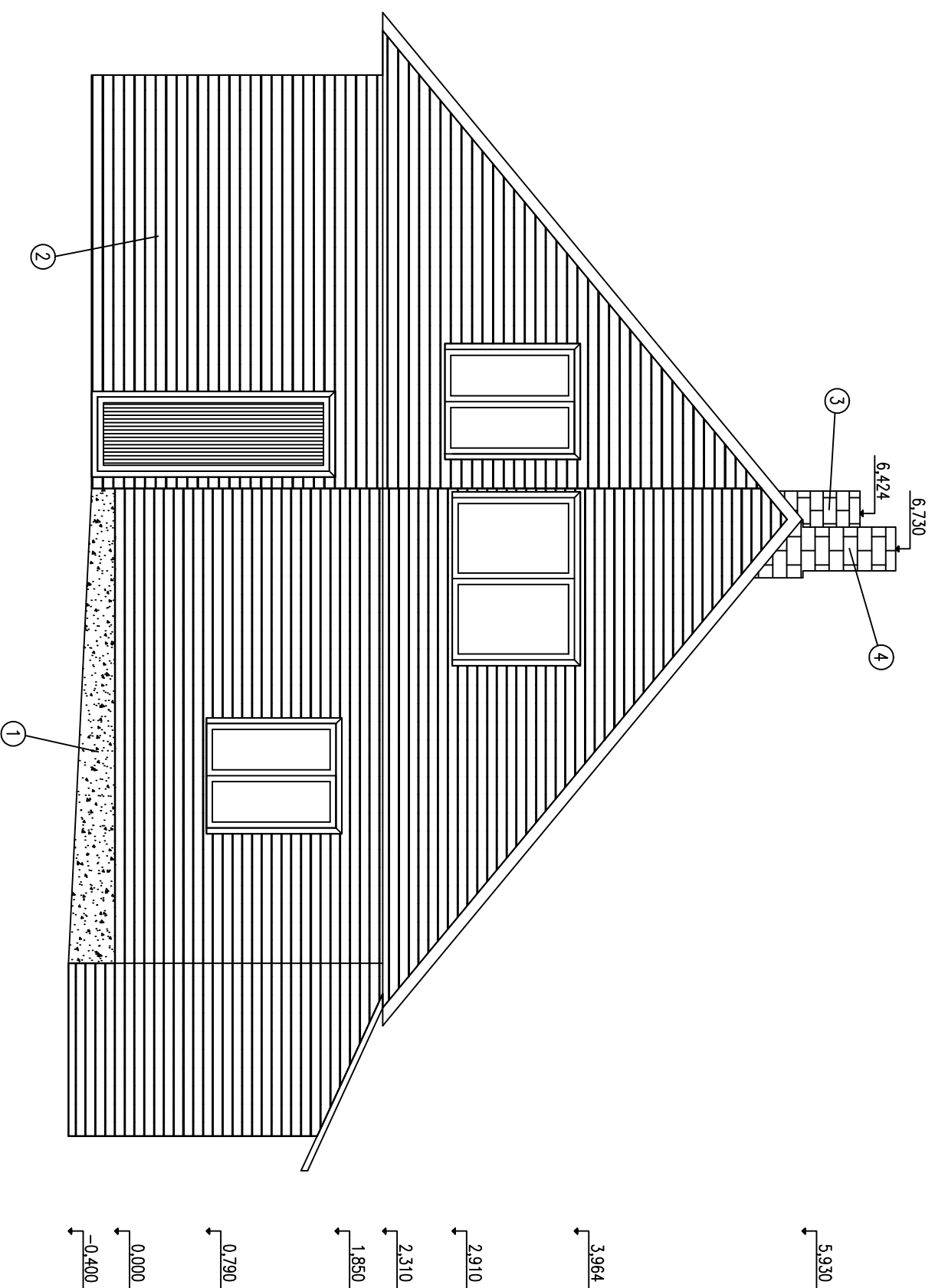
Pilt 3. Väljavahetatud välisuks



Lisa 3. Joonised

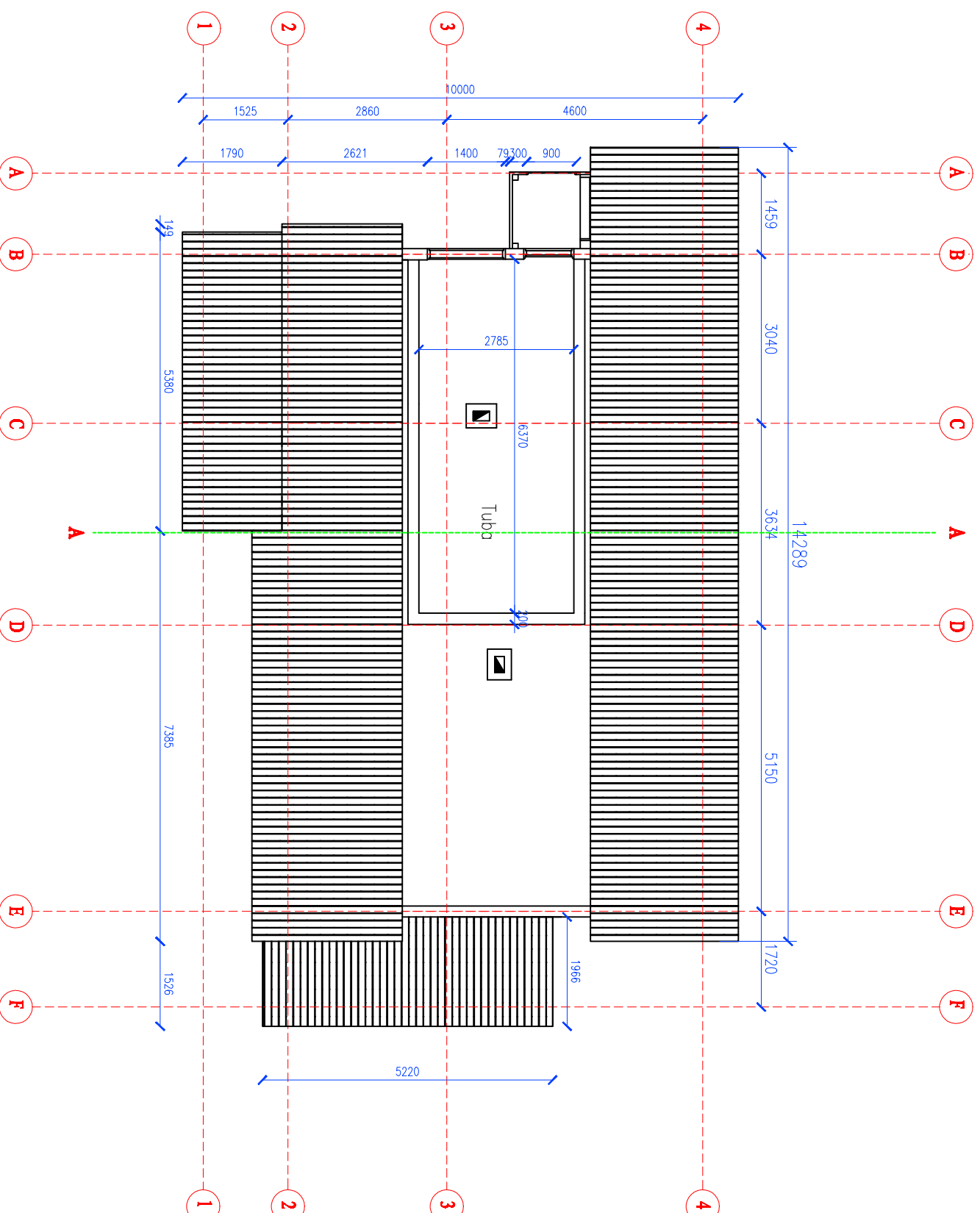
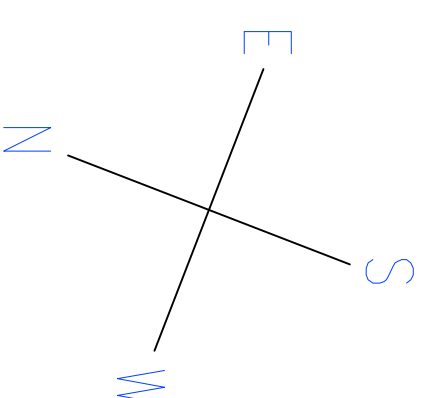


Objekt:			Järve talu elamuhoone		
Tellija:					
	Nimi	Allkiri	Kuupäev		
Koostas	Mihkel Kala				
Juhendas	Aime Ruus				
Objekt:			Järve talu elamuhoone		
Joonis:			I korruse plaan		
Leht:	5	Leht:	7	Möötkava:	1:100
TTÜ Tartu Kolledž					

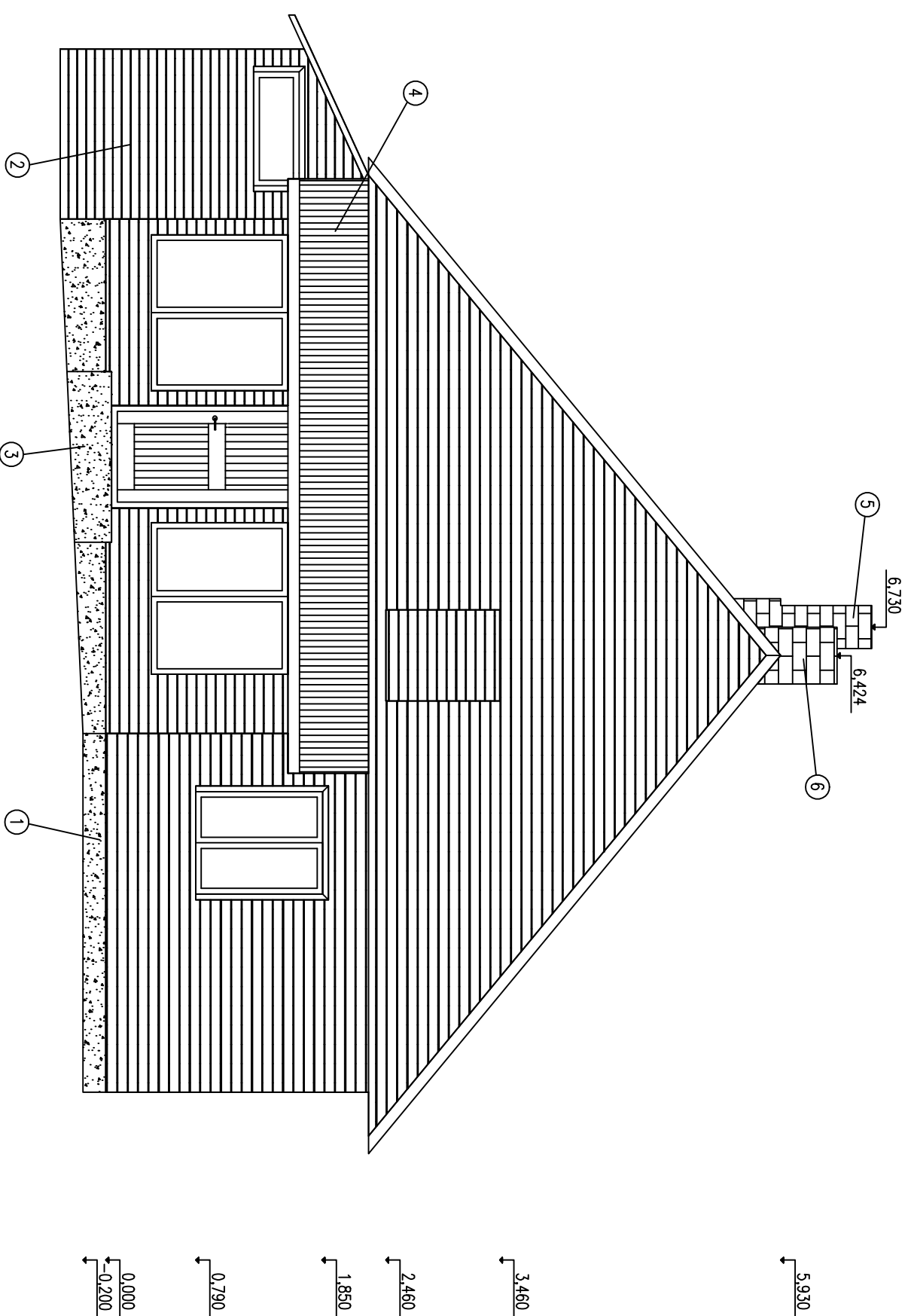


- ① Sokkel
- ② Voodriaud
- ③ Korsten, siikaattelistest
- ④ korsten, siikaattelistest

Tellija:			Objekt:		
	Nimi	Allkiri	Kuuppäev	Järve talu elamuhoone	
Koostas	Mihkel Kala			Idapoolne fassaad	
Juhendas	Aime Ruus			Leht:	3
TTÜ Tartu Kolledž				Lehti:	7
				Mõõtkava:	1:100

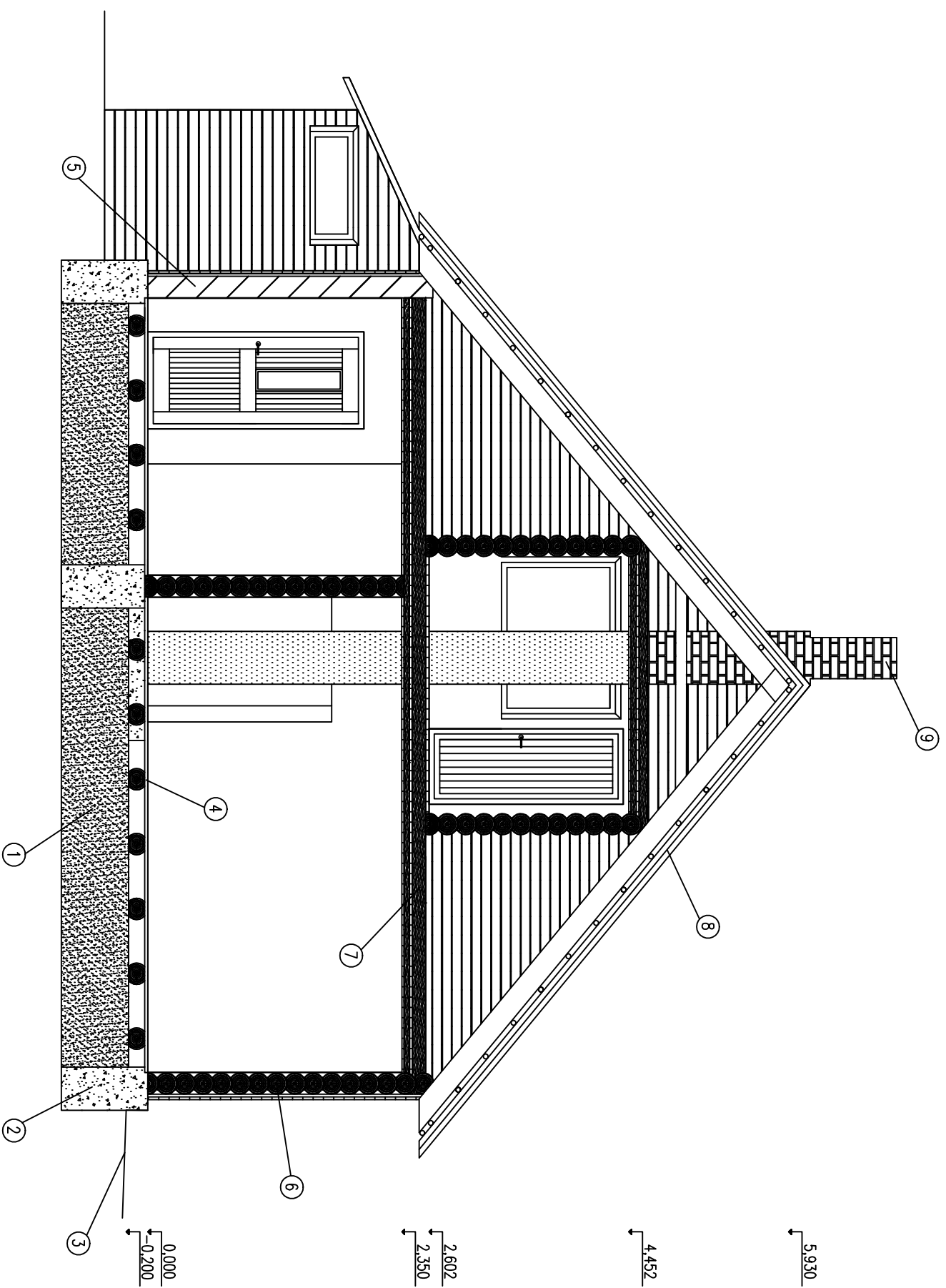


Tellijä:			Objekt:		
			Järve talu elamuhoone		
Nimi	Allkiri	Kuupäev	Joonis:		
Mihkel Kala			II korruse plaan		
Juhendas	Aime Ruus		Leht:	Leht:	Möötkava:
			6	7	1:100
TTÜ Tartu Kolledž					



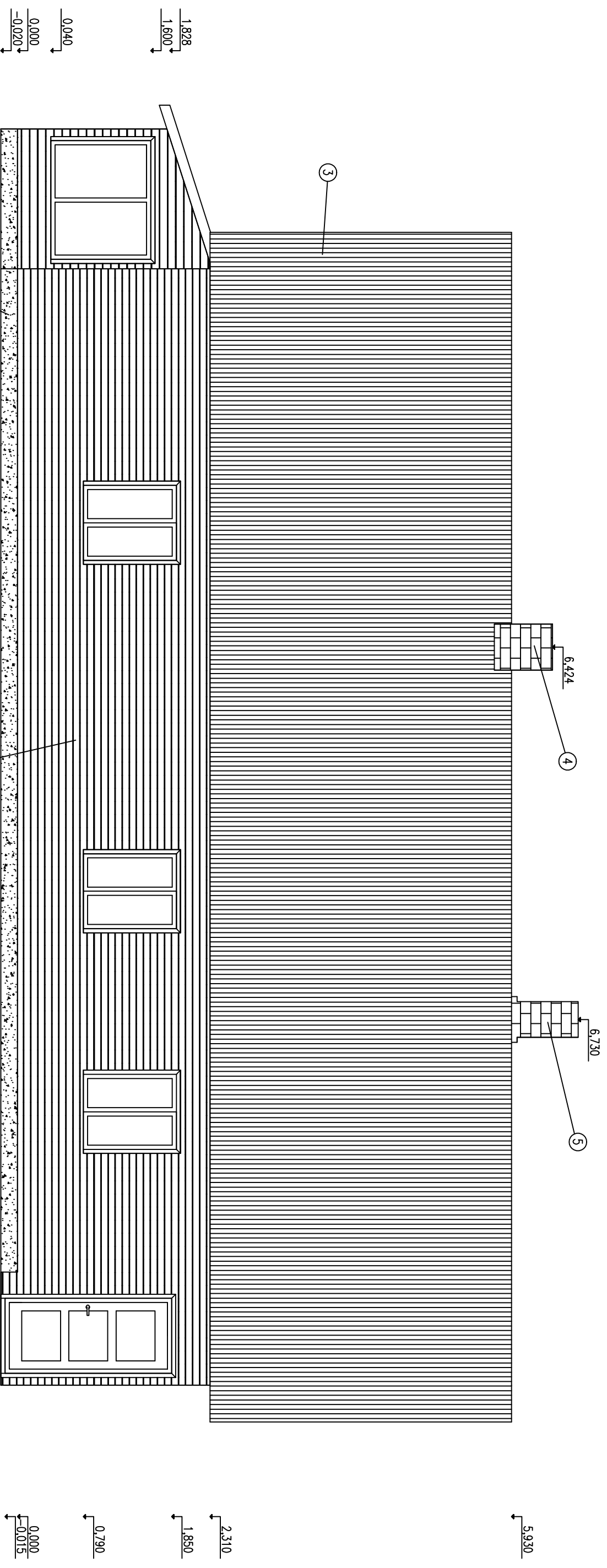
- ① Sokkel
- ② Voodriiaud
- ③ Betonist trepp
- ④ Eterniitkate
- ⑤ Korsten, silikaatallistest
- ⑥ Korsten, silikaatallistest

Tellija:			Objekt:		
	Nimi	Allkiri	Kuuppäev	Järve talu elamuhoone	
Koostas	Mihkel Kala			Läänepoolne fassaad	
Juhendas	Aime Ruus			Leht:	4
TTÜ Tartu Kolledž			Leht:	7	Möötkava:
			1:100		



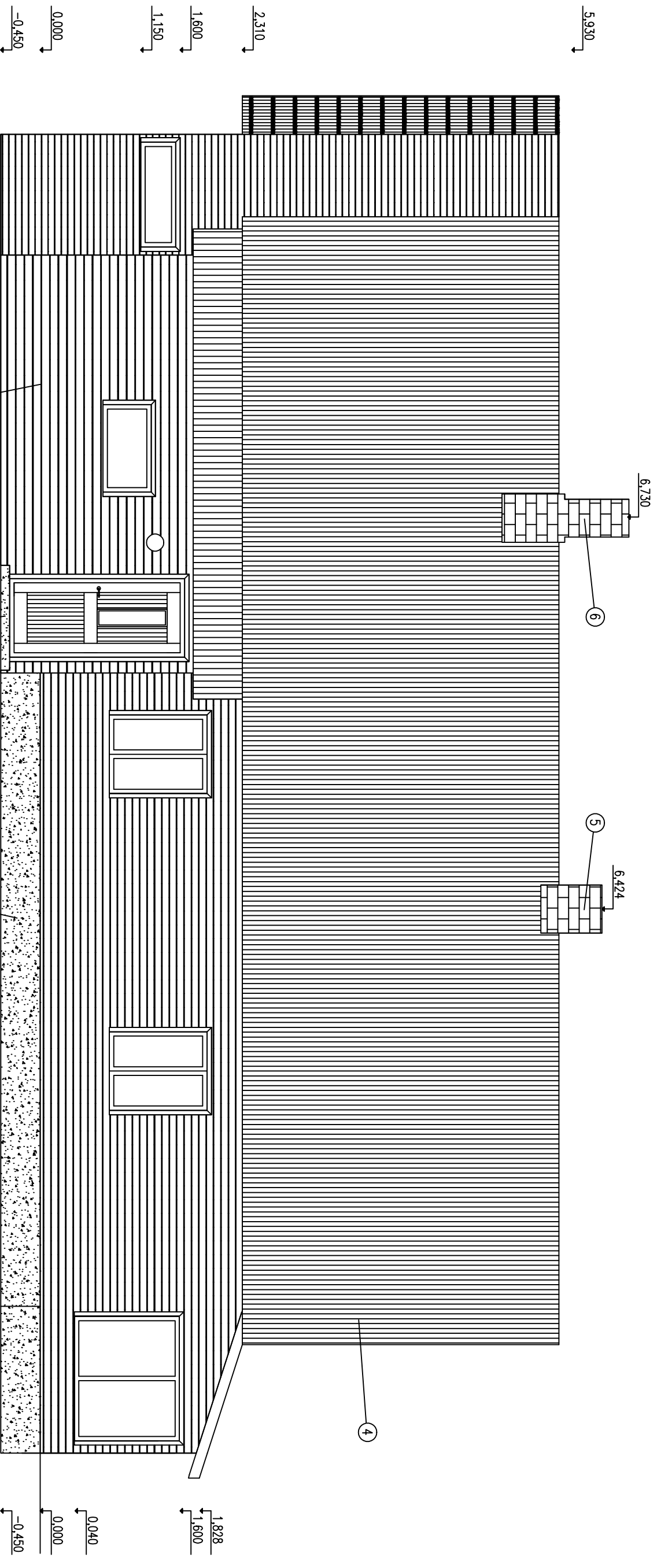
- ① Hoonealune pinnas
- ② Vundament
- ③ Hooneümruine pinnas
- ④ Alt tuulutatav pörand
- ⑤ Püstpalkkonstruktsioon
- ⑥ Rõhtpalkkonstruktsioon
- ⑦ Pööningu vahelagi
- ⑧ Eterniitkate laastkatte peal
- ⑨ Korsten

Tellija:			Objekt:		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Järve talu elamuhoone	
Koostas	Mihkel Kala			Joonis: Lõige A-A	
Juhendas	Aime Ruus			Leht: 7	Lehti: 7
TTÜ Tartu Kolledž			Mõõtkava:	1:100	



- ① Sokkel
- ② Voodrilaud
- ③ Eterniitkate
- ④ Korsten, siikaattelistest
- ⑤ Korsten, siikaattelistest

Tellija:			Objekt:		
	Nimi	Allkiri	Kuuppäev	Järve talu elamuhoone	
Koostas	Mihkel Kala			Lõunapoolne fassaad	
Juhendas	Aime Ruus			Leht:	2
				Lehti:	7
				Mõõtkava:	1:50
TTÜ Tartu Kolledž					



- ① Sokkel
- ② Voodriiaud
- ③ Betoonist trepp
- ④ Eterniitkate
- ⑤ Korsten, silikaatallistest
- ⑥ Korsten, silikaatallistest

Tellija:			Objekt:		
			Järve talu elamuhoone		
Nimi	Allkiri	Kuuppäev	Joonis:		
Koostas	Mihkel Kala		Põhjapoolne fassaad		
Juhendas	Aime Ruus		Leht:	Lehti:	Mõõtkava:
TTÜ Tartu Kolledž			1	7	1:50