



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

SUPILINNA MILJÖÖVÄÄRTUSLIKU ALA  
KORTERELAMU ENERGIATÕHUSUS JA SELLE  
PARANDAMINE

ADDRESS: HERNE 41, TARTU

ENERGY EFFICIENCY AND IMPROVEMENT OF WOODEN APARTMENT HOUSE  
LOCATED IN AREA OF CULTURAL AND ENVIRONMENTAL VALUE

Üliõpilane:

Raigo Mälton

\_\_\_\_\_

Juhendaja:

Dots. Aime Ruus

\_\_\_\_\_

Tartu 2015

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: 060545 EAEI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: ..... (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: ..... (allkiri)

## **Abstract**

Mälton, R. Energy Efficiency and Improvement of Wooden House Located in Area of Cultural and Environmental Value. Tartu 2015. 75 pages. 22 tables, 39 drawings, including 3 charts. Estonian language.

Aim of this study is to evaluate energy efficiency of wooden house, located in area of cultural and environmental value.

The study is based on thermal calculation according to national standards and two-dimensional heat flow modeling software. Building construction materials and major components were determine on site.

Building energy efficiency and overall heat loss calculations where carried out in two phase, existing moment and modified: walls, roof and attic.

Energy efficiency value was calculated by using computer software BV2

In conclusion without major improvements in building components it does not meet energy efficiency regulations, but reducing heat loss through building components, airleakage and thermal bridges increases building energy efficiency.

Keywords: energy efficiency, thermal resistance, thermal performance calculation, thermal bridges, vapour pressure, insulation.

## SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1.1 Ehitamise nõuded miljööväärtuslikus hoonestusallas .....	6
1.2 Energiatõhususe miinimumnõuded .....	7
2 TÖÖ EESMÄRK JA LAHENDATAVAD ÜLESANDED .....	8
3 MATERJAL JA METOODIKA .....	9
3.1 Hoone tehnilise seisukorra hindamine .....	9
3.2 Piirdetarindi soojuslähivuse arvutus .....	9
4 TULEMUSED .....	20
4.1 Hoone kirjeldus ja tehniline seisukord .....	20
4.2 Soojuskaod läbi välispiirete ja energiatõhususarv olemasoleva olukorra puhul .....	26
4.2.1 Välisseinte kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus .....	26
4.2.2 Avatäidete kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus .....	37
4.2.3 Põranda kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus .....	47
4.2.4 Vahelae kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus .....	51
4.2.5 Geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivus .....	53
4.2.6 Soojuskaod läbi välispiirete .....	54
4.2.7 Soojusvajadus hoone kütteks arvestades soojuskadusid läbi välispiirete .....	56
4.2.8 Energiatõhususarv olemasoleva olukorra kohta .....	56
4.3 Lisasoojustamine .....	59
4.3.1 Välisseinte niiskustehniline kontroll .....	59
4.3.2 Välisseinte lisasoojustamine .....	63
4.3.3 Põranda lisasoojustamine .....	66
4.3.4 Pööningu vahelae lisasoojustamine .....	67
4.3.5 Soojuskaod läbi lisasoojustatud välispiirete .....	68
4.3.6 Lisasoojustatud hoone soojusvajadus kütteks arvestades soojuskadusid läbi välispiirete .....	69
4.3.7 Energiatõhususarv lisasoojustatud hoone korral .....	70
5 ANALÜÜS JA JÄRELDUSED .....	71
KOKKUVÕTE .....	72
KASUTATUD MATERJALID .....	73
LISAD .....	75
Lisa 1. Tehnilise seisukorra hindamiskriteeriumite tabel	
Lisa 2. Fotod	
Lisa 3. Inventariseerimise joonised	
Lisa 4. Joonised	
Lisa 5. Therm`i mudelid	
Lisa 6. Energiatõhususarv ja netoenergia BV2	

## SISSEJUHATUS

Energia kallinemine ja inimeste kõrgenenud nõudmine soojusliku mugavuse suhtes on tekitanud vajaduse hoonete lisasoojustamiseks. Hoone soojustamisega vähenevad soojuskaod läbi välispiirete ning suureneb kütteenergia kokkuhoid.

Miljööväärtuslikes piirkondades, kus hoonete algupäraste ja ajastule omaste detailide säilitamine on prioriteet, on lisasoojustamise võimalused piiratud.

Käesolevas töös uuritakse Tartu linnas, Supilinna linnaosas, Herne tänav 41 asuvat puitkorterelamut. Antud valdkonnas on Tallinna Tehnikaülikooli ehitusteaduskonnas koostatud mitmeid uuringuid professor Roode Liase ja professor Targo Kalamehe juhtimisel.

Tänuavaldus

Töö autor tänab juhendajat dotsent Aime Ruus'i, Gerli Alasoo'd abi ja nõuannete eest ning majaomanik Jüri Reemann'i kannatlikkuse ja mõistva suhtumise eest hoone uurimisel.

# 1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Ehitamise nõuded miljööväärtuslikus hoonestusalas

Tartu linnas on ehitustegevus sätestatud Tartu linnavolikogu ehitusmäärusega nr. 30. [1] Määruses on eraldi osana käsitletud miljööväärtuslikku hoonestusala ning selles paiknevate hoonete ehitust puudutavaid nõudeid.

Vastavalt Tartu linna ehitusmäärusele kehtivad miljööväärtuslikul hoonestusalal järgmised ehitamise nõuded:

1. Hoone rekonstrueerimisel ja laiendamisel tuleb tagada arhitektuuriväärtuslike objektide ja nende osade (fassaadi, eksterjöörü- ja interjööridetallide, sealhulgas akende ja uste, laudvoodri, dekoratiivvormide, piirdeaedade jms) säilimine, restaureerimine ja võimalusel ka eksponeerimine.
2. Akende ja uste vahetamisel peavad uued olema analoogsed esialgsetega, säilitades materjalid, gabariidid, ruudujaotuse ja profiilid. Lubatud on sisemise raami ühekordne klaas vahetada klaaspaketi vastu. Akende ja uste vahetamisel tuleb kasutada algseid või algsele lähedasi materjale.
3. Miljööväärtuslike hoonete seinakatte või katuse remontimisel või vahetamisel tuleb kasutada algseid või algsele lähedasi materjale.
4. Miljööväärtusega hoonestusaladel on lisaks muudele tingimustele keelatud elektrikilpide ning muude tehniliste seadmete ja juhtmete paigaldamine hoone fassaadidele ning nende ette. Juhtmed ja ühendused tuleb monteerida seinakatte alla.

[1]

Vastavalt Tartu linna üldplaneeringule, asub Supilinna miljööväärtusega hoonestusala Emajõe, Kartuli, Oa, Marja, Herne, Meloni, Kauna, Tähtvere ja Kroonuaia tänavate vahelisel alal.

Miljööväärtusega hoonestusala eesmärk on tagada 19. sajandil kujunenud Supilinna miljöölise omapära säilimine – algne krundistruktuur, tänavavõrgustik, ajaloolise väärtusega tänavakatted, haljastus, maastikuelemendid, kaug- ja sisevaated ning ehitusajaloolise väärtusega hooned. [12]

## 1.2 Energiatõhususe miinimumnõuded

Hoonete energiatõhusust käsitleb Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv nr. 31 (2010/31/EL). Direktiiviga kehtestatakse üldnõuded hoonete ja hoone osade energiatõhususe arvutamise metoodikale ning miinimumnõuete rakendamisele.[2]

Antud direktiivi põhjal on Eestis koostatud järgmised Vabariigi Valitsuse määrused:

1. Nr. 68 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ (vastu võetud 30.08.2012. a.), millega kehtestatakse hoone energiatõhususe miinimumnõuded lähtuvalt hoone kasutusotstarbest. Samuti on määrusega kehtestatud üldised nõuded välispiiretele, ventilatsioonile ja ruumitemperatuurile. [3]

2. Nr. 63 „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ (vastu võetud 08.10.2012. a.), millega kehtestatakse hoone energiatõhususe arvutamise metoodika energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamiseks. [4]

Nõuded välispiiretele (VV määrus nr. 68):

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.

3) Soojustuse valikul tuleb lähtuda sellest, et ehitis oleks hea energiatõhususe tasemega. Elamute välispiirete valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest: välisseinte soojusläbivus 0,12 – 0,22  $W/(m^2K)$ , katuste ja põrandate soojusläbivus 0,1 – 0,15  $W/(m^2K)$ , akende ja uste soojusläbivus 0,6 – 1,1  $W/(m^2K)$ , lõplikud valikud tuleb teha lähtudes hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonilahendusest.

4) Välispiirete keskmine õhulekkearv ei tohi üldjuhul ületada üht kuupmeetrit tunnis välispiirde ruutmeetri kohta ( $m^3/(h \cdot m^2)$ ). Niiskuskonvektsiooni riskide vältimiseks tuleb tarindite kriitilised sõlmed (seina ja vundamendi ning põranda ühendus, sein ja katuse ühendus, katuslae auru- või õhutõkke jätkukohad, läbiviigud) teha võimalikult õhkupidavaks.

Nõuded ventilatsioonile ja ruumitemperatuurile (VV määrus nr. 68):

Energiaarvutustes peab ventilatsiooni välisõhu vooluhulk korterelamutes olema minimaalselt 0,42 liitrit sekundis köetava pinna ruutmeetri kohta ( $l/sm^2$ ).

Elamute ruumitemperatuuriks on määratud kütmisel  $21^{\circ} C$  ning jahutamisel  $27^{\circ} C$ . Suvise ruumitemperatuuri nõue loetakse täidetuks, kui ruumitemperatuuri ei ületata  $27^{\circ} C$  rohkem kui 150 kraadtundi ( $^{\circ}C \cdot h$ ). Lühiajaliselt on lubatud ruumi piirtemperatuuri ületada.

Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete määrusele, ei tohi oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ületada korterelamutes 180 kWh aastas köetava pinna ruutmeetri kohta. [3]

Ehitusseaduses järgi (§ 3 lõige 7<sup>1</sup> punkt 1), ei ole energiatõhususe miinimumnõuete järgimine nõutav üld- või detailplaneeringu alusel miljööväärtuslikule hoonestusalale jäävatel hoonetel, mille olemust või välisilmet energiatõhususe miinimumnõuete täitmine oluliselt muudaks. [5]

## **2 TÖÖ EESMÄRK JA LAHENDATAVAD ÜLESANDED**

Käesoleva töö eesmärgiks on välja selgitada uuritava hoone energiatõhususe näitajad hetkeolukorra ning erinevate soojustamisvariantide puhul, arvestades piirdetarindite lisasoojustamisel hoone paiknemist miljööväärtuslikul hoonestusalal ning sellest tingitud piirangut muuta hoone välisilmet.

Töös lahendatavad ülesanded:

- 1) Tehnilise seisukorra hindamine visuaalsel vaatlusel
- 2) Erinevate seinalahenduste soojuslähivuste leidmine
- 3) Uste ja akende soojuslähivuse arvutus programmiga Therm
- 4) Geomeetriliste külmasildade joonsoojusjuhtivuse arvutus programmiga Therm
- 5) Arvutuslike soojuskadude leidmine läbi välispiirete ning energiatõhususarv hetkeolukorra kohta
- 6) Niiskuse kondenseerumise ohu kontroll piirdetarindites Glaseri meetodil
- 7) Arvutuslike soojuskaude leidmine läbi välispiirete ning energiatõhususarv lisasoojustamise kohta



### 3 MATERJAL JA METOODIKA

#### 3.1 Hoone tehnilise seisukorra hindamine

Hoone tehnilise seisukorra hindamise aluseks on Muinsuskaitseameti poolt välja töötatud hoone tehnilise seisukorra hindamiskriteeriumid (lisa 1).

#### 3.2 Piirdetarindi soojusläbivuse arvutus

Soojus- ja niiskusülekande arvutustes kasutatud soojuslikult homogeensete materjalide andmed on võetud standardist EVS-EN ISO 10456:2008 „Ehitusmaterjalid ja –tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutuslike väärtuste määramise meetodid“ ning tootespetsifikatsioonidest.

Piirdetarindite soojustakistuse ja soojusjuhtivuse väärtuste arvutamisel on kasutatud standardit EVS-EN ISO 6946:2008 „Hoonete komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod“.

Välispiirete soojusjuhtivuse leidmiseks on arvatud piirdetarindi iga homogeense kihi soojustakistus. Soojuslikult homogeense materjalikihi soojustakistus arvutatakse valemiga:

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

kus:

d – materjalikihi paksus, m

$\lambda$  – materjali arvutuslik soojuserijuhtivus, W/(mK)

Üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel leitakse tarindi kogusoojustakistus. Kogu piirdetarindi soojustakistus  $R_T$  ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ) arvutatakse valemiga:

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

kus:

$R_{si}$  – piirde sisepinna soojustakistus,  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – piirdetarindi üksikute homogeensete kihtide soojustakistused,  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

$R_{se}$  – piirde välispinna soojustakistus,  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega piirde ehk puitsõrestikku, kandeposte sisaldava tarindi kogusoojustakistus arvutatakse valemiga:

$$R_T = \frac{R_T^i + R_T^v}{2}, \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3)$$

kus:

$R_T^i$  – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus, vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid seksioone,  $\text{m}^2\text{K/W}$

$R_T^v$  – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus, vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte,  $\text{m}^2\text{K/W}$

Ülemise piirväärtuse arvutamiseks tuleb tarind tükeldada pinnaga risti olevateks soojuslikult homogeenseteks seksioonideks ning arvutada valemiga:

$$\frac{1}{R_T^i} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad (3.1)$$

kus:

$R_{Ta}$ ,  $R_{Tb}$ ,  $R_{Tq}$  – piirde üksikute seksioonide kogusoojustakistused, arvutatud valemiga 2,  $\text{m}^2\text{K/W}$ .

$f_a, f_b, \dots, f_q$  – üksikute seksioonide osapindalad, seega  $f_a + f_b \dots + f_q = 1$ .

Alumise piirväärtuse puhul eeldatakse, et piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevad kihid on homogeensed. Soojuslikult homogeenne kiht arvutatakse valemiga 1 ja mittehomogeense kihi võrdväärne soojustakistus valemiga:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} \quad (3.2)$$

kus:

$R_j$  – mittehomogeense kihi võrdväärne soojustakistus,  $\text{m}^2\text{K/W}$

$R_{aj}$ ,  $R_{bj}$ , ...,  $R_{qj}$  – mittehomogeense kihi üksikute seksioonide soojustakistused, arvutatud valemiga 1,  $\text{m}^2\text{K/W}$ .

$f_a, f_b, \dots, f_q$  – mittehomogeense kihi üksikute seksioonide osapindalad, seega  $f_a + f_b \dots + f_q = 1$ .

Alumise piirväärtuse kogusoojustakistus arvutatakse analoogselt valemiga 2:

$$R_T^* = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \text{ m}^2\text{K/W} \quad (3.3)$$

Lisaks peab mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi soojustakistuse arvutamisel kontrollima maksimaalset suhtelist viga,  $e$  (%). Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga:

$$e = \frac{R_T - R_T^*}{2R_T} \cdot 100, e < 20\% \quad (4)$$

Mittehomogeensete materjalikihtidega piirde soojustakistuse arvutusmeetod on lihtsustatud meetod. Antud meetod ei sobi külmasildadest põhjustatud pinnatemperatuuride arvutamiseks ja ka mittehomogeense tarindi puhul, kui materjalide soojuserijuhtivused erinevad üle viie korra ehk kui suhteline arvutusviga ( $e$ ) on suurem kui 20 %.

Sellistel juhtudel tuleb soojustakistuse arvutamiseks kasutada temperatuurivälja arvutusmeetodit. [7] Antud töös on selleks kasutatud arvutiprogrammi THERM 7.3.

Piirde soojusjuhtivus  $U$  ( $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) arvutatakse valemiga:

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

kus:

$R_T$  – piirde kogusoojustakistus,  $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Avatäidete (akende ja uste) soojusjuhtivuse arvutamisel on kasutatud arvutiprogramme THERM 7.3 ja WINDOW 7.3 ning nende juhendmaterjale arvutuste teostamiseks vastavalt standardile EVS-EN ISO 10077. [11]

Akna klaasi osa ehk klaasingu ning kogu akna ja ukse konstruktsiooni soojusjuhtivuse arvutamise meetod on määratletud standardiga EVS-EN ISO 10077-1:2006 „Akende, uste ja luukide soojustehniline toimivus. Soojusjuhtivuse arvutus“. Osa 1: Üldosa. [9]

Raamprofiilide soojusjuhtivuse ja raamide ning klaasingu või täitepaneeli ühenduste pikkuspõhise soojusjuhtivuse arvutamise meetod on toodud standardis EVS-EN ISO 10077-

2:2003 „Akende, uste ja luukide soojustehniline toimivus. Soojusjuhtivuse arvutus“ Osa 2: Numbriline meetod. [10]

Klaasing on modelleeritud programmiga WINDOW. Pindade soojustakistusteks on kasutatud väärtusi  $R_{se} = 0,04$  ja  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  ehk programmis vastavaid pindade soojusjuhtivuse väärtusi  $R_{se} = 23$  ja  $R_{si} = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ning klaasingu soojusjuhtivus ( $U_g$ ) on arvatud valemiga: [11]

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum R_{s,f} + R_{si}}, \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \quad (6)$$

kus:

$R_{se}$  – välispinna takistus,  $\text{m}^2\text{K/W}$

$\lambda_j$  – klaasi või kattedihi soojuserijuhtivus,  $\text{W}/(\text{mK})$

$d_j$  – klaasi või kattedihi paksus, m

$R_{si}$  – sisepinna takistus,  $\text{m}^2\text{K/W}$

$R_{s,f}$  – õhuruumi soojustakistus,  $\text{m}^2\text{K/W}$

Akna raami soojusjuhtivuse ja klaasiserva ühenduse joonsoojusjuhtivuse arvutamisel THERM programmiga on akna raam modelleeritud kahel viisil. Esimesel juhul leitakse täitepaneeli (*Calibration Panel*) sisaldava raamprofiili ja selle serva soojusjuhtivus. Teisel juhul tehakse sama tüüpi arvutused koos eelnevalt WINDOW programmiga modelleeritud klaasi osaga. [11]

Mudelis kasutatava väärtused on võetud standardist EVS-EN ISO 10077-2, kus akna klaasi asendava täitepaneeli nähtavaks laiuks on 190 mm, kontrollpaneeli materjali soojusjuhtivuseks  $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$  ning välis- ja sisepinna soojustakistused on vastavalt  $R_{se} = 0,04$  ja  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ . [10]

THERM programmiga leitud tulemuste põhjal arvutatakse kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_f^{2D}$ ) läbi täitepaneeli sisaldava ristlõike, mis on arvatud valemiga: [11]

$$L_f^{2D} = U'_f \cdot b_f + U'_p \cdot b_p, \text{ W}/(\text{mK}) \quad (7)$$

kus:

$U'_f$  – THERM-iga arvatud täitepaneeli sisaldava raami soojusjuhtivus,  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

$b_f$  – raami projektsiooni laius, m

$U'_p$  – THERM-iga arvatud täitepaneeli serva soojusjuhtivus,  $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

$b_p$  – täitepaneeli nähtav laius (190 mm), m

Vastavalt standardile EVS-EN ISO 10077-2 on raami soojusjuhtivuse väärtus  $U_f^{CEN}$ , arvutatud valemiga: [10]

$$U_f^{CEN} = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f}, \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (8)$$

kus:

$L_f^{2D}$  – kahemõõtmeline soojuseri juhtivus läbi täitepaneeli sisaldava ristlõike, W/(mK)

$U_p$  – THERM-iga arvutatud täitepaneeli ühemõõtmeline (1 D) soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$b_p$  – täitepaneeli nähtav laius (190 mm), m

$b_f$  – raami projektsiooni laius, m

Raamist ja klaasingust koosneva ristlõike kahemõõtmeline soojuseri juhtivus ( $L_\Psi^{2D}$ ) on arvutatud valemiga: [11]

$$L_\Psi^{2D} = U_f \cdot b_f + U_{eog} \cdot b_g, \text{ W/(mK)} \quad (9)$$

kus:

$U_f$  – THERM-iga arvutatud klaasingut sisaldava raami soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$b_f$  – raami projektsiooni laius, m

$U_{eog}$  – THERM-iga arvutatud klaasingu serva soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$b_g$  – klaasingu serva kõrgus (190 mm), m

Raami ja klaasi serva vastastikusest mõjust tingitud täiendavat soojusvoogu kirjeldav joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus on arvutatud valemiga: [10]

$$\Psi = L_\Psi^{2D} - U_f^{CEN} \cdot b_f - U_g \cdot b_g, \text{ W/(mK)} \quad (10)$$

kus:

$L_\Psi^{2D}$  – kahemõõtmeline soojuseri juhtivus läbi klaasingut sisaldava ristlõike, W/(mK)

$U_f^{CEN}$  – raami soojusjuhtivus, leitud vastavalt EVS-EN ISO 10077-2 järgi, W/(m<sup>2</sup>K)

$b_f$  – raami projektsiooni laius, m

$U_g$  – WINDOW-ga arvutatud klaasingu ühemõõtmeline (1 D) soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$b_g$  – klaasingu serva kõrgus (190 mm), m

Kogu akna konstruktsiooni soojusjuhtivus ( $U_t$ ) arvutatakse valemiga: [9]

$$U_t = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f^{CEN} + \sum I_\psi \Psi}{A_t}, \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (11)$$

kus:

$A_g$  – klaasingu pindala,  $\text{m}^2$

$U_g$  – klaasingu soojusjuhtivus,  $\text{W/(m}^2\text{K)}$

$A_f$  – akna raami osa pindala,  $\text{m}^2$

$U_f^{CEN}$  – raami soojusjuhtivus,  $\text{W/(m}^2\text{K)}$

$I_\psi$  – klaasingu perimeetri pikkus, m

$\Psi$  – pikkuspõhine joonsoojusjuhtivus,  $\text{W/(mK)}$

Põranda soojustakistuse ja soojusjuhtivuse arvutamisel on kasutatud standardit EVS-EN ISO 13370:2008 „Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid“. Standardis on esitatud arvutusmeetodid pinnasega soojuslikus kontaktis olevate piirdetarindite, sealhulgas välisõhu kohal põrandate ning keldrite soojusjuhtivuse ja soojusvoo arvutamiseks.[8]

Põrandas tekkiva soojusvoo kolmemõõtmelisuse ja ruumigeomeetria arvestamiseks kasutatakse põranda tunnusmõõdet, mis on arvutatav valemiga:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}, \text{ m} \quad (15)$$

kus:

$A$  – põranda pindala,  $\text{m}^2$

$P$  – põranda perimeeter, m

Soojusjuhtivuse arvutustes kasutatakse soojustakistuste kirjeldamiseks võrdväärset paksust, milleks on sama soojustakistusega maapinnakihi paksus. Keldripõranda soojusjuhtivuse ( $U_{bf}$ ) määramisel arvutatakse keldripõranda võrdväärne paksus ( $d_t$ ) valemiga:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \text{ m} \quad (16)$$

kus:

$w$  – maapinnast kõrgemal asuvate seinte paksus, m

$\lambda$  – pinnase soojuseri juhtivus, W/(mK)

$R_{si}, R_{se}$  – piirdetarindi pinnatakistused, m<sup>2</sup>K/W

$R_f$  – põrandatarindi soojustakistus, m<sup>2</sup>K/W

Keldripõranda soojusjuhtivus ( $U_{bf}$ ) arvutatakse sõltuvalt soojustusest – soojustamata või mõõdukalt soojustatud keldripõranda korral ( $d_t + 0,5 z$ ) <  $B'$  valemiga:

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right), \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (17)$$

kus:

$d_t$  – keldripõranda võrdväärne paksus, m

$B'$  – põranda tunnusmõõt, m

$z$  – keldri sügavus maapinna suhtes, m

$\lambda$  – pinnase soojuseri juhtivus, W/(mK)

Keldriseina soojusjuhtivuse ( $U_{bw}$ ) saamiseks arvutatakse seinte võrdväärne paksus ( $d_w$ ) valemiga:

$$d_w = \lambda \cdot (R_{si} + R_w + R_{se}), \text{ m} \quad (18)$$

kus:

$\lambda$  – pinnase soojuseri juhtivus, W/(mK)

$R_{si}, R_{se}$  – piirdetarindi pinnatakistused, m<sup>2</sup>K/W

$R_w$  – keldriseinte soojustakistus, m<sup>2</sup>K/W

Keldriseina soojusjuhtivus ( $U_{bw}$ ) arvutatakse tingimusel  $d_w < d_t$  valemiga:

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right), \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (19)$$

kus:

$d_w$  – keldriseina võrdväärne paksus, m

$z$  – keldri sügavus maapinna suhtes, m

$\lambda$  – pinnase soojuseri juhtivus, W/(mK)

Välisõhuga tuulutatava kütmata keldri sise- ja väliskeskkonna vaheline soojusjuhtivus arvutatakse valemiga:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V)} \quad (20)$$

kus:

$U_f$  – keldri vahelae soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$U_{bf}$  – keldripõranda soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$z$  – keldri sügavus maapinna suhtes, m

$U_{bw}$  – maapinnast madalamal oleva keldriseina soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$h$  – põrandapinna kõrgus ümbritseva maapinna suhtes, m

$U_w$  – maapinnast kõrgemal oleva keldriseina soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$P$  – põranda perimeeter, m

$n$  – keldri õhuvahetuskordus tunni kohta,  $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$

$V$  – keldri sisekubatuur, m<sup>3</sup>

Keldri ja siseruumi vahelise põranda ( $U_f$ ) ja maapinnast kõrgemal asuvate keldriseinte ( $U_w$ ) soojusjuhtivuse väärtused leitakse vastavalt standardile EVS-EN ISO 6946:2008. [8]

Piirde sise- ja välispinna soojustakistuse väärtused keldri vahelael on (soojusvoo suund allapoole)  $R_{se} = R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Maapealsete keldriseinte pindade soojustakistused on võrdsed horisontaalse soojusvoo takistustega ( $R_{se} = 0,04$  ja  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ).

Lisaks välispiirete soojusjuhtivuse arvutustele on arvestatud geomeetrilisi külmasildu, mis tekivad hoone välisnurkades, akna ja seina kinnitustes, vahelae ja seina ning vundamendi ja põranda (keldri vahelae) liitumiskohtades. Külmasildadest tingitud lisasoojuskaod on võetud eraldi arvesse külmasildade joonsoojusjuhtivusega. Lähtutud on standardist EVS-EN ISO 10211:2008 „Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid“. Külmasilla kogusoojusjuhtivuse arvutamisel on kasutatud temperatuurivälja arvutusmeetodit ja programmi THERM 7.3.

Külmasilla kogusoojusjuhtivuse arvutusteks temperatuurivälja meetodil modelleeriti THERM programmiga tarindite liitekohast mudel. Mudelis määrati liites esinevatele materjalidele soojuseri juhtivused ning pindade temperatuurid ja soojustakistused. Vastavalt sisestatud



andmetele arvutab programm soojusvoolu läbi tarindite liitekohtade, arvestades erinevate materjalide omadusi ning materjalide paiknemist nendes liitekohtades. [14]

Tarindite modelleerimisel on Eestis kehtivate energiaarvutuste põhimõtete järgi kasutatud sisemõõde ning pikkus, mille ulatuses arvutus tehakse, peab olema vähemalt 1 m. [13]

Teades summaarset soojuslevi läbi kogu arvutatava tarindi ja tarindi üksikute osade soojusjuhtivust, leitakse külmasilla joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus. [13]

Külmasilla joonsoojusjuhtivus ( $\Psi$ ) on arvutatud valemiga:

$$\psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \text{ W/(mK)} \quad (21)$$

kus:

$L_{2D}$  – külmasilla soojuserikadu ehk soojusvool sise- ja väliskeskkonna temperatuurierinevuse kohta, mis läbib neid kahte keskkonda ühendavat tarindit ja mis on leitud kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutuste põhjal, W/(mK)

$U_j$  – kahte vaadeldavat keskkonda eraldava tarindi soojusjuhtivus, W/(m<sup>2</sup>K)

$l_j$  – mudeli lõigu pikkus, mille ulatuses kohaldatakse väärtust  $U_j$ , m

Infiltratsiooni õhuvooluhulga arvutamisel on kasutatud Vabariigi Valitsuse määrust (nr 63 08.10.2012. a.) „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“.

Infiltratsiooni õhuvooluhulk  $q_i$  arvutatakse valemiga:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x} \cdot A, \text{ l/s} \quad (22)$$

kus:

$q_{50}$  – hoone välispiirete keskmine õhulekkearv, m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>)

$A$  – hoone välispiirete pindala, m<sup>2</sup>

3,6 – tegur, mis teisendab õhuvooluhulga m<sup>3</sup>/h ühikust l/s ühikuks

$x$  – tegur, mis väljendab korruselisust (kolme- ja neljakorruselistel hoonetel 20)

Antud hoone välispiirete keskmine õhulekkearv ( $q_{50}$ ) on määratud õhulekkestega TTÜ Ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetooli poolt. Kasutatud on 21.09.2009.a. õhutiheduse mõõtetulemust.

Hoone soojusvajaduse arvutamisel kütteks on kasutatud energiaarvutuste baasaasta andmeid ning kraadpäevade arvu Tartus. [15]

Üks kraadpäev väljendab 1°C temperatuuride erinevust arvestusliku siseõhu temperatuuri ja ööpäeva keskmise välisõhu temperatuuri vahel. [15]

Kraadpäevade alusel on arvutatud soojusvajadus kütteks valemiga:

$$Q = (\sum AU + \sum \Psi l + q_i \cdot c_{\text{õhk}} \cdot \rho_{\text{õhk}}) \cdot \sum \Delta t t, \text{ Wh} \quad (23)$$

kus:

$\sum AU + \sum \Psi l + q_i \cdot c_{\text{õhk}} \cdot \rho_{\text{õhk}}$  – soojuserikaod, W/K

$\sum \Delta t t$  – kraadtundide hulk, h

Energiatõhususarvu arvutamiseks on kasutatud arvutiprogrammi BV2 ning VV. määrust nr 63 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“ Programm BV2 võimaldab sõltuvalt kasutusotstarbest simuleerida hoone energiatarvet.

Hoone välispiirete lisasoojustamisel on kontrollitud veeauru kondenseerumise ohtu. Kontrollitud on niisukstehniliselt kriitilisi, seespoolselt soojustatud välisseinu.

Kondenseerumisrisi arvutusteks ja difusioonigraafiku koostamiseks on kasutatud Glaseri meetodit.[17]

Arvutustes kasutatavate materjalide kihtide aurutakistused on arvutatud valemiga:

$$S_d = \mu \cdot d, \text{ m} \quad (24)$$

kus:

$\mu$  – ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant

$d$  – materjalikihi paksus, m

Difusioonigraafiku koostamisel on arvestatud talvise kondenseerumisperioodiga. Talvisele perioodile kehtivad vastavad raamtingimused DIN 4108 järgi: sisetemperatuur +20 °C, suhteline niiskus (RH) 50% ja välistemperatuur -10 °C, suhteline niiskus (RH) 80%. [17]

Välispiirde materjalikihtide ning sise- ja väliskülje pinnatemperatuurile vastav küllastusrõhk ( $p_{\text{max}}$ ) arvutatakse valemiga:

- kehtib temperatuuridel 0 kuni +30 °C

$$p_{\max} = 288,68 \cdot \left(1,098 + \frac{\Theta}{100}\right)^{8,02}, \text{ Pa} \quad (25)$$

- kehtib temperatuuridel -20 kuni 0 °C

$$p_{\max} = 4,689 \cdot \left(1,486 + \frac{\Theta}{100}\right)^{12,3}, \text{ Pa} \quad (26)$$

kus:

$p_{\max}$  – küllastunud auru rõhk, Pa

$\Theta$  – temperatuur, °C

Välispiirde sise- ja väliskülje osarõhk ( $p_{\text{teg}}$ ) arvutatakse piirtemperatuurile vastava küllastusrõhu ( $p_{\max}$ ) ja suhtelise niiskuse (RH) korrutisena.

## 4 TULEMUSED

### 4.1 Hoone kirjeldus ja tehniline seisukord

Uuritav hoone asub Tartu linnas, aadressil Herne 41, mis paikneb Supilinna linnaosa miljööväärtusega hoonestusalal.

Tegemist on 19. sajandi lõpu– 20. sajandi algusperioodil ehitatud kahekorruselise puidust korterelamuga (lisa 2, foto 1). Hilisemal perioodil on hoonele lisandunud katusekorrus ning katusest väljaehitis.

Põhiplaani on hoone ristkülikulise kujuga, Marja tänava poolisel (lääne) küljel asub tellistest ca 580 mm laiune tulemüür ning hoovipoolisel küljel eenduv trepikoda (lisa 2, foto 2–3). Trepikoda on kolmekorruseline ning ehitatud puitkarkasssõrestikuna, mis on toetatud postvundamendile. Puidust sõrestikpostide ristlõige on ca 120x140 mm ning väljast on need kaetud 25 mm paksuse voodrilauaga.

Hoonel on muldpõrandaga kelder, lae kõrgus põrandast ca 1,6 m. Hoone vaheseinu kannavad ca 610 mm ning väliseinu ca 730 mm paksused maakivist keldriseinad.

1955. aasta inventariseerimisjooniste ning majaraamatu põhjal on teada, et hoone oli kasutusel üürimajana. Iga tuba oli kasutusel kööktoana ning toast pääses hoone keskmes paiknevasse koridori, kus asus esimese ja teise korruse vaheline trepp ning väljapääs tänavale ja hoovi. (lisa 3 [6]).

Nüüdisajal elab hoones alaliselt kaks perekonda ning iga korrus on eraldi korter. Katusekorruse ruume jagavad perekonnad omavahel. Hoone ümberehituse käigus on esimese korruse koridor jaotatud vaheseintega eraldi ruumideks (esik, vannituba, panipaik, tänavapoolne esik). Teisel korrusel on keskne koridor säilinud endisel kujul. Sisemise trepi puudumise tõttu on kolme korruse vaheline liikumine võimalik ainult välise trepikoja kaudu (lisa 4).

Algseid avatäiteid säilinud ei ole, kuid koopiana on valmistatud tänavapoolne välisuks ning mõned aknad. Algupärase raami ja ruudujaotusega aknad on esimesel korrusel (Herne ja Kartuli tänava poolsed) ning keldril.

Hoonel on Supilinna korterelamutele iseloomulik palkseinu kattev lai (ca 190 mm) rõhtlaudis ning viilkatus.[12]

Tehnilist seisundit kirjeldav tabel on toodud lisas (lisa 1) ja hinnanguline koondtabel (tabel 1) jaotise lõpus.

### **Vundamendid, keldriseinad, sokkel**

Visuaalse vaatlusel on hoone maakivist vundamendi seisukord rahuldav. Soklil ning keldriseintel ei ole märgata vajumisi ega läbivaid pragusid, küll aga on Kartuli tänava poolses (ida) nurgas vundamenti parandatud betooniga. Betooniga on kaetud välimine soklios, osaliselt ka sisemine keldrisein. Lisaks on mõningates kohtades soklit kattev pritskrohv seinast tükkidena eraldunud.

Keldri aknaavade tellistest raamistu ning sillused on kohati kahjustunud või asendatud betoonsillustega (lisa 2, foto 5).

Trepikoja aluses müüritisel on vundamendi vajumisest põhjustatud mörad.

### **Seinad**

Hoone seinakonstruktsioon on rõhtpalkidest ning nurk on lahendatud kalasabatapiga (puhasnurk). Seinapalgid on ca 140 mm läbimõõduga (poomkandi osa ei arvesta) ning kaetud laudvoodriga. Palgid on siseruumi poolt tahatud ning väliskülge on tahatud süvis voodrilaudise distantssliistu jaoks.

Kartuli (ida) ja osaliselt ka Herne tänava poolse (lõuna) seina alumisest osast puudub voodrilaudis (lisa 2, foto 1 ja 5). Herne tänava poolses voodrilaudiseta seinaosas on vahetatud akende tenderpostid ja seina alumised palgid.

Avatud kohtades on rõhtpalkide seisukord hea. Kuigi seina alumised palgid on voodrilaudise ja soklipealse veelaua puudumise tõttu ilmastikutingimustele avatud, mädanikkahjustused ja deformatsioonid puuduvad.

Hoone otsaseinas asuv tellistest tulemüür on rahuldavas korras. Tulemüüri ülemises osas esineb üksikuid katkiseid telliseid ning müüritisepealne kattematerjal on amortiseerunud. Müüritise edasine lagunemine on vältimatu, kui ülemist osa ei kaeta pleki või mõne muu sobiliku materjaliga.

### **Vahelaed**

Vahelagede üldist seisukorda võib pidada heaks, puuduvad mädanikkahjustused ning nähtavad läbivajumised.

Esimese korruse ja keldri vahelagi on praktiliselt terves ulatuses välja vahetatud. Hoone keskosas asuvate ruumide (esik, vannituba, tänavapoolne esik, osaliselt köök – elutuba) põrandad toetuvad monoliitsele raudbetoonplaadile. Köök–elutoa põrandat kannavad terastalad (IPE-120). Ülejäänud hoone osades kannavad vahelagesid puittalad.

## **Põrandad**

Hoones on valdavalt puitpõrandad, kus kattematerjaliks on parkett või puitlaastplaat. Erandiks on esik, vannituba ning köök, kus põranda katteks on kasutatud keraamilisi plaate.

Põrandate seisukorda võib lugeda heaks, puuduvad deformatsioonid ja kulumisjäljed.

## **Trepid ja trepikojad**

Eenduva trepikoja keskosas asub ühemarsiline puittrepp, millel on üldised kasutamisest tulenevad kulumismärgid. Korruste põrandad on kergelt trepi poole kaldu, mis on arvatavasti tingitud trepikoja amortiseerunud postvundamendist.

Herne tänava poolsel välisküljel asub paari astmeline maakivitrepp, mis on hiljuti renoveeritud.

## **Avatäited**

Hoone esimesel korrusel, Kartuli tänava poolsetel ruumidel ning keldril on korrastatud algupärase sarnase raami ja ruudujaotusega aknad. Perspektiivis asendatakse ka ülejäänud hoone aknad sarnastega. Ülejäänud ruumides on küll paigaldatud uued aknad, kuid need ei sobi raamikonstruktsiooni ja ruudujaotuse poolest hoone üldise välisilmega.

Herne tänava poolne kahe poolega tahveluks on valmistatud algse koopiana ning on väga heas korras. Hoovipoolsed välisüksed on samuti asendatud, kuid kasutatud on vanu tahveluksi, mis sobivad hoone üldilmega.

## **Katuse kandekonstruktsioon**

Hoonel on ca 35 kraadise kaldega viilkatus. Katusekonstruktsiooniks on ümarpuidust sarikad, mis toetuvad toolvärgile. Sarikate läbimõõt on 140 mm ning paigaldatud on need 890 mm sammuga. Müürilati ja sarika liitekoht on lahendatud hambaga, sisselõige on nii müürilatis kui sarikas ning sarika räästaosa on tahutud.

Hilisemal katusekorruse väljaehitamisel on katusekonstruktsiooni ning katusekallet oletatavasti muudetud. Sarikatel on näha algse penni kinnituskohta, harjaosas on sarikaid jätkatud väiksema ristlõikega materjaliga ning harjatapp on ühendatud naeltega. Samuti on katuse tasapind korstnapitsi kraest ca 15 cm madalamal.

Katuse kandekonstruktsiooni tehniline seisukord on hea, puitosadel puuduvad mädanikkahjustused ja silmnähtavad läbivajumised.

### **Katusekate**

Katuse kattematerjaliks on eterniit, mille seisukorda võib hetkel pidada rahuldavaks. Sademevee läbijookse märgata ei ole, kuid mõnel plaadil esineb pikipragusid. Probleemsed on katuse liitumis- ja üleminekukohad, näiteks on tule müüri ja katuseserva vaheline plekk ning katuseuugi ja trepikoja neeluplekk korrosioonikahjustustega.

Hoone katuse renoveerimisel kasutada võimalusel miljööväärtusega hoonestusalale iseloomulikke katusekatte materjale näiteks valtsplekk-katet. [12]

### **Küttekolded ja korstnad**

Küttekolded – kiviahjud, pliit ning õhkküttekamin on visuaalsel vaatlusel korras. Samuti on korras korstnapitsid, kuigi korstna krae paistab ebaharilikult kõrge ning puudub pitsi ülemist serva kattev plekk.

### **Sadevee äravool**

Hoone sadevee äravoolu süsteem vajab täielikku renoveerimist. Vihmaveerennid ja –torud on hoovipoolsel küljel osaliselt välja vahetatud. Herne tänava poolsel küljel on vee juhtimine soklist eemale puudulik ning räästaalune veerenn korrosioonikahjustustega.

### **Kasutamiskiis**

Hoone kasutamiskiisi võib pidada heaperemehelikuks. Parandus- ja remonditöödega tegeletakse järjepidevalt.

### **Siseviimistlus**

Esimese korruse ruumide seinad ja laed on valdavalt krohvitud, mõnes üksikus ruumis on kasutatud kipsplaati.

Kartuli tänava poolsetes ruumides on pooleli kapitaalremont, nendes on seinad palkideni puhastatud ning järk-järgult kaetud roomati ja krohviga.

Remonditavatel ruumidel on viimistlemata laudpõrand ning laed on puhastatud musta laudiseni, mis hiljem krohvitakse.

Teisel ja kolmandal korrusel on ruumide seinad ja laed kaetud kipsplaadiga. Seinte viimistlemisel on kasutatud värvi või tapeeti. Põrandad on kaetud parketi või puitlaastplaadiga.

Üldiselt on hoone siseviimistluseks kasutatud materjalid vanasse majja sobilikud ning hästi hooldatud.

### **Arhitektuursed detailid**

Suplinna miljööväärtslikele hoonetele iseloomulik lai voodrilaud on antud hoone puhul suuremas osas uuesti kasutatav.

Kartuli tänava poolse teise korruse akna allosas on säilinud algse profiiliga piirdeliist, mille eeskujul saab uusi valmistada.

### **Välisviimistlus**

Hoonel puudub osaliselt välisvooder ning enamus puitfassaadi ilmestavaid detaile. Puudu on lisaks veelauad, akende ja uste piirdeliistud, veeplekid, nurgaliistud ning viilulauad.

Hoone voodrilauad on kohati niiskus- ja päikesekahjustustega ning värvkate on vananenud – kooruv ja pleekinud.

### **Heakord, haljastus**

Hoone ümbrus on hooldatud, otseses läheduses puudub kõrghaljastus.

### **Vertikaalplaneerimine, sillutis**

Herne tänava poolsel küljel asuva kõnnitee ja hoone vahelisel lõigul on munakivisillutis. Sillutisele on antud kalle hoonest eemale ning kõrge sokli tõttu ei kujuta pritsiv vihmavesi seintele erilist ohtu.



**Tabel 1.** Hoone osade tehniline seisukord

Hoone osad	Hinnang		
	Hea	Rahuldav	Halb
Vundamendid, keldriseinad, sokkel		x	
Seinad		x	
Vahelaed	x		
Põrandad	x		
Trepid		x	
Avatäited		x	
Katuse kandekonstruktsioon	x		
Katusekate		x	
Küttekolded, korstnad		x	
Sadevete äravool			x
Kasutamiskiis	x		
Siseviimistlus	x		
Arhitektuursed detailid		x	
Välisviimistlus			x
Heakord, haljastus		x	
Vertikaalplaneerimine, sillutis		x	

Visuaalse vaatluse põhjal võib hoone üldist seisukorda hinnata rahuldavaks.

## 4.2 Soojuskaod läbi välispiirete ja energiatõhususarv olemasoleva olukorra puhul

### 4.2.1 Välisseinte kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus

Hoone eripära on see, et on tehtud juba mitmeid erinevaid seestpoolt soojustamisi (tabel 2–4), mis vajavad niiskustehnilist kontrolli. Kokku võib lugeda 15 erinevat lahendust. Iga lahenduse puhul on arvutatud kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus ning leitud kaalutud keskmisena kogu vastava piirde soojusjuhtivus.

Välisvoodri tagust õhkvahet võib lugeda hästiventileerituks. Hästiventileeritud õhkvahet sisaldava piirdetarindi kogusoojustakistuse arvutamisel jäetakse välja õhkvahe ning kõikide muude õhkvahe ja väliskeskkonna vahel olevate kihtide soojustakistused. Kuna õhkvahe välisvoodri vahel suurendab teatud määral piirdetarindi soojustakistust, siis võib selle arvesse võtmiseks võrdsustada välispinna soojustakistuse sisepinna takistusega ( $R_{se}=R_{si}$ ). Muudel juhtudel kasutatakse välispinna soojustakistuse väärtust  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Horisontaalse soojusvoo suuna (seina) korral on sisepinna soojustakistuseks  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ . [7]

#### Esimese korruse seinad

Esimese korruse erinevad välisseina tüübid ja nende osapindalad on toodud tabelis 2. Seinapindade arvutamisel on arvestatud hoone sisemõõtudega ja korruse välisseina kõrguseks on valitud põrandapinna ning vahelae telgmõõdu vaheline pikkus ( $h = 2,78 \text{ m}$ ).

Seinapindadest on maha arvatud avatäidete pinnad.

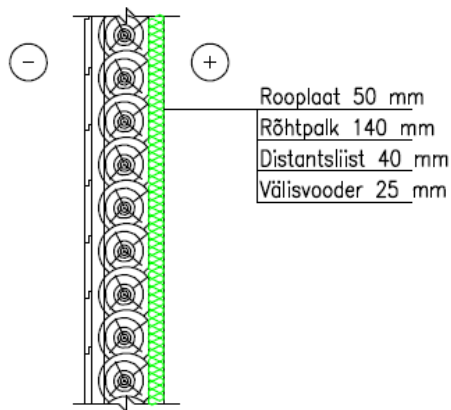
**Tabel 2.** Esimese korruse välisseinte tüübid ja nende pindalad

Sein	Seina tüüp	Pindala $\text{m}^2$	
Herne tänava poolne (lõuna)	Palk+rooplaat 50 mm	9,8	21,8
	Soojustamata palk	2,2	
	Palk+min.vill 50 mm+kipsplaat	9,8	
Kartuli tänava poolne (ida)	Palk+rooplaat 50 mm+krohv	-	27,5
Marja tänava poolne (lääne)	Tellis+min.vill 100 mm+laudis	14,2	29,3
	Tellis+min.vill 100 mm+tellis	15,1	
Hoovipoolne (põhi)	Tuuletõkkeplaat+palk+roomatt	9,7	25,8
	Tuuletõkkepaber+palk	16,1	

Herne tänava poolse (lõunapoolse) välisseina (tabel 2) erinevat tüüpi ristlõigete illustatsioonid ja vastava seina kogusoojustakistuse ja soojusjuhtivuse väärtused on toodud joonistel 1–3.

Kogu Herne tänava poolsest seinast moodustab rooplaadiga soojustatud seiniosa ca 45%, mineraalvilliga samuti ca 45% ja soojustamata palksein ca 10%.

Järgnevatelt joonistelt (1–2) on näha vastavatest homogeensetest kihtidest koosneva tarindi arvutuslik kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus.



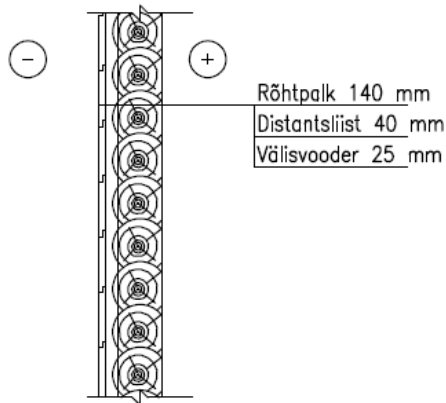
Kogusoojustakistus (valem 2):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,14}{0,13} + \frac{0,05}{0,056} + 0,13 = 2,23 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{2,23} = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

**Joonis 1.** Esimese korruse rooplaadiga soojustatud sein ( $U = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ )



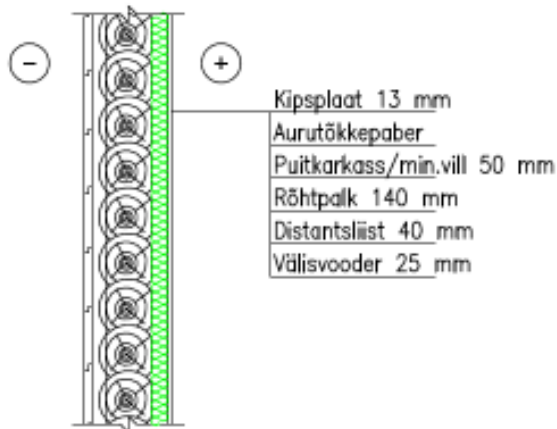
Kogusoojustakistus (valem 2):

$$R_T = 0,13 + \frac{0,14}{0,13} + 0,13 = 1,34 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{1,34} = 0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

**Joonis 2.** Esimese korruse soojustamata palksein ( $U = 0,75 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ )



**Joonis 3.** Esimese korruse mineraalvillaga (50 mm) soojustatud sein ( $U = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Joonisel 3 kujutatud sein on mittehomogeenne, mis on tingitud soojustuse vahel paiknevast puitsõrestikust (pruss 50x50 mm, paigaldatud sammuga 600 mm). Seinaosa kogusoojustakistus on arvutatud mittehomogeense tarindina (valem 3).

Arvutuskäik on järgmine – kogusoojustakistuse ülemise piirväärtuse jaoks on leitud homogeensete sektsioonide soojustakistused.

Soojustuse sektsiooni soojustakistus (valem 2):

$$R_{\text{soojustus}} = 0,13 + \frac{0,14}{0,13} + \frac{0,05}{0,037} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 2,74 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Sõrestiku sektsiooni soojustakistus (valem 2):

$$R_{\text{sõrestik}} = 0,13 + \frac{0,14}{0,13} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 1,77 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (valem 3.1):

$$R_T = \frac{600}{\frac{550}{2,74} + \frac{50}{1,77}} = 2,62 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Mittehomogeense materjalikihi võrdväärne soojustakistus alumise piirväärtuse jaoks (valem 3.2):

$$R_{\text{soojustus } 50 \text{ mm / sõrestik}} = \frac{600}{\frac{550}{\left(\frac{0,05}{0,037}\right)} + \frac{50}{\left(\frac{0,05}{0,13}\right)}} = 1,12 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (valem 3.3):

$$R_T' = 0,13 + \frac{0,14}{0,13} + 1,12 + \frac{0,013}{0,25} + 0,13 = 2,51 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{2,62 + 2,51}{2} = 2,56 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kontrolliks suhteline arvutusviga (valem 4):

$$e = \frac{2,62 - 2,51}{2 \cdot 2,56} \cdot 100 = 2,2 \%$$

$e < 20\%$  OK

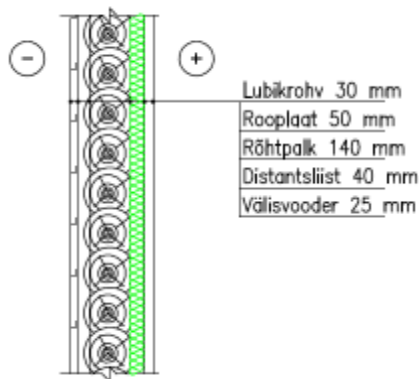
Mineraalvillaga kaetud seiniosa soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{2,56} = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kogu esimese korruse Herne tänava poolse (lõunapoolse) sein keskmine soojusjuhtivus:

$$U_{1,\text{lõuna}} = 0,45 \cdot 0,45 + 0,10 \cdot 0,75 + 0,45 \cdot 0,39 = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kartuli tänava poolne (idapoolne) otsasein (tabel 2) on soojustatud 50 mm rooplaadiga ning krohvitud. Seina ristlõige ja kogusoojustakistuse ning soojusjuhtivuse väärtused on toodud joonisel 4.



Kogusoojustakistus (valem 2):

$$R_T = 2,27 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5)

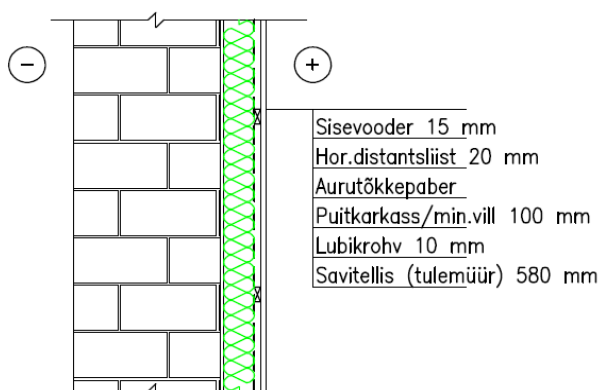
$$U_{1,ida} = \frac{1}{2,27} = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 4.** Esimese korruse rooplaadiga soojustatud ja krohvitud sein ( $U = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Marja tänava poolne (läänepoolne) otsasein (tabel 2) koosneb tellistest tulemüürist, mis on seestpoolt soojustatud mineraalvillaga. Viimistluslahendusena on kasutatud sisevoodrilauda ning õhukese krohvikihiga kaetud telliseid.

Seina kogusoojustakistuse arvutusetes on välispinna soojustakistuseks kasutatud  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Sisevoodrilaua kaetud seiniosa moodustab ca 49% kogu seinapinnast. Seina ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 5.



Kogusoojustakistus (valem 3):

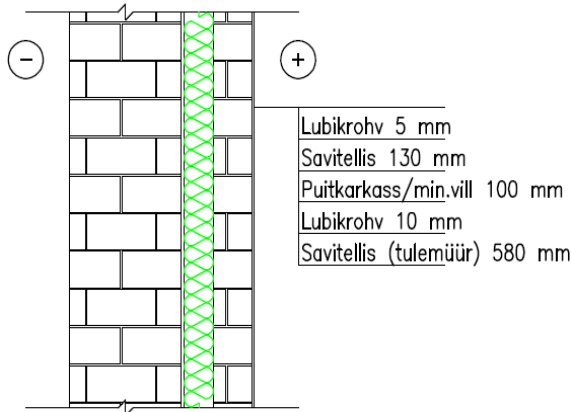
$$R_T = \frac{3,29 + 3,14}{2} = 3,21 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{3,21} = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 5.** Esimese korruse soojustatud tellissein, siseviimistluseks voodrilaud ( $U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Tellistega viimistletud seiniosa osakaal on ca 51% kogu seinapinnast. Seinä arvutuslik soojusjuhtivuse väärtus ja lõige on toodud joonisel 6.



Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{3,10 + 2,97}{2} = 3,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{3,04} = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

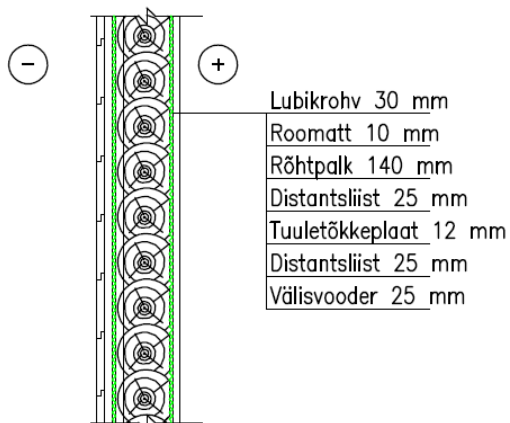
**Joonis 6.** Esimese korruse soojustatud tellissein, siseviimistluseks savitellis ( $U = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Kogu esimese korruse tulemüüriga (läänepoolse) seinä keskmine soojusjuhtivus:

$$U_{I,lääne} = 0,49 \cdot 0,31 + 0,51 \cdot 0,33 = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Hoovipoolne (põhjapoolne) välissein (tabel 2) on osaliselt krohvitud ning välisvoodri ja palkseina vahele on paigaldatud tuuletõkkeplaat. Remonditavates ruumides siseviimistlus puudub ning palksein on katmata, välisvoodri vahele on paigaldatud tuuletõkkepaber.

Tuuletõkkeplaadiga kaetud seiniosa osakaal on ca 38% kogu seinapinnast. Seinä ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 7.



Kogusoojustakistus (valem 2):

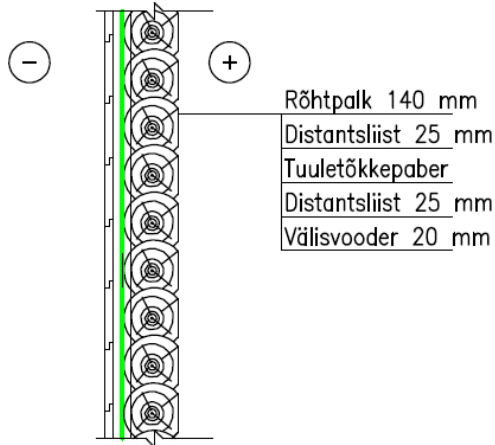
$$R_T = 1,78 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{1,78} = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 7.** Esimese korruse tuuletõkkeplaadiga kaetud palksein ( $U = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Tuuletõkkepaberiga, soojustamata palkseina osakaal on ca. 62% kogu seinapinnast. Seina ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 8.



Kogusoojustakistus (valem 2):

$$R_T = 1,34 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{1,34} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 8.** Esimese korruse tuuletõkkepaberiga kaetud soojustamata palksein ( $U = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Tuuletõkkepaberi soojustakistus on väike ega oma olulist mõju seina soojusjuhtivusele, selle tõttu on arvutustes tuuletõkkepaberiga kaetud seina soojusjuhtivus võrdne soojustamata palkseina omaga (joonis 2).

Esimese korruse hoovipoolse (põhjapoolse) seina keskmine soojusjuhtivus:

$$U_{I,põhja} = 0,38 \cdot 0,56 + 0,62 \cdot 0,75 = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kogu esimese korruse seinte keskmine soojusjuhtivus.

$$U_{I,korrus} = \frac{21,8 \cdot 0,45 + 27,5 \cdot 0,44 + 29,3 \cdot 0,32 + 25,8 \cdot 0,68}{104,4} = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



### Teise korruse seinad

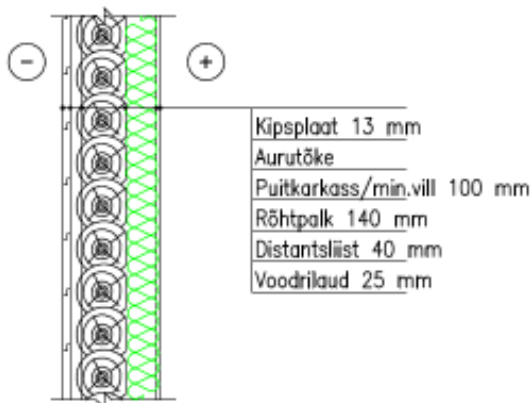
Teise korruse välisseina tüübid ja nende osapindalad on toodud tabelis 3. Seinapindade arvutamisel on korruse välisseina kõrguseks valitud põranda ehk esimese korruse vahelae telgmõõdu ja teise korruse lae vaheline pikkus ( $h = 2,66$  m).

**Tabel 3.** Teise korruse välisseinte tüübid ja nende pindalad

Sein	Seina tüüp	Pindala m <sup>2</sup>	
		-	
Herne tänava poolne	Palk+min.vill 100 mm+kipsplaat	-	23,3
Kartuli tänava poolne	Palk+min.vill 100 mm+kipsplaat	-	25,7
Marja tänava poolne	Tellis+min.vill 100 mm+kipsplaat	-	27,9
Hoovipoolne	Tuuletõkkeplaat+palk+min.vill 50 mm+kipsplaat	9,6	22,7
	Tuuletõkkepaber+palk+min.vill 100 mm+kipsplaat	13,1	

Herne ja Kartuli tänava poolne (lõuna- ja idapoolne) palksein (tabel 3) on soojustatud 100 mm paksuse mineraalvilla kihiga.

Seina ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 9.



Kogusoojustakistus (valem 3):

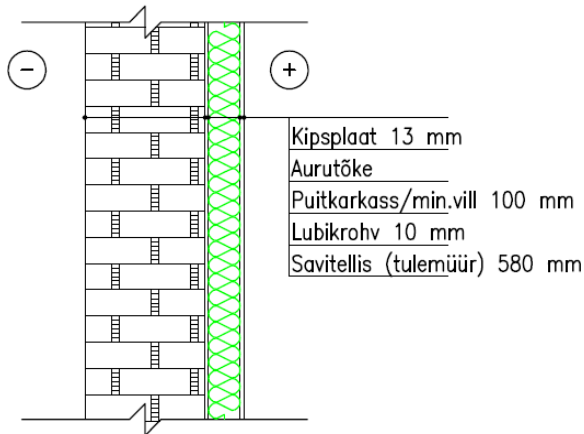
$$R_T = \frac{3,81 + 3,62}{2} = 3,72 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U_{II, lõuna, ida} = \frac{1}{3,72} = 0,27 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

**Joonis 9.** Teise korruse mineraalvillaga soojustatud palksein ( $U = 0,27$  W/(m<sup>2</sup>K))

Marja tänava poolse (läänepoolse) otsaseina tellistest müüritise ja kipsplaadi vahele on paigaldatud 100 mm paksune mineraalvilla kiht (tabel 3). Sein ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 10.



Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{3,04 + 2,92}{2} = 2,98 \text{ m}^2\text{K/W}$$

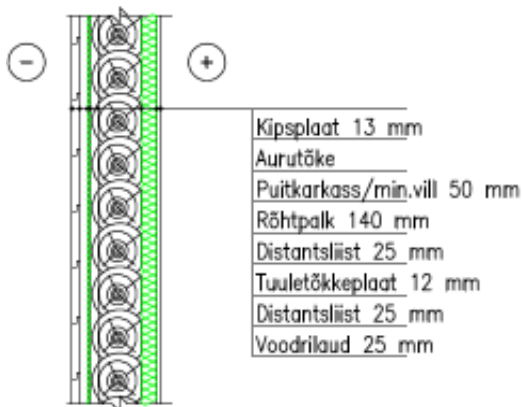
Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U_{II,lääne} = \frac{1}{2,98} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 10.** Teise korruse mineraalvillaga (100 mm) soojustatud tellissein ( $U = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Teise korruse hoovipoolse (põhjapoolne) välissein (tabel 3) on seestpoolt soojustatud ca 42% ulatuses 50 mm ja ca 58% 100 mm paksuse mineraalvilla kihiga.

50 mm paksuse mineraalvilla kihiga palkseina ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 11.



Kogusoojustakistus (valem 3):

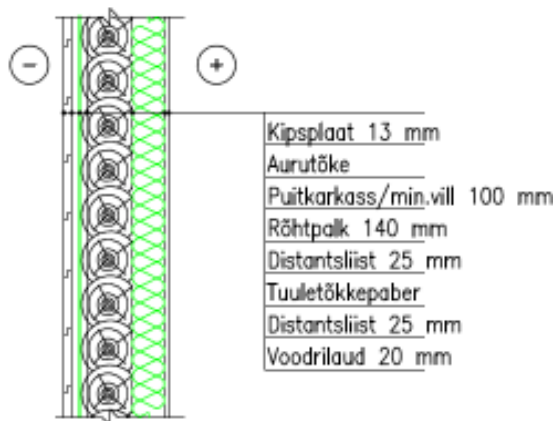
$$R_T = \frac{2,85 + 2,73}{2} = 2,79 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{2,79} = 0,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 11.** Teise korruse 50 mm mineraalvilla kihiga palksein ( $U = 0,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

100 mm paksuse mineraalvilla kihiga palkseina ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 12.



Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{3,81 + 3,62}{2} = 3,72 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{3,72} = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 12.** Teise korruse 100 mm mineraalvilla kihiga palksein ( $U = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Teise korruse hoovipoolse sein (põhjapoolse) keskmine soojusjuhtivus:

$$U_{II, \text{põhja}} = 0,42 \cdot 0,36 + 0,58 \cdot 0,27 = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kogu teise korruse seinte keskmine soojusjuhtivus:

$$U_{II, \text{korrus}} = \frac{23,3 \cdot 0,27 + 25,7 \cdot 0,27 + 27,9 \cdot 0,34 + 22,7 \cdot 0,31}{99,6} = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

### Kolmanda korruse seinad

Kolmanda korruse välisseina tüübid ja nende osapindalad on toodud tabelis 4. Seinapindade arvutamisel on välisseinte kõrguseks valitud katusekorruse lae ja põranda vaheline pikkus koos teise korruse vahelae paksusega ( $h = 2,82 \text{ m}$ ).

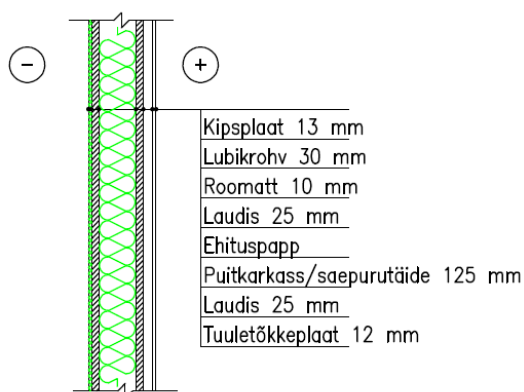
**Tabel 4.** Kolmanda korruse välisseinte tüübid ja nende pindalad

Sein	Seina tüüp	Pindala m <sup>2</sup>	
Herne tänava poolne	Tuuletõkkeplaat+puitkarkass+saepurutäide+krohv	-	31,7
Kartuli tänava poolne	Laudis+puitkarkass+saepurutäide+krohv	-	13,8
Marja tänava poolne	Tellis+min.vill 100 mm+kipsplaat	-	18,3
Hoovipoolne	Tuuletõkkeplaat+puitkarkass+saepurutäide+kips	19,0	28,6
	Laudis+puitkarkass+saepurutäide+krohv	9,6	

Katusekorruse Herne tänava poolne (lõunapoolne) välissein (tabel 4) koosneb puitsõrestikust (50x125 mm, samm: ca 900 mm), mille postide vahelise osa täiteks on kasutatud saepuru. Saepurutäide on eraldatud tiheda laudisega, mis on tuulekindluse tagamiseks väljastpoolt

kaetud tuuletõkkeplaadiga. Siseviimistluseks on kasutatud krohvikihiti, mis on hiljem remondi käigus kaetud kipsplaadiga.

Seina ristlõige ja soojusjuhtivuse väärtus on toodud joonisel 13.



Kogusoojustakistus (valem 3):

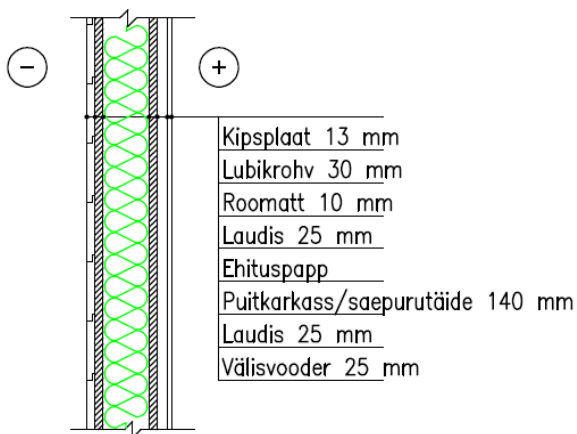
$$R_T = \frac{2,66 + 2,56}{2} = 2,61 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U_{III, lõuna} = \frac{1}{2,61} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 13.** Kolmanda korruse 125 mm prussidega täidisein ( $U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Kartuli tänava poolne (idapoolne) otsasein (tabel 4) on analoogne Herne tänava poolse seinaga, kuid puitsõrestikus on kasutatud suurema ristlõikega saematerjali (120x140 mm, samm: ca 1100 mm) (joonis 14).



Kogusoojustakistus (valem 3):

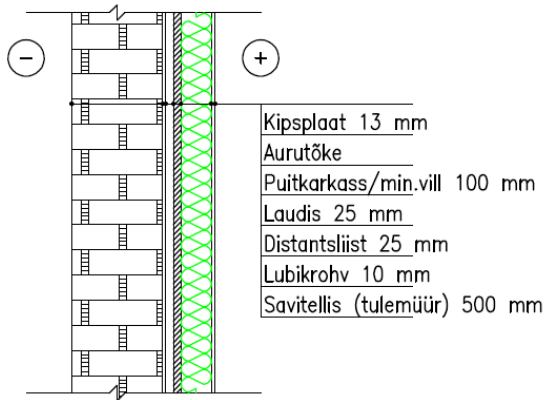
$$R_T = \frac{2,67 + 2,66}{2} = 2,67 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U_{III, ida} = \frac{1}{2,67} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 14.** Kolmanda korruse 140 mm prussidega täidisein ( $U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Marja tänava poolne (läänepoolne) tellisetest välissein on soojustatud 100 mm paksuse mineraalvilla kihiga ning kaetud kipsplaadiga. Soojustuse kiht on müüritisest eraldatud tiheda laudisega (joonis 15).



Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{3,37 + 3,21}{2} = 3,29 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U_{III, lääne} = \frac{1}{3,29} = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

**Joonis 15.** Kolmanda korruse mineraalvilla (100 mm) kihiga tellistest sein ( $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ )

Hoovipoolne (põhjapoolne) välissein on sama lahendusega, mis Herne ja Kartuli tänava poolsed seinad.

Väljaehitise osa välissein on sarnane Kartuli tänava poolse seinaga (joonis 14) ja ülejäänud hoovipoolne sein Herne tänava poolsega (joonis 13). Kuna mõlema välisseina lahenduse puhul on soojusjuhtivused samad, siis on kolmanda korruse hoovipoolse seina soojusjuhtivus on ( $U$ )  $0,38 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Kolmanda korruse seinte keskmine soojusjuhtivus:

$$U_{III, korrus} = \frac{31,7 \cdot 0,38 + 13,8 \cdot 0,38 + 18,3 \cdot 0,30 + 28,6 \cdot 0,38}{92,4} = 0,36 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

#### 4.2.2 Avatäidete kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus

Hoone akende soojusjuhtivus on arvatud kahekordse raamiga akna järgi, milleks on valitud Herne tänava poolsed, algupärase sarnase raamilahenduse ja ruudujaotusega aknad.

Välisuste soojusjuhtivus on arvatud peafassaadil paikneva ning hoovipoolse välisukse lengi ja ukselehe mõõtmetega.

Avatäidete mõõtmeid on korrigeeritud vastavalt seinas esinevate avade mõõtmetele – lengi ja raami osa jääb muutumatuks, klaasi- või ukselehe pind varieerub.

## Aknad

Hoone akende soojusjuhtivused ning raami- ja klaasiosa pindalad koos klaasiserva pikkustega on toodud tabelis 5. Akende soojusjuhtivus on leitud valemiga 11, akna erinevate osade detailsem arvutuskäik on toodud joonistel 16–22.

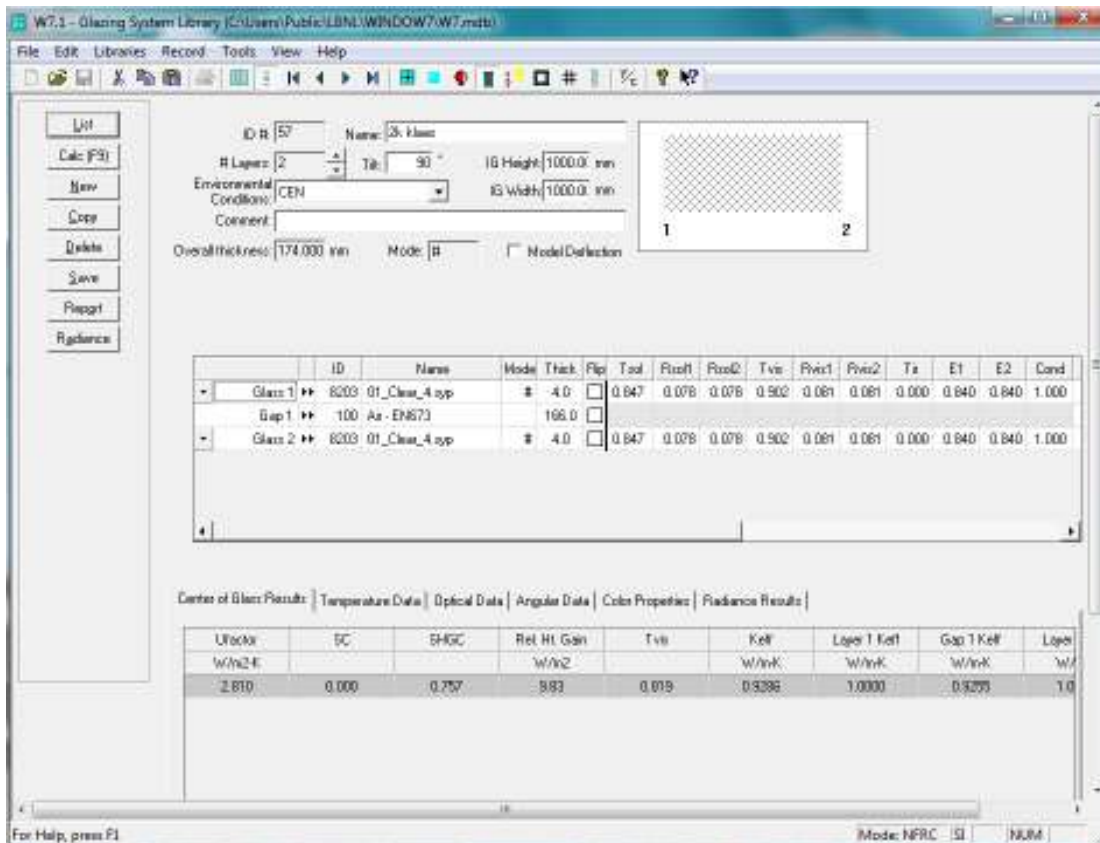
**Tabel 5.** Akende mõõtmed ning klaasi- ja raamipinnad koos akna soojusjuhtivusega

Akna mõõdud (h x l) mm	Klaasi pindala m <sup>2</sup>	Raami pindala m <sup>2</sup>	Klaasiserva pikkus m	Pindala kokku m <sup>2</sup>	Soojus- juhtivus W/(m <sup>2</sup> K)
1630x1020	0,97	0,69	6,87	1,66	2,07
1630x1480	1,49	0,92	9,76	2,41	2,13
1590x990	0,90	0,67	6,63	1,57	2,05
1590x1950	2,02	1,08	11,48	3,1	2,19
1440x1050	0,86	0,65	6,42	1,51	2,04

Akna klaasiosa soojusjuhtivuse arvutamisel on arvestatud kaheraamilise akna kahe 4 mm paksuse klaastahvliga ning nende 166 mm laiuse õhkvahega. Klaasingu soojusjuhtivus ( $U_g$ ) on määratud programmiga WINDOW (joonis 16) ning vääruks on 2,81 W/(m<sup>2</sup>K).

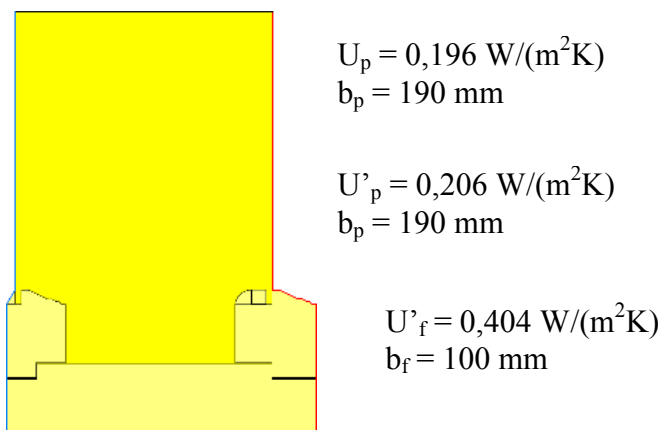
Tulemus on kontrollitav valemiga 6, kasutades piirde pinnatakistusteks programmi pinnasoojusjuhtivuste pöördväärtusi:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,008}{1,0} + 0,18 + \frac{1}{23}} = 2,81 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$



**Joonis 16.** Klaasingu soojusjuhtivus kahekordse 4 mm klaasi ja 166 mm õhkvahe puhul

Akna lengi ja raami soojusjuhtivuse ( $U_f^{CEN}$ ) määramiseks kasutatud mudel on toodud joonisel 17. Leitud on täitepaneeli ( $U_p$ ), täitepaneeli serva ( $U'_p$ ) ning raamprofiili ( $U'_f$ ) soojusjuhtivus.



**Joonis 17.** Täitepaneeli (*Calibration Panel*) sisaldava raamprofiili soojusjuhtivused

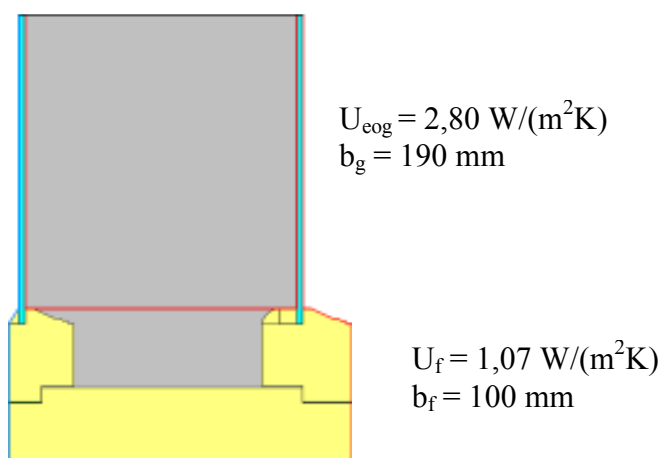
Täitepaneeli sisaldava akna raami kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_f^{2D}$ ) on arvutatud valemiga 7:

$$L_f^{2D} = 0,404 \cdot 0,1 + 0,206 \cdot 0,19 = 0,080 \text{ W}/(\text{mK})$$

Akna raami soojusjuhtivus ( $U_f^{CEN}$ ) vastavalt EVS-EN ISO 10077-2 on arvatud valemiga 8:

$$U_f^{CEN} = \frac{0,080 - 0,196 \cdot 0,19}{0,1} = 0,423 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Raami ja klaasi vahelise joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) määramisel on arvutuskäik sarnane, täitepaneeli asendab klaasing. Klaasingut sisaldava akna raami mudeliga (joonis 18) on määratud klaasingu serva ja raami soojusjuhtivuse väärtused.



**Joonis 18.** Klaasingut sisaldava raamprofiili soojusjuhtivused

Klaasinguga akna raami kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_\Psi^{2D}$ ) on arvatud valemiga 9:

$$L_\Psi^{2D} = 1,07 \cdot 0,1 + 2,80 \cdot 0,19 = 0,639 \text{ W/(mK)}$$

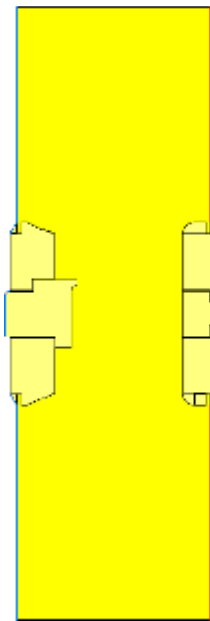
Akna raami ja klaasi serva joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus on arvatud vastavalt EVS-EN ISO 10077-2 valemiga 10:

$$\Psi = 0,639 - 0,423 \cdot 0,1 - 2,81 \cdot 0,19 = 0,063 \text{ W/(mK)}$$

Kogu akna soojusjuhtivuse arvutamisel on arvesse võetud erineva kujuga akna raamide osi. Leitud on soojusjuhtivus ning raami ja klaasi serva joonsoojusjuhtivus akna rõhtpuule (joonis 19–20) ja akna raamide liitumiskohale (joonis 21–22).

Täitepaneeli sisaldava akna rõhtpuu soojusjuhtivus ja selle serva soojusjuhtivus on toodud joonisel 19.





$$U_p = 0,196 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$b_p = 380 \text{ mm}$$

$$U'_p = 0,199 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$b_p = 380 \text{ mm}$$

$$U'_f = 0,245 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$b_f = 160 \text{ mm}$$

**Joonis 19.** Täitepaneeli sisaldava rõhtpuu soojusjuhtivused

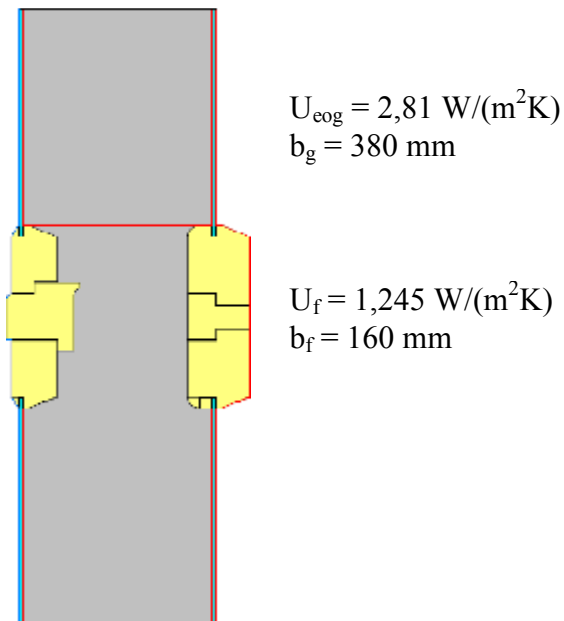
Täitepaneeli sisaldava rõhtpuu kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_f^{2D}$ ) (valem 7):

$$L_f^{2D} = 0,245 \cdot 0,16 + 0,199 \cdot 0,380 = 0,115 \text{ W}/(\text{mK})$$

Akna rõhtpuu soojusjuhtivus ( $U_f^{CEN}$ ) (valem 8):

$$U_f^{CEN} = \frac{0,115 - 0,196 \cdot 0,38}{0,16} = 0,252 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Klaasingut sisaldava rõhtpuu mudel ning rõhtpuu ja klaasingu serva soojusjuhtivuse väärtused on toodud joonisel 20.



**Joonis 20.** Klaasingut sisaldava rõhtpuu soojusjuhtivused

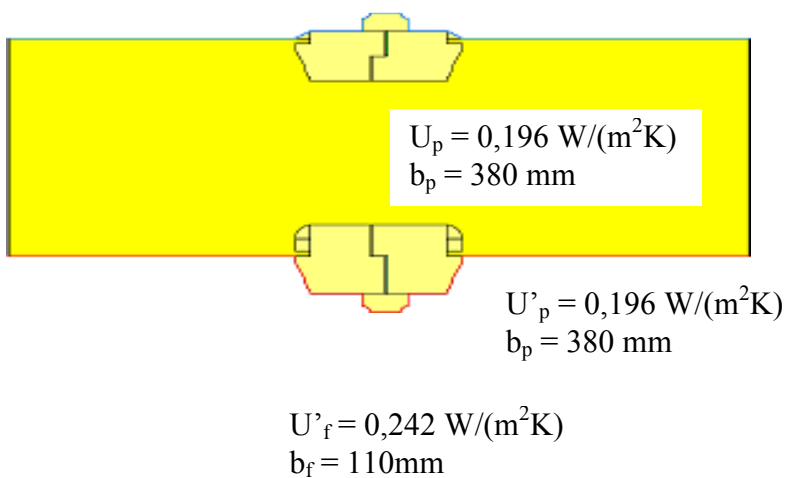
Klaasinguga rõhtpuu kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_{\Psi}^{2D}$ ) (valem 9):

$$L_{\Psi}^{2D} = 1,25 \cdot 0,16 + 2,81 \cdot 0,38 = 1,268 \text{ W}/(\text{mK})$$

Rõhtpuu ja klaasi serva joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus (valem 10):

$$\Psi = \frac{1,268 - 0,245 \cdot 0,16 - 2,81 \cdot 0,38}{2} = 0,080 \text{ W}/(\text{mK})$$

Kahe vertikaalse raami liitumise sõlme mudel on toodud joonisel 21. Leitud on täitepaneeli ja selle serva ning raamprofili soojusjuhtivus.



**Joonis 21.** Täitepaneeli sisaldava kahe vertikaalse raami liitumise soojusjuhtivused

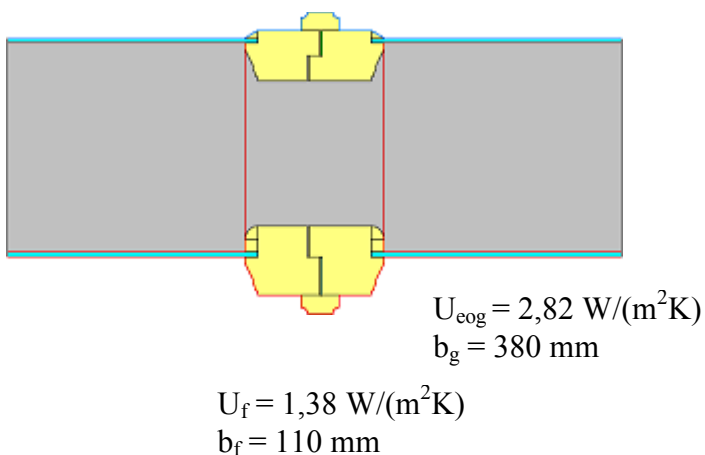
Täitepaneeli sisaldava vertikaalse raami kahemõõtmeline soojuseri juhtivus ( $L_f^{2D}$ ) (valem 7):

$$L_f^{2D} = 0,242 \cdot 0,11 + 0,196 \cdot 0,380 = 0,101 \text{ W/(mK)}$$

Akna vertikaalse raamiosa soojusjuhtivus ( $U_f^{CEN}$ ) (valem 8):

$$U_f^{CEN} = \frac{0,101 - 0,196 \cdot 0,38}{0,11} = 0,242 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Klaasingut sisaldava raami mudel ning raami ja klaasingu serva soojusjuhtivuse väärtused on toodud joonisel 22.



**Joonis 22.** Klaasingut sisaldava kahe vertikaalse raami liitumise soojusjuhtivused

Klaasinguga akna raami kahemõõtmeline soojuseri juhtivus ( $L_\psi^{2D}$ ) (valem 9):

$$L_\psi^{2D} = 1,38 \cdot 0,11 + 2,82 \cdot 0,38 = 1,223 \text{ W/(mK)}$$

Raami ja klaasi serva joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus (valem 10):

$$\psi = \frac{1,223 - 0,242 \cdot 0,11 - 2,81 \cdot 0,38}{2} = 0,064 \text{ W/(mK)}$$

### Välisused

Hoone välisuste soojusjuhtivused koos ukse lengi ja tahvli pindaladega on toodud tabelis 6. Uste soojusjuhtivus on leitud sarnaselt akendega (valem 11), klaasiosa asendab puidust 35 – 40 mm paksune ukse tahvel. Ukse tahvli ja lengi detailsem arvutuskäik on toodud joonistel 23–24.

**Tabel 6.** Uste soojusjuhtivused koos lengi ja tahvli pindaladega

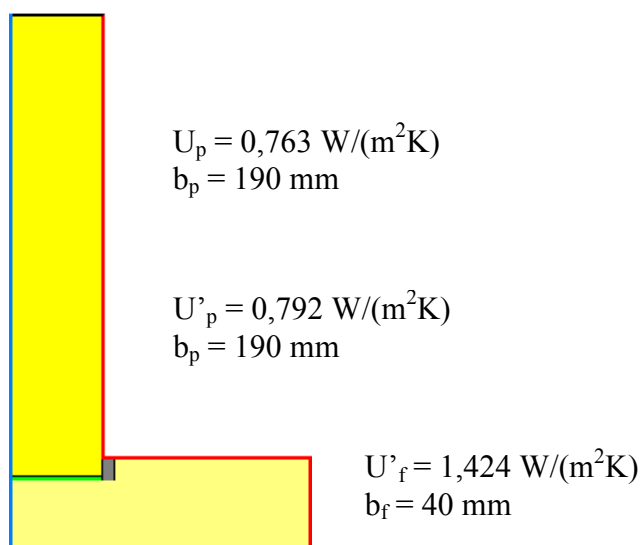
Ukse mõõdud (h x l) mm	Klaasi pindala m <sup>2</sup>	Tahvli pindala m <sup>2</sup>	Lengi pindala m <sup>2</sup>	Ukse serva pikkus m	Pindala kokku m <sup>2</sup>	Soojusjuhtivus W/(m <sup>2</sup> K)
3050x1390	0,92	2,98	0,34	7,24	4,24	2,21
2110x1010	-	1,89	0,24	5,92	2,13	2,23
1910x960	-	1,61	0,22	5,42	1,83	2,23
1910x860	-	1,43	0,21	5,22	1,64	2,23

Herne tänava poolse välisukse kohal asuva akna (660 x 1390 mm) soojusjuhtivus on 2,77 W/(m<sup>2</sup>K) (valem 11).

Ukse tahvli soojusjuhtivus on arvatud valemiga 6 ning paksuseks on valitud 40 mm:

$$U_{d,core} = \frac{1}{0,04 + \frac{0,04}{0,13} + 0,13} = 2,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ukse lengi soojusjuhtivuse ( $U_f^{CEN}$ ) määramiseks kasutatud mudel koos täitepaneeli ( $U_p$ ), täitepaneeli serva ( $U'_p$ ) ning lengi ( $U'_f$ ) soojusjuhtivusega on toodud joonisel 23.



**Joonis 23.** Täitepaneeliga kahepoolse ukse lengi soojusjuhtivused

Täitepaneeli sisaldava kahepoolse ukse lengi kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_f^{2D}$ ) (valem 7):

$$L_f^{2D} = 1,424 \cdot 0,04 + 0,792 \cdot 0,19 = 0,207 \text{ W/(mK)}$$

Kahepoolse ukse lengi soojusjuhtivus ( $U_f^{CEN}$ ) (valem 8):

$$U_f^{CEN} = \frac{0,207 - 0,763 \cdot 0,19}{0,04} = 1,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Ukse lengi ja tahvli vahelise joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) arvutamisel on programmiga THERM leitud ukse tahvli serva ( $U_{edge}$ ) ja lengi ( $U_f$ ) soojusjuhtivuse väärtused. Mudelist leitud vastavad väärtused on  $U_{edge} = 2,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja  $U_f = 1,63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Ukse tahvlit sisaldava lengi kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_\Psi^{2D}$ ) on arvutatud valemiga 9:

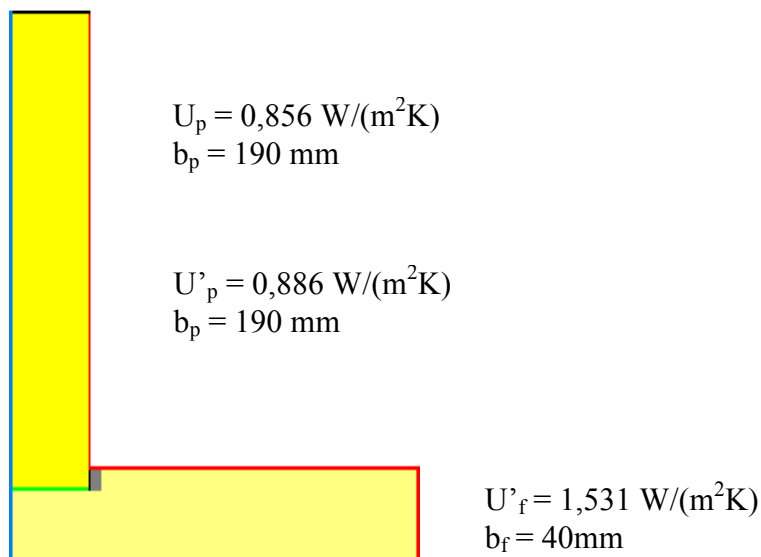
$$L_\Psi^{2D} = 1,63 \cdot 0,04 + 2,12 \cdot 0,19 = 0,468 \text{ W}/(\text{mK})$$

Lengi ja ukse tahvli serva joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus on arvutatud valemiga 10:

$$\Psi = 0,468 - 1,56 \cdot 0,04 - 2,1 \cdot 0,19 = 0,007 \text{ W}/(\text{mK})$$

Hoone teiste välisuste jaoks on kasutatud 35 mm paksust ukse tahvlit, mille soojusjuhtivuseks ( $U_{d,core}$ ) on  $2,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Ukse lengi soojusjuhtivus ( $U_f^{CEN}$ ) määramiseks kasutatud mudel on toodud joonisel 24. Joonisel on toodud THERM-iga leitud täitepaneeli ( $U_p$ ), täitepaneeli serva ( $U'_p$ ) ning lengi ( $U'_f$ ) soojusjuhtivused.



**Joonis 24.** Täitepaneeliga ukse lengi soojusjuhtivused

Täitepaneeli sisaldava ukse lengi kahemõõtmeline soojuserijuhtivus ( $L_f^{2D}$ ) (valem 7):

$$L_f^{2D} = 1,531 \cdot 0,04 + 0,886 \cdot 0,19 = 0,230 \text{ W}/(\text{mK})$$

Ukse lengi soojusjuhtivus ( $U_f^{CEN}$ ) (valem 8):

$$U_f^{CEN} = \frac{0,230 - 0,856 \cdot 0,19}{0,04} = 1,68 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ukse lengi ja tahvli vahelise joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) arvutamiseks on leitud ukse lengi ja tahvli sisaldavast mudelist tahvli serva soojusjuhtivus ( $U_{edge}$ ) 2,31 W/(m<sup>2</sup>K) ja lengi ( $U_f$ ) soojusjuhtivuse väärtused 1,76 W/(m<sup>2</sup>K).

Ukse tahvli sisaldava lengi kahemõõtmeline soojuseri juhtivus ( $L_\Psi^{2D}$ ) on arvatud valemiga 9:

$$L_\Psi^{2D} = 1,76 \cdot 0,04 + 2,31 \cdot 0,19 = 0,509 \text{ W/(mK)}$$

Lengi ja ukse tahvli serva joonsoojusjuhtivuse ( $\Psi$ ) väärtus on arvatud valemiga 10:

$$\psi = 0,509 - 1,68 \cdot 0,04 - 2,28 \cdot 0,19 = 0,009 \text{ W/(mK)}$$

### 4.2.3 Põranda kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus

Põranda soojusjuhtivuse arvutamisel on arvestatud hoone all paikneva kütmata ning välisõhuga tuulutatava keldriga.

Keldripõranda soojusjuhtivuse ( $U_{bf}$ ) määramiseks on arvatud põranda tunnusmõõt valemiga 15:[8]

$$B' = \frac{111,9}{0,5 \cdot 42,4} = 5,28 \text{ m}$$

Põranda soojustuse võrdväärne paksus ( $d_t$ ) on arvatud valemiga 16. Keldri maakivist seinte paksuseks on 730 mm ning põranda soojustakistuse ( $R_f$ ) väärtuseks on null, kuna keldri põrandaks on ainult kruuspinnas ning selle soojustakistust eraldi ei arvestata. Pinnase soojuseri juhtivus ( $\lambda$ ) on liiv- või kruuspinnase puhul 2,0 W/(mK). [8]

$$d_t = 0,73 + 2,0 \cdot (0,17 + 0 + 0,04) = 1,15 \text{ m}$$

Keldri sügavus ( $z$ ) ümbritseva maapinna suhtes on ca 0,73 m. Soojustamata või mõõdukalt soojustatud keldripõranda soojusjuhtivus ( $U_{bf}$ ) on arvatud valemiga 17:

$$(d_t + 0,5 \cdot z) < B'$$

$$(1,15 + 0,5 \cdot 0,73) = 1,52 < 5,28 \text{ m}$$

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 5,28 + 1,15 + 0,5 \cdot 0,73} \ln \left( \frac{\pi \cdot 5,28}{1,15 + 0,5 \cdot 0,73} + 1 \right) = 0,55, \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Keldriseina soojusjuhtivuse ( $U_{bw}$ ) arvutamisel on seinte võrdväärne paksus ( $d_w$ ) arvatud valemiga 18:[8]

$$d_w = 2,0 \cdot \left( 0,13 + \frac{0,73}{2,8} + 0,04 \right) = 0,86 \text{ m}$$

Tingimusel  $d_w = 0,86 < d_t = 1,15$  on keldriseina soojusjuhtivus ( $U_{bw}$ ) on arvatud valemiga 19.[8]

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 0,73} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot 0,86}{0,86 + 0,73} \right) \ln \left( \frac{0,73}{0,86} + 1 \right) = 1,36 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Keldriseina maapealse osa soojusjuhtivus ( $U_w$ ) on arvatud vastavalt valemile 5:[7]

$$U_w = \frac{1}{(0,04 + \frac{0,73}{2,8} \cdot 0,13)} = 2,32 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Hoone keldri ja esimese korruse ruumide vahelise põranda kandekonstruktsioonis on kasutatud nii betoonplaati kui ka teras- ja puittalastikku. Põranda erinevad lahendused koos osapindaladega on toodud tabelis 7.

**Tabel 7.** Erinevad keldrivahelae konstruktsiooni tüübid

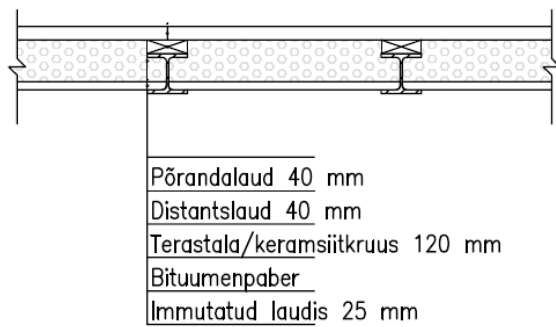
Põranda/vahelae tüüp	Pindala m <sup>2</sup>	Kokku m <sup>2</sup>
Põrandalaud+kerkkruus+terastalad	9,3	125,3
Põrandaplaat+betonplaad+EPS+betonplaad	40,7	
Põrandalaud+puitalad (200x250 mm)+kerkkruus	75,3	

Keldri ja siseruumide vahelise põranda ( $U_f$ ) soojusjuhtivuse väärtused on toodud joonistel 25-27. Soojusjuhtivuse määramisel on arvestatud keldri ja põranda vahelist ruumi kui täiendavat soojustakistust, selle tõttu on sise- ja välispinna soojustakistuse väärtusteks kasutatud  $R_{se} = R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ . [7]

Joonisel 25 on kujutatud esimese korruse köök-elutoa põrandat. Põrand on toetatud 700 mm sammuga terastaladele ning talade vaheline ruum on täidetud kerkkruusaga.

Soojusjuhtivuse leidmisel on kasutatud programmi THERM (lisa 5, joonis 1), kuna põrandas esinevate terastalade tõttu annab mittehomogeensete materjalikihtidega piirde soojustakistuse arvutusmeetod lubatust suurema arvutusvea ( $e > 20 \%$ ).



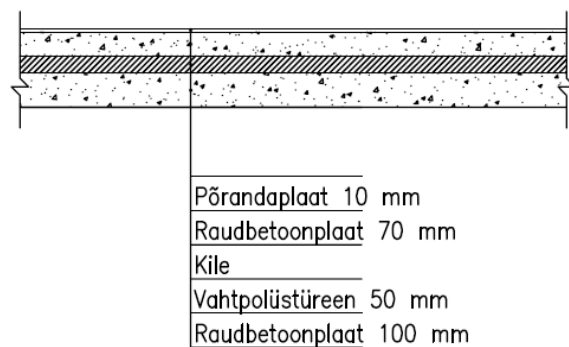


Soojusjuhtivus:

$$U_{f1} = 0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 25.** Terastaladel köök-elutoa põrand ( $U_{f1} = 0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Hoone keskse koridori osas on vahtpolüstüreeniga soojustatud betoonpõrand, mille ristlõige on kujutatud joonisel 26.



Soojusjuhtivus:

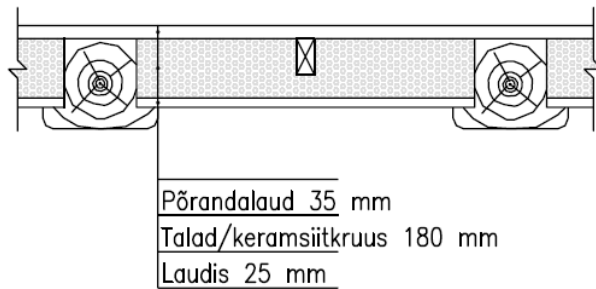
$$U_{f2} = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 26.** Koridori EPS soojustusega betoonpõrand ( $U_{f2} = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Valdav osa esimese korruse põrandast on toetatud puittaladele, mille ristlõike mõõtmed on 200 x 250 mm ning samm ca 1140 mm. Talade vahele on paigaldatud lisaks 50 x 100 mm pruss ning soojustuseks on kasutatud kergkruusa graanuleid. Põranda ristlõige on kujutatud joonisel 27.

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U_{f3} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



**Joonis 27.** Esimese korruse puittaladel põrand ( $U_{f3} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Keldri ja siseruumide vahelise põranda ( $U_f$ ), keskmine soojusjuhtivus, vastavalt tabeli 7 pindadele on  $U_{fk} = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Välisõhuga tuulutatava kütmata keldri vahelae (esimese korruse põrand) soojusjuhtivus (valem 20):[8]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,47} + \frac{111,9}{(111,9 \cdot 0,55) + (0,73 \cdot 42,4 \cdot 1,36) + (1,1 \cdot 42,4 \cdot 2,32) + (0,33 \cdot 0,3 \cdot 179)} =$$
$$= \frac{1}{2,62} \Rightarrow U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

#### 4.2.4 Vahelae kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus

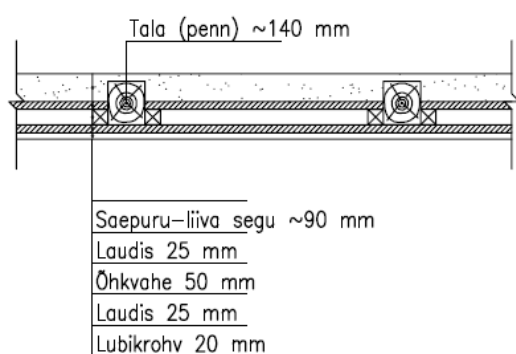
Hoone laetarindina on arvestatud kolmanda korruse pööningu vahelage ning osaliselt ka teise korruse ja katusealuse vahele jääva lae osa. Piirde kogusoojustakistuse ja soojusjuhtivuse arvutus on tehtud mittehomoogeensetest materjalikihtidest koosneva piirde soojustakistuse arvutusmeetodil (valem 3–5). Arvutustes kasutatud pindade soojustakistused, vertikaalse (ülespoolse) soojusvoo puhul on  $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Lisaks on arvestatud pööningut kui homogeenset kihti, mille soojustakistus ( $R_u$ ) aluskatteta kivikatuse puhul on  $0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$ . [7]

Vahelagede tüübid ja nende osapindalad on toodud tabelis 8.

**Tabel 8.** Erinevad vahelae konstruktsiooni tüübid

Lae/vahelae tüüp	Pindala $\text{m}^2$	Kokku $\text{m}^2$
(III korrus) Saepuru-liiv+laetalad+must laudis+krohv	54,7	125,2
(II korrus) Põrandalaud+laetalad+min.vill+laudis+kipsplaat	70,5	

Pööningu vahelae ristlõike ning soojusjuhtivus on toodud joonisel 28. Laetaladeks on ca 120x140 mm ristlõikega pennid, mis on paigaldatud ca 890 mm sammuga. Soojustusmaterjaliks on talade vahele paigaldatud saepuru ja liiva täide, mille kiht ulatub taladest kõrgemale.



Kogusoojustakistus (valem 3):

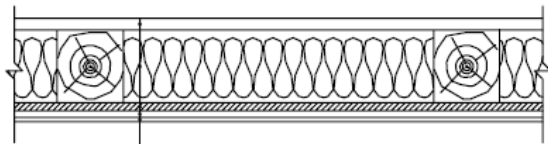
$$R_T = \frac{1,92 + 1,88}{2} = 1,90 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{1,90} = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 28.** Kolmanda korruse pööningu vahelagi ( $U_{a1} = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Teise korruse ja katuse vahele jääva vahelae lõige on toodud joonisel 29. Lage kandvate puittalade sammuks on arvestatud 1140 mm ning ristlõike mõõtmeteks 200x220 mm. Soojustusmaterjaliks on talade vahel mineraalvill.



Laudis 35 mm	
Laetala/ min.vill	220 mm
Laudis 25 mm	
Lubikrohv 20 mm	
Kipsplaat 13 mm	

Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{5,04 + 4,80}{2} = 4,92 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{4,92} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 29.** Teise korruse ja katusealuse vaheline lagi ( $U_{a2} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Kogu vahelae keskmine soojusjuhtivus vastavalt tabel 8 toodud pindadele ja joonistel 28 – 29 märgitud soojusjuhtivuse väärtustele:

$$U_{vl} = \frac{54,7 \cdot 0,53 + 70,5 \cdot 0,20}{125,2} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

#### 4.2.5 Geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivus

Hoone välispiirded, eelkõige välisseinad, erinevad nii konstruktsiooni kui ka kasutatud soojustusmaterjalide poolest. Erinevate tarindite liitekohtade lisasoojusjuhtivuse väärtused on toodud tabelis 9 ning kasutatud Therm`i mudelid lisas (lisa 5, joonis 3–8).

**Tabel 9.** Tarandid ja nende liitekohtade soojusjuhtivused ning külmasildade lisasoojusjuhtivused

Sõlm	Nr.	Arvestatud materjalid ja paksused	Tarindi soojusjuhtivus $U_{1D}$ W/(m <sup>2</sup> K)	Arvestatud pikkus (m)	Sõlme soojusjuhtivus $U_{2D}$ W/(m <sup>2</sup> K)	Vastav pikkus mudelis (m)	Soojuse lisa-juhtivus $\Psi$ W/(mK)
Välisseina välisnurk	1	140 mm palksein 50 mm rooplaat	0,44	1	0,470	2	0,06
		140 mm palksein 50 mm rooplaat	0,44	1			
	2	140 mm palksein 50 mm mineraalvill	0,39	1	0,410	2	0,10
		580 mm + 130 mm tellissein 100 mm mineraalvill	0,33	1			
	3	140 mm palksein 100 mm mineraalvill	0,27	1	0,292	2	0,04
		140 mm palksein 100 mm mineraalvill	0,27	1			
	4	580 mm tellissein 100 mm mineraalvill	0,33	1	0,328	2	0,06
		140 mm palksein 100 mm minerallvill	0,27	1			
	5	120x140mm puitsõrestik 140 mm saepuru	0,38	1	0,419	2	0,08
		50x125 mm puitsõrestik 125 mm saepuru	0,38	1			
	6	50x125 mm puitsõrestik 125 mm saepuru	0,38	1	0,391	2	0,10
		500 mm tellissein 100 mm mineraalvill	0,30	1			

**Tabel 9.** Tarindid ja nende liitekohtade soojusjuhtivused ning külmasildade lisasoojusjuhtivused järg

Sõlm	Nr.	Arvestatud materjalid ja paksused	Tarindi soojusjuhtivus $U_{ID}$ W/(m <sup>2</sup> K)	Arvestatud pikkus (m)	Sõlme soojusjuhtivus $U^{2D}$ W/(m <sup>2</sup> K)	Vastav pikkus mudelis (m)	Soojuse lisa-juhtivus $\Psi$ W/(mK)
Välisseina ja pööningulae liitekoht	7	140 mm palksein 100 mm mineraalvill	0,27	1	0,263	2	0,05
		200x220 mm laetalad 220 mm puistevill	0,21	1			
	8	120x140 mm puitsõrestik 125 mm saepuru	0,38	1	0,498	2	0,09
		140 mm laetalad 90 mm saepuru	0,53	1			
Välisseina ja põranda liitekoht	9	140 mm palksein 50 mm mineraalvill	0,39	1	0,407	3,64	0,09
		200x250 mm laetalad 180 mm kergkruus	0,38	2,64			
Välisseina ja akna liitekoht	10	140 mm palksein 50 mm mineraalvill	0,39	1	0,801	1,29	0,01
		210 mm paksuse lengiga aken	2,17	0,29			

#### 4.2.6 Soojuskaod läbi välispiirete

Hoone soojuskadude kirjeldamiseks läbi välispiirete, külmasildade ning õhuinfiltratsiooni on igale komponendile arvutatud soojuserikadu (W/K).

Välispiirete soojuserikao suurus oleneb vastava piirdetarindi soojusjuhtivusest ja selle pindalast. Välispiirete soojuskaod moodustavad enamuse (75,5%) kogu hoone summaarsest soojuserikadudest (tabel 10).

**Tabel 10.** Hoone välispiirete soojuserikaod ja nende osakaalud

Tarind	Hooneosa	A m <sup>2</sup>	U W/(m <sup>2</sup> K)	A·U W/K		%
Seinad	1. korrus	104,4	0,47	49,1	112,2	27,5
	2. korrus	99,6	0,30	29,9		
	3. korrus	92,4	0,36	33,3		
Aknad	1. korrus	13,8	2,07	28,6	78,6	19,3
	2. korrus	16,8	2,07	34,8		
	3. korrus	7,5	2,04	15,3		
Uksed	1. korrus	6,1	2,22	13,5	26,0	6,4
	2. korrus	2,1	2,23	4,7		
	3. korrus	3,5	2,23	7,7		
Pööningu vahelagi	2. korrus	70,5	0,20	14,1	43,1	10,6
	3. korrus	54,7	0,53	29,0		
Põrand	1. korrus	125,3	0,38	47,6	47,6	11,7
			H <sub>piirded</sub>	Σ(AU)	307,5	75,5

Külmasildadest tingitud soojuskaod moodustavad 3,1% kogu hoone summaarsest soojuserikaost (tabel 11). Joonkülmasildadest tingitud soojuserikadu sõltub külmasildade pikkusest ja selle soojuse lisajuhtivusest.

**Tabel 11.** Geomeetriliste joonkülmasildade soojuserikaod ja nende osakaal

Geomeetiline külmasild	Hooneosa	l m	Ψ W/(mK)	Ψ·l W/K		%
Välisseina välisnurk	1. korrus	11,1	0,08	0,9	2,6	0,6
	2. korrus	10,6	0,05	0,5		
	3. korrus	14,1	0,08	1,2		
Pööningu vahelae ja välisseina liitekoht	2. korrus	35,5	0,05	1,8	4,7	1,2
	3. korrus	32,9	0,09	3,0		
Põranda ja välisseina liitekoht	1. korrus	44,8	0,09	4,0	4,0	1,0
Akna liitumine välisseinaga	1. korrus	39,7	0,01	0,4	1,2	0,3
	2. korrus	53,1	0,01	0,5		
	3. korrus	24,9	0,01	0,2		
			H <sub>külmasild</sub>	Σ(Ψl)	12,5	3,1

Õhuinfiltratsioonist tingitud soojuserikao suurus sõltub hoone välispiirete õhutihedusest. Vastavalt õhulekkearvule ja välispiirete pindaladele (tabel 10) on arvatud infiltratsiooni õhuvooluhulk (valem 22):

$$q_i = \frac{8,73}{3,6 \cdot 20} \cdot 596,7 = 72,3 \text{ l/s} = 0,0723 \text{ m}^3/\text{s} \quad (22)$$

Välispiirete õhuleketest põhjustatud soojuserikadu moodustab 21,4% kogu summaarsest soojuserikaost. Arvestatud õhu tihedus ja erisoojuse väärtused on toodud tabelis 12.

**Tabel 12.** Õhuinfiltratsioonist tingitud soojuserikadu ja osakaal

Õhuvooluhulk $q_i$ ( $m^3/s$ )	Erisoojus $c_{\text{õhk}}$ ( $J/kg \cdot ^\circ K$ )	Tihedus $\rho_{\text{õhk}}$ ( $kg/m^3$ )	$H_{\text{õhuleke}}$ W/K	%
0,0723	1005	1,20	87,2	21,4

#### 4.2.7 Soojusvajadus hoone kütteks arvestades soojuskadusid läbi välispiirete

Hoone soojusvajadus sõltub väliskliimast, erinevuste vältimiseks aastate vahel kasutatakse kraadpäevi. Tartu kraadpäevade arv tasakaalutemperatuuril  $17^\circ C$  ja sisetemperatuuril  $21^\circ C$  on  $4295 (^\circ C \cdot d)$ . [15]

Arvutuslik tasakaalutemperatuur on valitud  $17^\circ C$ , madalam nõutavast  $21^\circ C$ , kuna osa soojusvajadusest küttele kaetakse vabasoojusega ehk soojuse eraldumisega elektrilistelt seadmetelt, inimestelt ja päikesekiirgusega. [15]

Vastavalt tabelites 10–12 toodud soojuserikadude ning kraadpäevade arvule on leitud lihtsustatud meetodil hoone soojusvajadus kütteks (valem 23) ning selle väärtus  $285 m^2$  kõetava põrandapinna kohta:

$$Q = (307,5 + 12,5 + 87,2) \cdot 4295 \cdot 24/1000 = 41978,2 \text{ kWh}$$

Soojusvajadus hoone kõetava pinna kohta:

$$Q_{\text{net.pind}} = \frac{41978,2}{285} = 147,3 \text{ kWh/m}^2$$

#### 4.2.8 Energiatõhususarv olemasoleva olukorra kohta

Energiatõhususarv iseloomustab hoone energiakasutust. Sellesse on arvestatud energia nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. See ei väljenda hoone tegelikku energiakulu vaid arvestab primaarenergia kasutamist kõetava põrandapinna kohta, mida on korrigeeritud vastavalt soojusallika ja kütuseliigi suhtes vastavate kaalumisteguritega. [16]



Vastavalt hoone standardkasutusele on leitud valgustuse ja seadmete elektritarve. Kasutatud on VV määrus nr 63 energia-arvutuste kasutusastmeid ja vabasoojuse eraldumise väärtuseid.

Valgustuse elektritarve on võrdne valgustuse soojuseralduse väärtusega. Seadmete elektritarbimine saadakse seadmete soojuseralduse ( $3 \text{ W/m}^2$ ) jagamisel teguriga 0,7.

Antud hoone puhul on arvestatud köetavaks põrandapinnaks  $285 \text{ m}^2$  ning vastavalt detailsele vabasoojuse kasutusprofiilile on netoelektrikasutus valgustusele  $7,01 \text{ kWh/m}^2$  ja elektriseadmetele  $22,42 \text{ kWh/m}^2$ .

Hoone sooja tarbevee tootmiseks kasutatakse elektriboilerit. Sooja vee erikuluks on arvestatud  $520 \text{ l/(m}^2 \cdot \text{a)}$  [4] ning sellele kuluv netoenergiavajadus on  $30,1 \text{ kWh/m}^2$ .

Hoone kütteenergiavajaduse arvutamisel on arvestatud valgustusest, inimeste kohalolekust, elektriseadmetest ja päikesekiirgusest tingitud soojuseraldusega. Vabasoojuse eraldumise kasutusastmest ja kasutusprofiilist lähtuvalt [4] on soojuseraldus valgustusest  $7,01 \text{ kWh/m}^2$ , inimestest  $14,52 \text{ kWh/m}^2$  ja elektriseadmetest  $15,66 \text{ kWh/m}^2$ . Päikesekiirguse soojuseraldus on BV2 programmi põhjal  $24,58 \text{ kWh/m}^2$ . Väärtuse arvutamisel on arvestatud akende klaasiosa pinda ja akende orientatsiooni ilmakaarte suhtes. Antud töös on uuritava hoone lõunapoolne välissein pööratud  $36^\circ$  lääne poole (lõunavälissein on paralleelne Herne tänavaga), klaasi osakaal moodustab 57–63% aknapinnast ning päikeseläbivusteguriks on 0,5. Hoone akna ja klaasipinnad korruste ja ilmakaarte suhtes on toodud tabelis 13.

**Tabel 13.** Akende kogupind ja klaasi osakaal (%)

Korrus	Sein	Aknapind välisseina kohta ( $\text{m}^2$ )	Klaasipind ( $\text{m}^2$ )	%
1. korrus	Lõunavälissein	6,6	3,8	58
	Idavälissein	2,4	1,5	63
	Põhjavälissein	4,8	3,0	63
2. korrus	Lõunavälissein	8	4,6	58
	Idavälissein	2,4	1,5	63
	Põhjavälissein	6,4	3,7	58
3. korrus	Lõunavälissein	-	-	-
	Idavälissein	4,5	2,6	58
	Põhjavälissein	3	1,7	57

Kasutades programmi BV2 ja Eesti energiaarvutuste baasaasta andmeid, on hoone netoenergiavajadus ruumide kütteks  $130,93 \text{ kWh/m}^2$ , mis on väiksem, kui kraadpäevadega arvutatud tulemus. Lähteandmetena on programmi sisestatud töö eelnevates peatükkides kirjeldatud välispiirete arvutustulemused (ptk 4.2.1–4.2.5) ja infiltratsiooni õhuvooluhulk.

Antud korterelamus kasutatakse soojuste tootmiseks põhiliselt ahjusid. Soojusallika kasuteguri väärtuseks on valitud 0,6, seega on tarnitud energia kütteks 218,22 kWh/m<sup>2</sup>.

Energiatõhususarvutusest puudub ventilatsiooni komponent, kuna hoones on loomulik ventilatsioon. Hoone õhuvahetus toimub piirdetarindite õhulekete ja akende kaudu tuulutusega. Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamisel ei tohiks kasutada loomulikku ventilatsiooni, kuid tegemist on olemasoleva seisukorra kirjeldamisega. [4]

Uuritava hoone energiatõhususarv hetkeseisukorras on 282,7 kWh/m<sup>2</sup> (tabel 14). Tulemuse väljavõtte programmist BV2 on toodud lisa 6, joonis 1).

**Tabel 14.** Energiatõhususarv ja arvutustes kasutatud energiakandjate kaalumistegurid

Tehnosüsteem	Tarnitud energia kWh/m <sup>2</sup>	Energiakandja kaalumistegur	Energiatõhususarv kWh/m <sup>2</sup>
Küte	218,22	0,75	163,67
Soe tarbevesi	30,1	2	60,20
Valgustus	7,01	2	14,02
Seadmed	22,42	2	44,84
		<b>Kokku</b>	<b>282,73</b>

## 4.3 Lisasoojustamine

### 4.3.1 Välisseinte niiskustehniline kontroll

Soojustehniliselt ei erine seestpoolt soojustatud sein väljastpoolt soojustatud seinaga, kuid niiskustehniliselt on ruumi sisemiselt poolelt soojustamine seotud riskiga, et veeaur kondenseerub soojustuskihi ja seinakonstruktsiooni vahele.[18]

Seestpoolt õhema, kuni 50 mm paksuse soojustuskihi korral on võimalik veeauru kondenseerumist vältida (joonis 32) näiteks suurema difusioonitakistusteguriga aurutõkkega või vähendades siseõhu niiskust, kuid see eeldab korralikult toimivat ventilatsiooni. [18, 20]

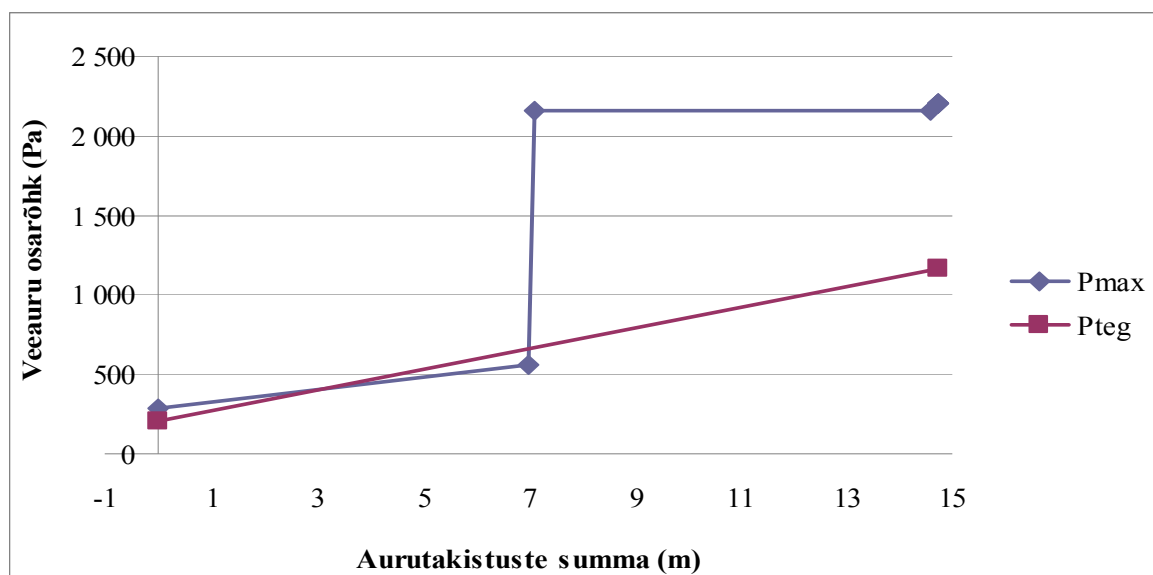
Uuritava hoone välisseinte lisasoojustamiseks on kasutatud seestpoolt soojustamise lahendusi (ptk. 4.2.1). Soojustamiseks on kasutatud erineva paksusega mineraalvilla ja rooplaate. Antud soojustuslahendustest on veeauru kondenseerumise kontroll tehtud 100 mm paksuse soojustuskihiga seintele. Valdavalt on sellised seinad hoone teise korruse palkseinad (62,1 m<sup>2</sup>) ning kogu hoone läänepoolne tellisein (75,5 m<sup>2</sup>). Nende seintes on niiskuskahjustuste ja hallituste tekkeks reaalne oht.

Tabelis 15 ja 16 on toodud seestpoolt soojustatud palkseina ja telliseina niiskurežiimi arvutus. Vastavalt seina materjalikihi soojustakistusele on arvatud iga kihi pinnatemperatuur ning sellele vastavad küllastusrõhud (valem 25–26). Mainitud tabelites on näha, et mõlema seina siseküljel on negatiivne temperatuur ning kui ruumi siseõhutemperatuur on +20°C ja suhtelise niiskus (RH) 50%, on see alla küllastustemperatuuri. Tabelite küllastusrõhkude põhjal on kujutatud joonistel 30 ja 31 küllastusrõhu kõver ( $p_{max}$ ), mis lõikub tegeliku veeauru osarõhu sirgega ( $p_{teg}$ ), seega on soojustuse ja seinatarindi vahelises piirkonnas veeauru kondenseerumise oht.

Arvutuslike (tabel 17) küllastusrõhkude põhjal ei ole veeauru kondenseerumise riski mõlemalt poolt 50 mm paksuse soojustusekihiga seinas (joonis 32).

**Tabel 15.** Seestpoolt 100 mm mineraalvillaga soojustatud palkseina küllastusrõhu arvutus

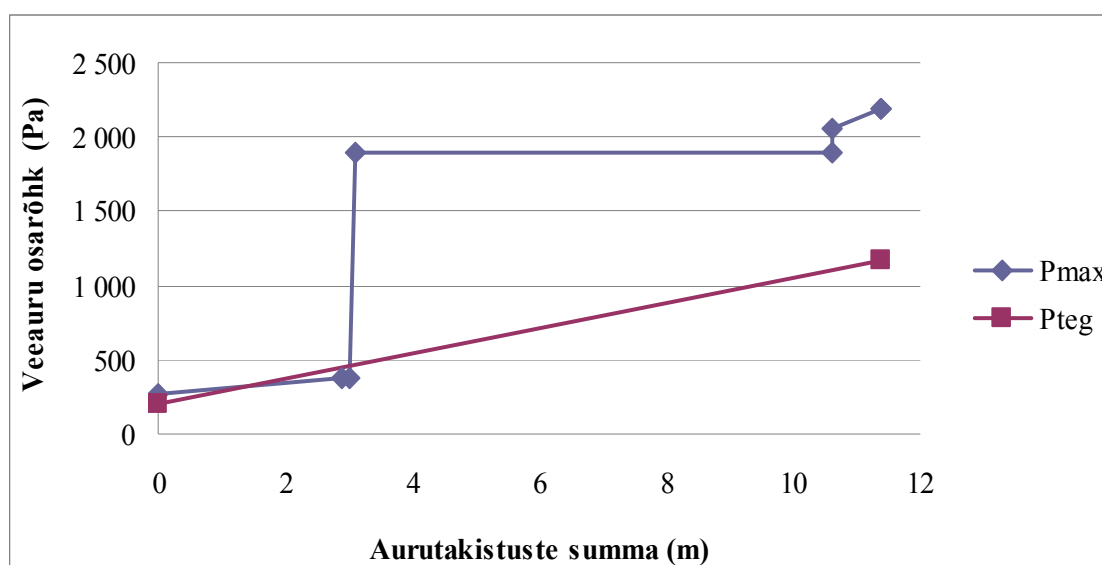
Seinakiht	d (m)	$\lambda$ W/(mK)	$\mu$	R m <sup>2</sup> K/W	Sd (m)	$\Delta\theta$ (K)	$\theta$ °C	$p_{\max}$ Pa
Välispind	-	-		0,13	-	1,0	-10,0	259,9
Palk	0,14	0,13	50	1,08	7,0	7,9	-9,0	283,9
Mineraalvill	0,10	0,037	1	2,70	0,1	19,8	-1,2	554,1
Aurutõke	-	-	-	-	7,0	0	18,7	2157,0
Kipsplaat	0,013	0,25	10	0,05	0,13	0,4	18,7	2157,0
Sisepind	-	-		0,13	-	1,0	19,0	2198,0
				$\Sigma R$			20,0	2338,0



**Joonis 30.** Seestpoolt 100 mm mineraalvillaga soojustatud palkseina difusioonigraafik

**Tabel 16.** Seestpoolt 100 mm mineraalvillaga soojustatud tellisseina küllastusrõhu arvutus

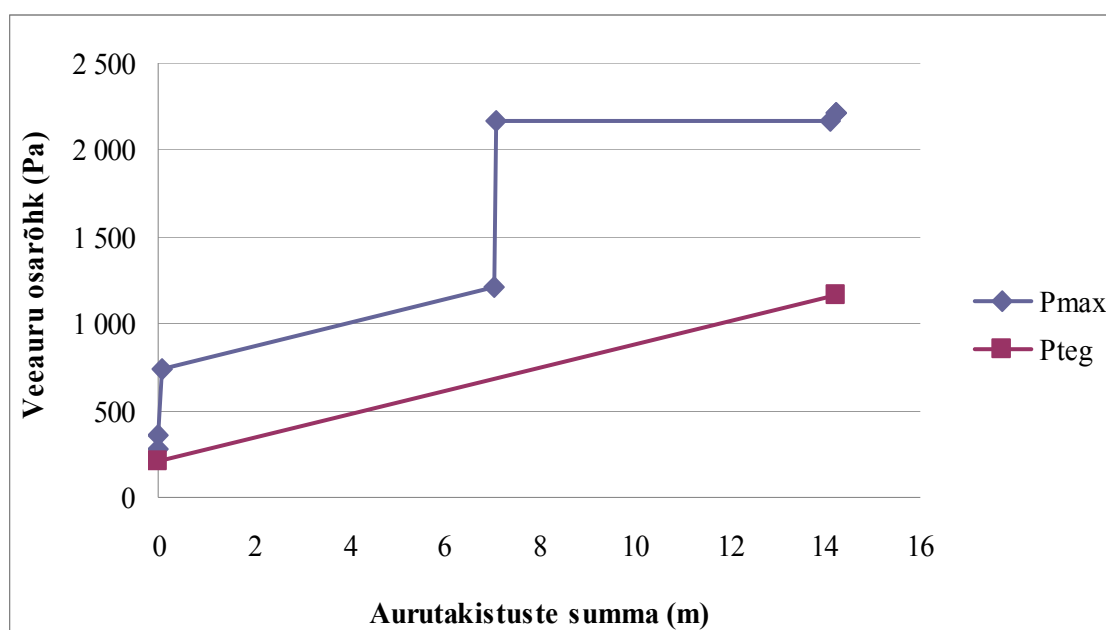
Seinakiht	d (m)	$\lambda$ W/(mK)	$\mu$	R m <sup>2</sup> K/W	Sd (m)	$\Delta\theta$ (K)	$\theta_i$ °C	$p_{\max}$ Pa
Välispind	-	-		0,04	-	0,3	-10,0	259,9
							-9,7	266,9
Tellis	0,58	1,3	5	0,45	2,9	3,7	-6,0	368,8
Lubikrohv	0,01	0,8	10	0,01	0,1	0,1	-5,9	372,0
Mineraalvill	0,10	0,037	1	2,70	0,1	22,2	16,3	1854,0
Aurutõke	0,04	1	-	0,04	7,0	0,3	16,7	1902,0
Õhkvahe	0,02	-	1	0,16	0,02	1,3	18,0	2064,0
Sisevooder	0,015	0,13	50	0,12	0,75	0,9	18,9	2184,0
Sisepind	-	-		0,13	-	1,1	20,0	2338,0
			$\Sigma R$	3,65				



**Joonis 31.** Seestpoolt 100 mm mineraalvillaga soojustatud tellisseina difusioonigraafik

**Tabel 17.** Mõlemalt poolt 50 mm mineraalvillaga soojustatud palkseina küllastusrõhu arvutus

Seinakiht	d (m)	$\lambda$ W/(mK)	$\mu$	R m <sup>2</sup> K/W	Sd (m)	$\Delta\theta$ (K)	$\theta_i$ °C	pmax Pa
Välispind	-	-		0,13	-	0,9	-10,0	259,9
Tuuletõke	0,013	0,032	1	0,41	0,013	2,7	-9,1	281,4
Mineraalvill	0,05	0,037	1	1,35	0,05	9,0	-6,4	356,2
Palk	0,14	0,13	50	1,08	7,0	7,2	2,6	737,2
Mineraalvill	0,05	0,037	1	1,35	0,05	9,0	9,8	1213,0
Aurutõke	-	-	-	-	7,0	0	18,8	2170,0
Kipsplaat	0,013	0,25	10	0,05	0,13	0,3	18,8	2170,0
Sisepind	-	-		0,13	-	0,9	19,1	2211,0
				$\Sigma R$	4,50		20,0	2338,0

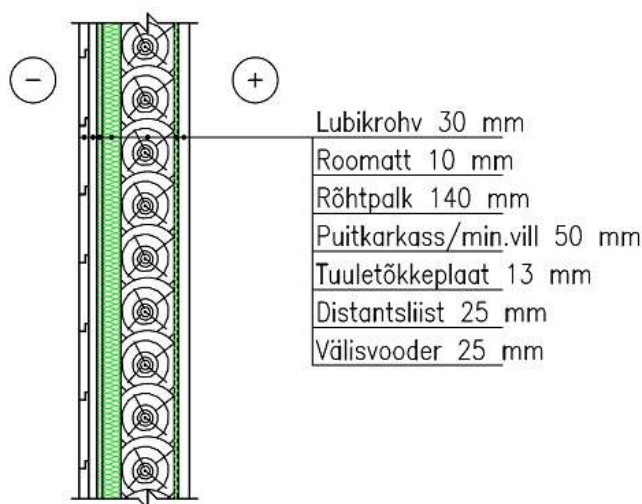


**Joonis 32.** Mõlemalt poolt 50 mm mineraalvillaga soojustatud palkseina difusioonigraafik

### 4.3.2 Välisseinte lisasoostamine

Töös uuritava hoone palgist seinosaade üheks lisasoostamise võimaluseks on soojustuse kihi paigaldamine välisseina välispinda. Minimaalse soojustuse kihi (50 mm) korral hoone üldine välisilme ei kannata. Akende asukohta võib jätta muutmata, lisasoostuse kiht ei muuda katuse räästast liiga lühikeseks ega ulatu üle sokli. [19] Väljastpoolt soostamise korral paraneb seinte soojus- ja niiskustehniline toimivus, eelkõige seestpoolt 50 mm paksuse rooplaadiga ja mineraalvillaga soostatud seinte puhul (joonis 32).

Välisseina ristlõike ja soojusjuhtivus 50 mm paksuse soojustuse (Isover KL 37) ja 13 mm tuuletõkkeplaadiga (Isover VKL) on toodud joonisel 33.



Kogusoojustakistus (valem 3):

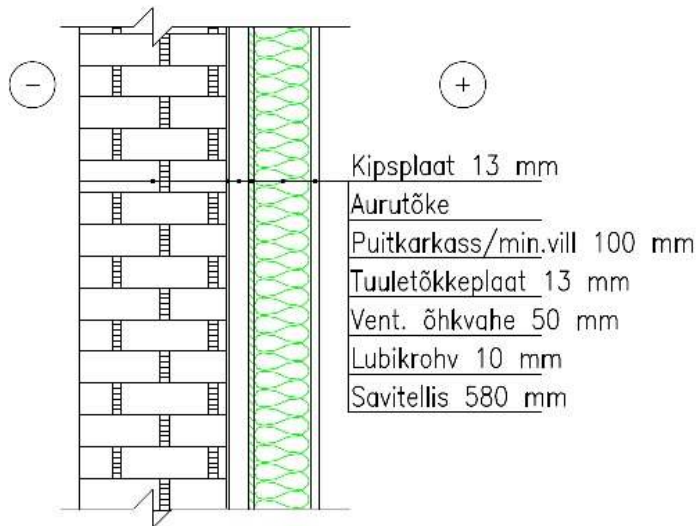
$$R_T = \frac{3,20 + 3,08}{2} = 3,14 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{3,14} = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 33.** 50 mm soostatud sein ( $U = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Hoone tellisseina (tule müüri) lisasoostamine on seestpoolt võimalik, kui kiviseina ja soojustuse vahele jätta tuulutatav õhkvahe. [21] Puitsõrestiku vahele paigaldatakse tuuletõkkeplaat (13 mm) ja mineraalvill (100 mm). Seina lõige on toodud joonisel 34. Lahenduse soojusjuhtivus on teadlikult sarnane olemasoleva olukorra soojusjuhtivuse väärtusega. Pakutava lahenduse puhul on eeldatud, et tuulutatava õhkvahega on välditud veeauaru kondenseerumist seinatarindis.



Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{3,03 + 2,93}{2} = 2,98 \text{ m}^2\text{K/W}$$

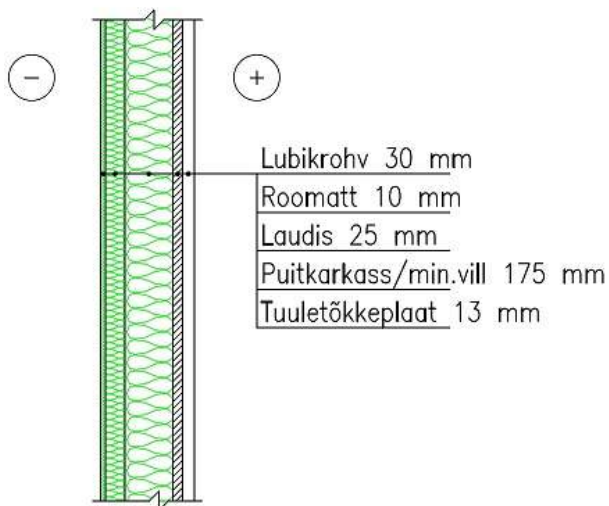
Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{2,98} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 34.** 113 mm paksuse soojustusega karkass-sein ( $U = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Katusekorruse puitsõrestik-seinte lisasoojustamisel on saepurutäide asendatud mineraalvillaga. Sõrestikseinte postide samm ei ühti üldjuhul mineraalvilla standardsete mõõtudega. Soojustusmaterjali välja vajumise vältimiseks ja parema sõrestikuvahelise ruumi täiteks tuleb paigaldada lisaprusse.

Lisasoojustatud sõrestikseinte lõiked ja soojusjuhtivuse väärtused on toodud joonisel 35 -36.



Kogusoojustakistus (valem 3):

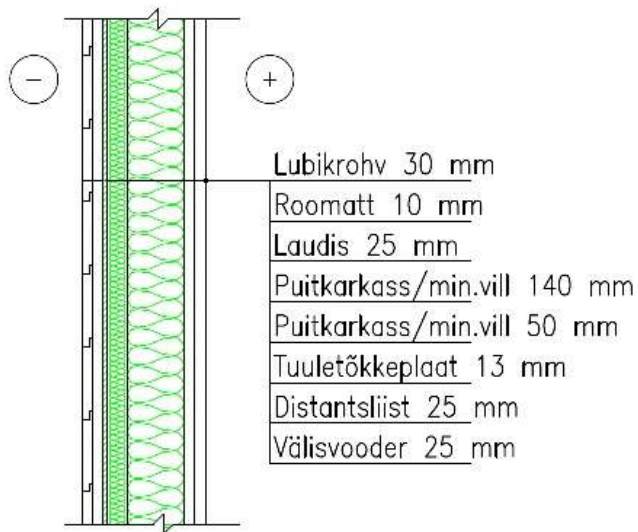
$$R_T = \frac{5,03 + 4,78}{2} = 4,90 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{4,90} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 35.** 125 mm+50 mm soojustusega sõrestiksein ( $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )





Kogusoojustakistus (valem 3):

$$R_T = \frac{5,45 + 4,73}{2} = 5,09 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{5,09} = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

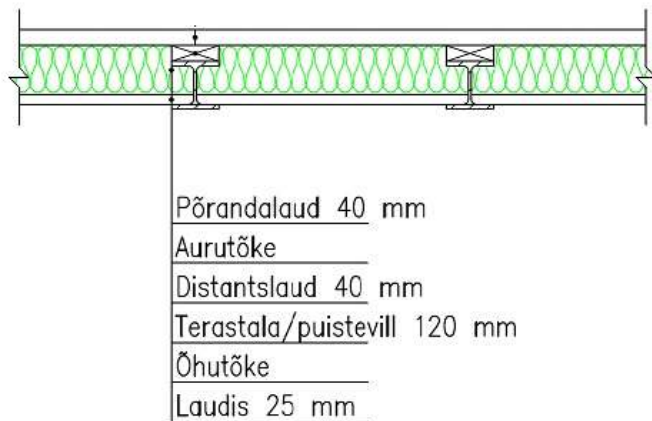
**Joonis 36.** 140 mm + 50 mm soojustusega sõrestiksein ( $U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

### 4.3.3 Põranda lisasoostamine

Esimese korruse põranda lisasoostamisel on piiravaks teguriks keldri akna ülemise serva ja lae vaheline ruum (lisa 2, foto 4). Põranda soojusjuhtivust ei saa vähendada soojustuskihi lisamisega põranda alla.

Lisasoostuslahendustes on piiratud taladevahelise kergkruusa asendamisega väiksema soojusjuhtivusega mineraalvillaga. Talade ristlõike ja sammu tõttu on soojustusmaterjaliks valitud puistevill ( $\lambda = 0,041 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ).

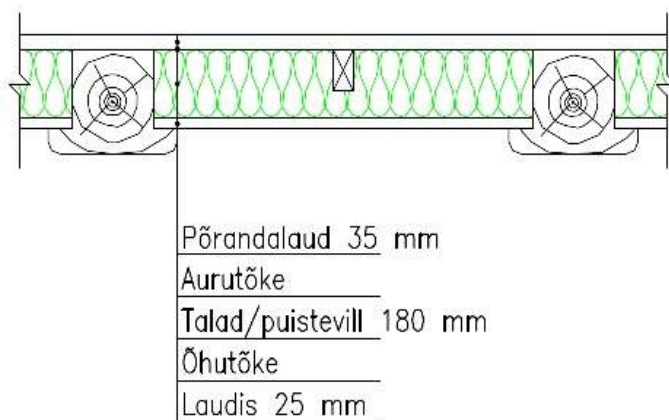
Esimese korruse teras- ja puittaladel põranda ristlõiked ja soojusjuhtivused on toodud joonisel 37 ja 38. Kergkruus on asendatud puistevillaga, soojustuse läbipuhumise tõkkeks on soojustuse alla, talade vahele tarvis paigaldada tuuletõkkeplaat või õhutõkkekangas.



Soojusjuhtivus: (lisa 5, joonis 2)

$$U = \frac{1}{2,31} = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 37.** 120 mm puistevilla soojustusega terastaladel põrand ( $U = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )



Soojusjuhtivus:

$$U = \frac{1}{4,21} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 38.** 180 mm puistevilla soojustusega puittaladel põrand ( $U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

Väiksema soojusjuhtivusega pörandate korral on keldri ja siseruumide vahelise pörandi keskmine soojusjuhtivus  $U_{fk} = 0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Kogu keldri vahelae soojusjuhtivus (valem 20):[8]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,37} + \frac{111,9}{(111,9 \cdot 0,55) + (0,73 \cdot 42,4 \cdot 1,36) + (1,1 \cdot 42,4 \cdot 2,32) + (0,33 \cdot 0,3 \cdot 179)} =$$

$$= \frac{1}{3,19} \Rightarrow U = 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

#### 4.3.4 Pööningu vahelae lisasoojustamine

Lisasoojustusega pööningu vahelae ristlõige ning soojusjuhtivus on toodud joonisel 39. Laetaladele (pennid 120x140 mm) on lisatud 100 mm paksune soojustuse kiht, mis on kaetud tuuletõkkeplaadiga. Vahelae soojustuse paksuseks koos tuuletõkkeplaadiga on ca 170 mm. Pööningu taladele on arvestatud 600 mm sammuga laagid tuuletõkkeplaadi kinnitamiseks ja käiguteede rajamiseks.

Pööningu vahelae lisasoojustamiseks on kasutatud tüüplahendust uuringust „Maa elumute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I“.[19]



Soojusjuhtivus (valem 5):

$$U = \frac{1}{4,84} = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

**Joonis 39.** 160 mm paksuse mineraalvilla soojustusega pööningu vahelagi ( $U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ )

### 4.3.5 Soojuskaod läbi lisasoojustatud välispiirete

Tabelites 18–19 on toodud lisasoojustatud hoone välispiirete soojuserikaod ning nende osakaal summaarsest soojuskaost.

Lisasoojustatud välispiiretest on väikseim soojuserikadu pööningu vahelael, mis moodustab 7,8% kogu hoone soojuskaost.

**Tabel 18.** Hoone välispiirete soojuserikaod lisasoojustamisel

Tarind	Hooneosa	A m <sup>2</sup>	U W/(m <sup>2</sup> K)	A·U W/K	%	
Seinad	1. korrus	104,4	0,33	34,5	88,6	26,9
	2. korrus	99,6	0,33	32,9		
	3. korrus	92,4	0,23	21,3		
Aknad	1. korrus	13,8	2,07	28,6	78,6	23,9
	2. korrus	16,8	2,07	34,8		
	3. korrus	7,5	2,04	15,3		
Uksed	1. korrus	6,1	2,22	13,5	26,0	7,9
	2. korrus	2,1	2,23	4,7		
	3. korrus	3,5	2,23	7,7		
Pööningu vahelagi	2. korrus	70,5	0,20	14,1	25,6	7,8
	3. korrus	54,7	0,21	11,5		
Põrand	1. korrus	125,3	0,31	38,8	38,8	11,8
			H <sub>piirded</sub>	Σ(AU)	257,6	78,3

Külmasildadest tingitud soojuskaod moodustavad 3,5% kogu hoone summaarsest soojuserikaost (tabel 19). Lisasoojustamisest tingitud seina välisnurga külmasilla mõju vähenemise arvestamiseks on kasutatud joonsoojusjuhtivuse väärtust  $\Psi = 0,05$  W/(mK). Joonsoojusjuhtivuse väärtus on valitud teise korruse välisseinte välisnurga keskmise järgi (tabel 11).

**Tabel 19.** Geomeetriliste joonkülmasildade soojuserikaod ja nende osakaal

Geomeetiline külmasild	Hooneosa	l m	Ψ W/(mK)	Ψ·l W/K	%	
Välisseina välisnurk	1. korrus	11,1	0,05	0,6	1,8	0,5
	2. korrus	10,6	0,05	0,5		
	3. korrus	14,1	0,05	0,7		
Pööningu vahelae ja välisseina liitekoht	2. korrus	35,5	0,05	1,8	4,7	1,4
	3. korrus	32,9	0,09	3,0		
Põranda ja välisseina liitekoht	1. korrus	44,8	0,09	4,0	4,0	1,2
Akna liitumine välisseinaga	1. korrus	39,7	0,01	0,4	1,2	0,4
	2. korrus	53,1	0,01	0,5		
	3. korrus	24,9	0,01	0,2		
			H <sub>külmasild</sub>	Σ(Ψl)	11,7	3,5

Välispiirete lisasoojustamisel ja õhutihedamaks muutmisel vähenevad õhulekked, selle arvestamiseks on kasutatud õhulekkearvu baasväärtust ( $6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ) [4]

Õhuleketest tingitud soojuserikadu lisasoojustamise puhul on  $60 \text{ W/K}$ . Tabelis 20 on toodud arutamiseks kasutatud infiltratsiooni õhuvooluhulk (valem 22) ning õhu tiheduse ja erisoojuse väärtused.

**Tabel 20.** Õhuinfiltratsioonist tingitud soojuserikadu ja osakaal

Õhuvooluhulk $q_i$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Erisoojus $c_{\text{õhk}}$ ( $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{°K}$ )	Tihedus $\rho_{\text{õhk}}$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	$H_{\text{õhuleke}}$ W/K	%
0,0497	1005	1,20	60,0	18,2

#### 4.3.6 Lisasoojustatud hoone soojusvajadus kütteks arvestades soojuskadusid läbi välispiirete

Vastavalt tabelites 18–20 toodud soojuserikadude ning kraadpäevade arvule on lihtsustatud meetodil hoone soojusvajadus kütteks (valem 23):

$$Q = (257,6 + 11,7 + 60,0) \cdot 4295 \cdot 24/1000 = 33944,2 \text{ kWh}$$

Soojusvajadus hoone köetava pinna kohta:

$$Q_{\text{net.pind}} = \frac{33944,2}{285} = 119,1 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

Hoone soojusvajadus kütteks piirdetarindite eraldi lisasoojustamisel ning selle protsendiline vähenemine võrreldes algolukorraga on toodud tabelis 21.

**Tabel 21.** Soojusvajadus kütteks, soojusvajaduse vähenemine hoone üksikosade lisasoojustamisel

Lisasoojustatud piire	Soojusvajadus $\text{kWh}/\text{m}^2$	%
Algolukord	147,3	
Põrand	144,1	2,2
3. korruse seinad	142,9	3
Vahelagi	141,1	4,2
Välisseinad	138,7	5,8
3. korruse seinad + pööningu vahelagi	136,6	7,3
Välisseinad + vahelagi	132,4	10,1
Välisseinad + põrand + vahelagi + õhuleke ( $8,7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ )	129,0	12,4
Välisseinad + põrand + vahelagi + õhuleke ( $6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ )	119,1	19,1

#### 4.3.7 Energiatõhususarv lisasoojustatud hoone korral

Hoone energiatarbimise lisasoojustamise lahenduste (ptk 4.3.2 – 4.3.4) puhul on 241,9 kWh/m<sup>2</sup> (tabel 22) ning sellele vastav netoenergiavajaduste tabel on toodud lisa 6, joonis 2).

**Tabel 22.** Energiatõhususarv ja arvutustes kasutatud energiakandjate kaalumistegurid

<b>Tehnosüsteem</b>	<b>Tarnitud energia kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>Energiakandja kaalumistegur</b>	<b>Energiatõhususarv kWh/m<sup>2</sup></b>
Küte	163,8	0,75	122,85
Soe tarbevesi	30,1	2	60,20
Valgustus	7,01	2	14,02
Seadmed	22,42	2	44,84
		<b>Kokku</b>	<b>241,91</b>

## 5 ANALÜÜS JA JÄRELDUSED

Energiatõhususe miinimumnõuetega kehtestatud energiatõhususarvu piirväärtust 180 kWh/(m<sup>2</sup>a) pole töös käsitletud lisasoojustamislahendustega võimalik saavutada.

Hetke olukorra ja soojustuslahenduste puhul on hoone energiatõhususarv 282,7 kWh/(m<sup>2</sup>a). Lisasoojustamisel ning õhulekkearvu vähendamisel saadi energiatõhususarvu väärtuseks 241,9 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Uuritava hoone soojuskadude jaotus on sarnane teiste sama tüüpi hoonetega [18, 19]. Hetke olukorras moodustavad põhilise osa soojuskadudest soojuskaod läbi välisseinte (27,5%), järgnevad soojuskaod õhuleketest (21,4%) ning läbi akende (19,3%).

Üksikute osade lisasoojustamisega on võimalik kütteenergia vajadust mõningal määral kokku hoida. Vähendades lisasoojustamisega pööningu vahelae ja kolmanda korruse sõrestikseinte soojuskadusid, oleks soojusvajadus kütteks 136,6 kWh/m<sup>2</sup>.

Hoone tervikliku soojustamisega ja välispiirete tihendamise ja vähendamise õhuleketest tingitud soojuskaod. Arvutuslik soojuserikadu on mõõdetud õhulekkearvu (8,73 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>) puhul 87,2 W/K ning õhulekkearvu baasväärtuse (6 m<sup>3</sup>/h·m<sup>2</sup>) korral 60,0 W/K. Lisasoojustatud hoone soojusvajadus kütteks on õhulekkearvu baasväärtuse korral 119,1 kWh/m<sup>2</sup> ja sama lahenduse, kuid mõõdetud väärtuse korral 129,0 kWh/m<sup>2</sup>.

Üldiselt on kahe raamiga ja klaasiga akna soojusjuhtivuseks 2,7–2,8 W/(m<sup>2</sup>K) [16], aga arvutustega on saadud uuritava hoone akende arvutuslikuks soojusjuhtivuseks väiksem väärtus, olenevalt akna mõõtmetest 2,05–2,19 W/(m<sup>2</sup>K), kuid endiselt on soojuskaod läbi akende suured.

Miljööväärtuslike hoonete energiatõhususe parandamise seisukohast oleks akende soojustehniliste omaduste parandamine üks võimalusi energiat säästa. Taastatud sisemise klaaspaketiga akende soojustehnilised omadused vajavad täpsemat uurimist.

Niiskusrežiimi arvutuste põhjal on hoone seestpoolt lisasoojustatud seintes veeauru kondenseerumise oht [20]. Kondenseerumise ohtu vähendab lisasoojustuse kihi lisamine seinavälisküljele, kuid ainult õhukese sisemise soojustuse korral. Seinad vajavad põhjalikumat niiskustehnilist kontrolli kohapeal.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärk oli välja selgitada miljööväärtuslikus hoonestusallas paikneva hoone energiatõhususe näitajad. Arvutuste põhjal on oluliselt rekonstrueeritava korterelamu energiatõhususarvu piirväärtus  $180 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  ületatud nii olemasolevate kui ka antud töös esitatud lahenduste puhul.

Hetke olukorra ja soojustuslahenduste puhul on hoone energiatõhususarv  $282,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , lisasoojustamisel  $241,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

Töös välja pakutavate soojustuslahenduste puhul ei ole energiasääst märkimisväärne, kuna hoone välispiirded on seestpoolt juba osaliselt soojustatud.

Küll aga esineb seestpoolt lisasoojustatud seintes veeaurukondenseerumise risk, mis vajab kohapeal põhjalikumalt niiskustehnilist kontrolli.

Hoone tervikliku soojustamisega, sealhulgas välisseinte minimaalse väljastpoolt lisasoojustamisega ning õhulekete vähendamisega on võimalik saavutada ca 19% kütteenergia sääst.



## KASUTATUD MATERJALID

1. Tartu linna ehitusmäärus, Tartu linnavolikogu 10. veebruari 2011. a määrus nr. 30, 2011 – [<http://info.raad.tartu.ee/webaktid.nsf/web/viited/VOLM2011021000030>] (25.03.2013)
2. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv hoonete energiatõhususe kohta, Euroopa Parlamendi ja nõukogu 19. mai 2010. a direktiiv 2010/31/EL, 2010 – [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:ET:PDF>] (25.03.2013)
3. Energiatõhususe miinimumnõuded, Vabariigi Valitsuse 30. augusti 2012. a määrus nr. 68, 2013 – eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004>] (25.03.2013)
4. Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika, majandus- ja kommunikatsiooniministri 08. oktoobri 2012. a määrus nr. 63, 2013 – eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001>] (25.03.2013)
5. Ehitusseadus, 2013 – eRT [<https://www.riigiteataja.ee/akt/125052012022#para3lg7b1>] (25.03.2013)
6. Inventariseerimise toimik 1949-1999. EAA, f T-1168, n 3, S 1055
7. EVS-EN ISO 6946:2008, Hoone komponendid ja hoonekonstruktsioonid, Soojustakistus ja soojusjuhtivus, Arvutusmeetod, 2011, Eesti Standardikeskus.
8. EVS-EN ISO 13370:2008, Hoonete soojuslik toimivus, Soojuslevi pinnasesse, Arvutusmeetodid, 2011, Eesti Standardikeskus.
9. EVS-EN ISO 10077-1:2006 „Akende, uste ja luukide soojustehniline toimivus. Soojusjuhtivuse arvutus“. Osa 1: Üldosa.
10. EVS-EN ISO 10077-2:2003 „Akende, uste ja luukide soojustehniline toimivus. Soojusjuhtivuse arvutus“ Osa 2: Numbriline meetod.
11. Therm-i ja Window juhend materjal, Calculating fenestration product performance in Window 6 and Therm 6 According to EN 673 and EN 10077. 2012 [[http://windows.lbl.gov/software/window/7/EN673+ISO%2010077\\_Using%20THERM+WINDOW-LBNL\\_rev4.pdf](http://windows.lbl.gov/software/window/7/EN673+ISO%2010077_Using%20THERM+WINDOW-LBNL_rev4.pdf)]
12. Tartu linna üldplaneering. [[http://info.raad.tartu.ee/webaktid.nsf/fc7763c017c9f110c22568cd004625d4/e7a3dae09313097bc2257d710030fda2/\\$FILE/seletuskiri.pdf](http://info.raad.tartu.ee/webaktid.nsf/fc7763c017c9f110c22568cd004625d4/e7a3dae09313097bc2257d710030fda2/$FILE/seletuskiri.pdf)] (16.03.15)
13. EVS-EN ISO 10211:2008 „Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid“
14. Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine. Juhend väikeelamute projekteerijale, ehitajale ja tellijale. [[http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-\\_ja\\_liginullenergiahoone\\_kavandamine\\_Vaikeelamu.pdf](http://www.kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-_ja_liginullenergiahoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf)]

15. Loigu, E., Kõiv, T.-A. 2006. Eesti Kraadpäevad. TTÜ, Keskkonnatehnika Instituut. Tallinn: - 69.
16. Masso, T. 2012. Ehitusfüüsika ABC soojus, niiskus, müra. Ehitamine:-172.
17. OÜ Ehitusteave (toimetaja). Piirfeld, A. 2009. Välisseina difusiooni arvutus. ET-2 0404-0764.
18. Kalamees, T. (toimetaja). 2011. Eesti eluasemefondi puitkorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus: 308.
19. Kalamees, T. (toimetaja). 2011. Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus: 114.
20. Kalamees, T. (toimetaja). 2009. Eesti eluasemefondi suurpaneel – korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus: 60 – 61.
21. Metslang, J. (koostanud). Vana maamaja käsiraamat. Kalamees, T. Kiviseina lisasoojustamine. Tammerraamat: 157-158.

## LISAD

Lisa 1. Tehnilise seisukorra hindamiskriteeriumite koondtabel

	HEA	RAHULDAV	HALB	AVARIILINE
<b>Hoone osad</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Vundamendid Keldriseinad Sokkel</b>	tehniliselt heas korras olevad	üksikud ebaolulised praod, deformats.	ebaühtlased deformatsioonid	avariilised deformatsioonid
<b>Seinad</b>	tehniliselt heas korras olevad	viimistluse osaline kahjustus	deformatsioonid, kõdukolded	avariilised deformatsioonid
<b>Vahelaed</b>	tehniliselt heas korras olevad	vähesed läbivajumised	suured läbivajumised, kõdukolded	avariilised deformatsioonid
<b>Põrandad</b>	tehniliselt heas korras olevad	osaline kulumine	amortiseerunud	-----
<b>Trepid</b>	tehniliselt heas korras olevad	osaline kulumine	amortiseerunud	ei ole kandevõimeline
<b>Avatäited</b>	tehniliselt heas korras olevad	ebakorrapärane hoold.	osaliselt amortiseerunud	täiesti amortiseerunud, puuduvad
<b>Katuse kande- konstruktsioon</b>	tehniliselt heas korras olevad	vähesed läbivajumised	ebaühtlased deformatsioonid	avariilised deformatsioonid
<b>Katusekate</b>	vettpidav, kindlust. vihmavee äravool	vettpidav, ebakorrapärane hooldus	katusekate amortiseerunud, üksikud ajutised läbijooksud, mis ei kahjusta oluliselt kandekonstruktsioone	suured sadevete läbijooksud, kandekonstruktsioonides on hakanud ilmema deformatsioonid
<b>Küttekolded korstnad</b>	korras	ebakorrapärane hoold.	osaliselt amortiseerunud, vajavad remonti	reaalne tulekahju tekkeoht, eiratakse tuleohutuse eeskirju
<b>Sadevete äravool</b>	kindlustatud korralik vihmavee äravool	hooldamata vihmaveerennid	puuduvad vihmaveetorud ja -rennid, karniisiplekid	Vihmaveed kahjustavad oluliselt fassaade, seinakonstruktsioone
<b>Kasutamiskiis</b>	heaperemehelik kasutusviis	kasutamata, valvatud, avad suletud	kasutamata, sageli sissemurdmised, avad korduvalt sulgemata	Hoone võõrastele avatud. Hoone tuleohtlikku rämpsu täis. Toimuvad rüüstamised
<b>Siseviimistlus</b>	sobiv, hästi hooldatud	osaliselt mittesobivad materjalid	hooldamata	-----
<b>Maalingud</b>				
<b>Arhitektuurised detailid</b>	heas korras olevad	vajavad puhastamist, viimistlemist	toimub pidev kahjustumine	-----
<b>Välisviimistlus</b>	heas korras olevad	vajavad puhastamist, viimistlemist	toimub pidev kahjustumine	-----
<b>Heakord, haljastus</b>	ümbrus hästi hooldatud	Ebakorrapärane hooldus	hooldamata, haljastus kahjustab hoone konstruktsioone	-----
<b>Vertikaalplaneerimine, sillutus</b>	sillutus ümber hoone on hooldatud	hooldamata sillutus	vale pinnase kalle hoone poole	-----



Foto 1. Herne tänava poolne fassaad



Foto 2. Hoovipoolne tagumine külg



Foto 3. Marja tänava poolne tulemüür



Foto 4. Keldri vahelagi



Foto 5. Keldri akna sillus ja puuduv voodrilaudis



TARTU LINNAS, HERNE TÄNAV NR. 41 ASUVA MAJAVALDUSE

# PLAAN

1:100

MAJAVALDUSE KOHAKS: 1-KHAKKORUSELINE KATUSEKORRUSEGA PÜRDIST ELAMU, 2-PESUKÖÖK, 3-KUIB, 4-KÄEV, 5-PRÜUKIST.

MAJAVALDUSE VALDUS: TARTU LINNA TSN TK KMO ELAMUTE VALITSUS

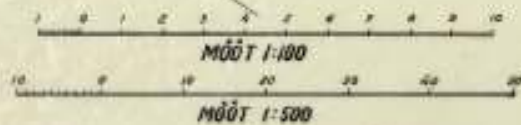
KALDADE ALLMÄÄR:  
võrdsed

## ASENDIPLAAN

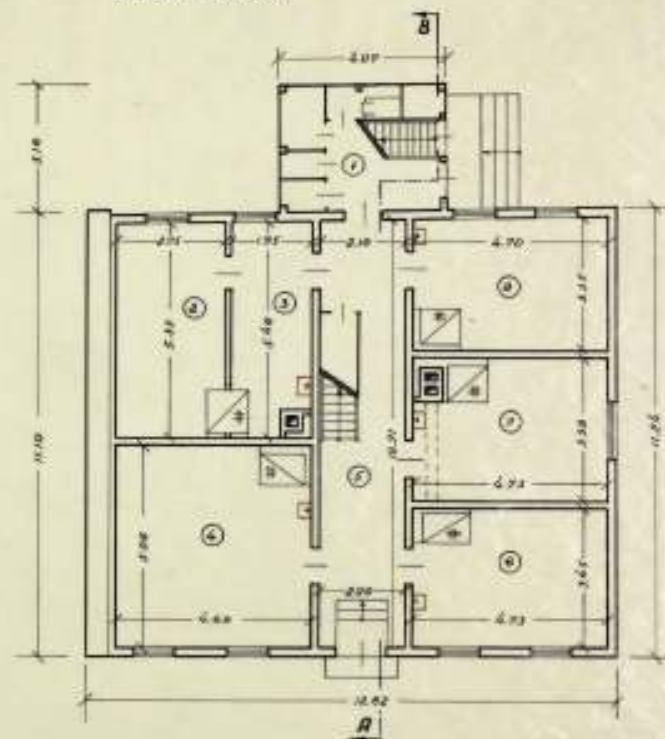
1:500



KOHANI PINDALA: 702 m<sup>2</sup>  
TÄSSELTATUD PIND: 240 m<sup>2</sup>  
TÄSSELTATUD %: 44 %



## ESIMENE KORRUS

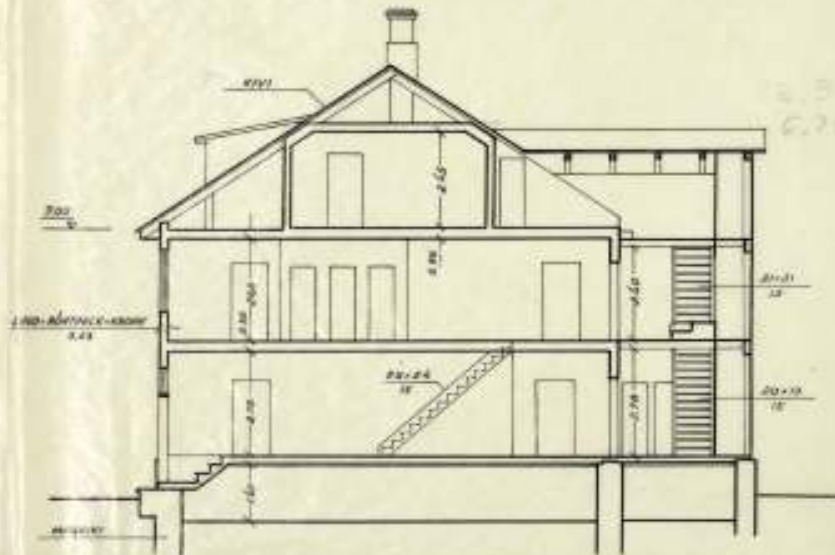


Lisa 3 Inventariseerimise joonis 1





LÕIGE A-B



RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

JRK. NR.	RUUMI NIMETUS	PINDA KÕRUTISAVALDIS	DÕRANDEPINDAD m <sup>2</sup>		MÄRKUSED
			KAMBI	ALTEI	
1	TRAPIKODU	2.08 - 2.30			
2	KÜDK	2.72 - 2.33 - 0.43 - 1.10	14.2	14.2	11.8
3	KÜDK	1.92 - 2.44 - 0.70 - 0.70 - 0.43 - 1.17			8.0
4	KÜDK TUBA	2.48 - 2.04 - 1.20 - 0.00	20.5	20.5	22.5
5	KÜDK TUBA	0.29 - 3.02 - 2.06			22.2
6	KÜDK TUBA	4.23 - 2.42 - 1.20 - 0.87	12.1	12.1	
7	---	4.72 - 2.28 - 1.70 - 1.10	15.0	15.0	
8	---	4.70 - 2.25 - 1.12 - 1.02	14.6	14.6	
ESIMENE KÕRUS			81.4	81.0	33.2
9	TRAPIKODU	2.70 - 2.07			11.8
10	KÜDK TUBA	4.27 - 1.22 - 1.14 - 0.96 - 0.82 - 0.20	23.0	23.0	
11	---	4.01 - 2.08 - 1.21 - 1.24	22.1	22.1	
12	TRAPIKODU	4.70 - 3.21 - 2.04	22.0	22.0	22.2
13	KÜDK TUBA	4.20 - 2.42 - 1.19 - 0.84	15.1	15.1	
14	---	4.05 - 1.27 - 1.04 - 1.10	15.7	15.7	
15	---	2.22 - 1.14 - 1.00 - 1.00	14.2	14.2	22.2
TEINE KÕRUS			122.8	122.8	11.8
16	TRAPIKODU	0.08 - 2.00			22.1
17	KÜDK TUBA	6.20 - 4.41 - 1.24 - 1.40 - 1.10 - 1.08 - 0.82 - 0.27 - 0.21 - 0.12	25.0	25.0	
18	KÜDK TUBA	1.22 - 0.87	24.0	24.0	11
19	KÜDK TUBA	2.60 - 4.70 - 1.01 - 1.01 - 0.80 - 0.84	43.3	43.3	10.2
KÕRUSKÕRUS			222.4	222.4	22.2
KÜDK TUBA			222.4	222.4	22.2

HOONE EKSPLIKATSIOON

JRK. NR.	HOONE NIMETUS	MÕN. PIND m <sup>2</sup>	MÕN. PIND m <sup>2</sup>	MÕN. PIND m <sup>2</sup>	MÄRKUSED
1	ELATU	150.1	100.2	KÕRUS	10.0
2	TRAPIKODU	16.2	17.4	KÕRUS	10
3	KÜDK	22.6	23.8	KÕRUS	10.0
4	KÜDK		0.8		
5	KÜDK		2.1		
		226.2	240.1		

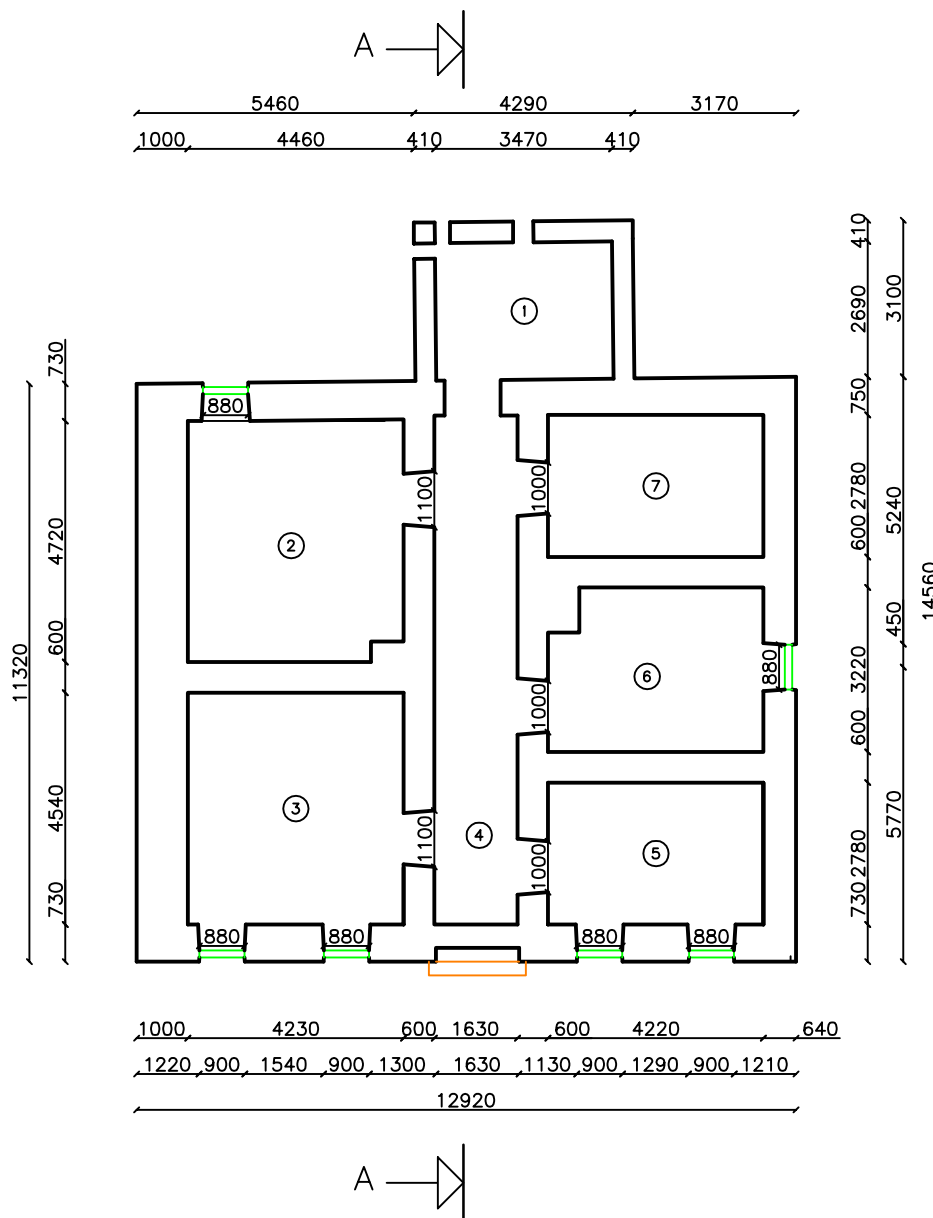
ANALÜÜSILISE LÕIGUSE ÜLES MÕÕTMIS JA ÜLES MÕÕTMISE ANNUUMIL PLANN JÕURISTAMIS

2 PÕHJ  
Kivi  
1. KIVI  
SEPTEMBER 1935

KONTROLLIMIS: K. P. K. 1935

Jookva arvestuse  
labi vides = 3 - M...  
Koolitud = 5 - ...  
K...  
K...

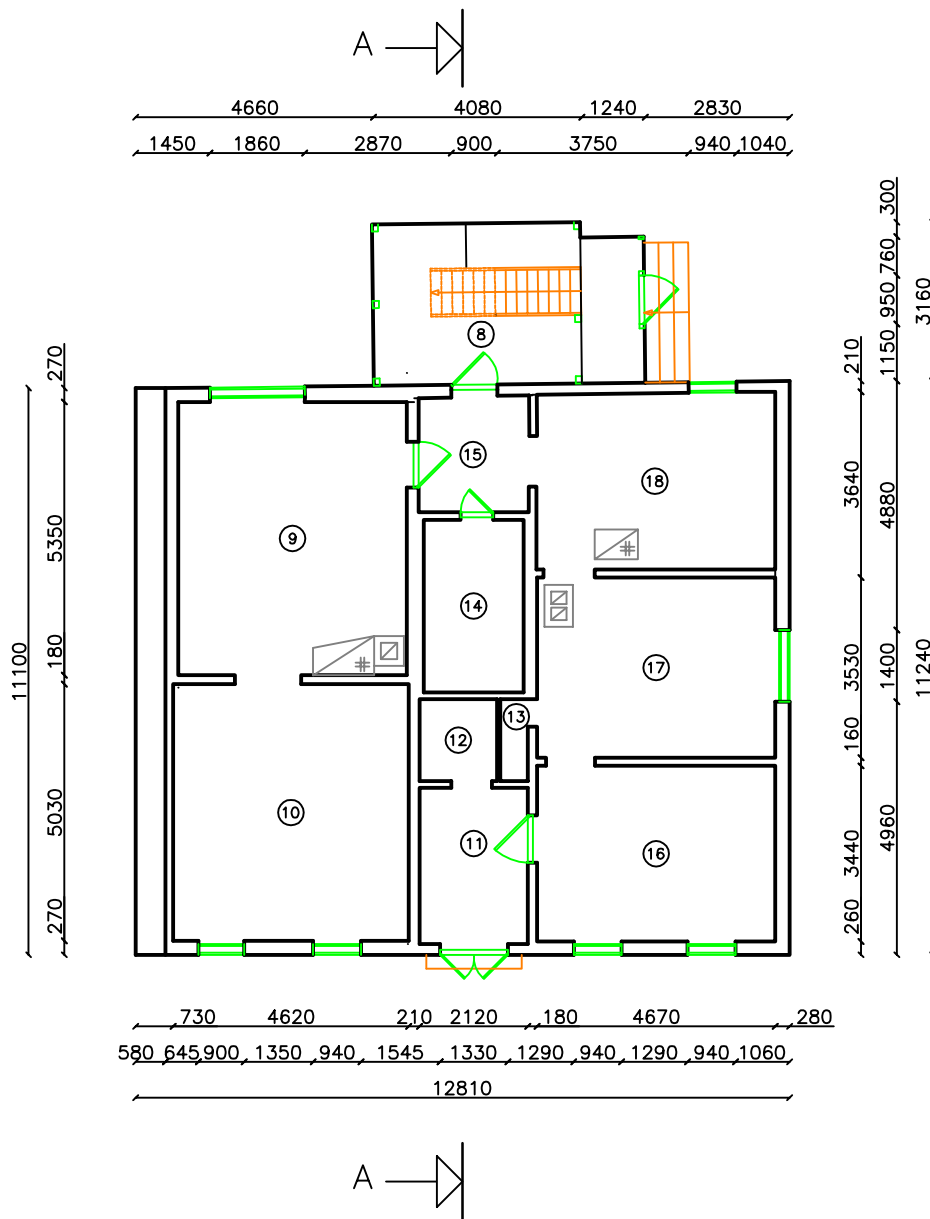
Lisa 3 Inventariseerimise joonis 3



RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

- 1.Trepikoja alune - 9,3 m<sup>2</sup>
- 2.Ruum - 19,8 m<sup>2</sup>
- 3.Ruum - 19,2 m<sup>2</sup>
- 4.Vahekäik - 20,2 m<sup>2</sup>
- 5.Ruum - 11,7 m<sup>2</sup>
- 6.Ruum - 11,7 m<sup>2</sup>
- 7.Ruum - 11,7 m<sup>2</sup>

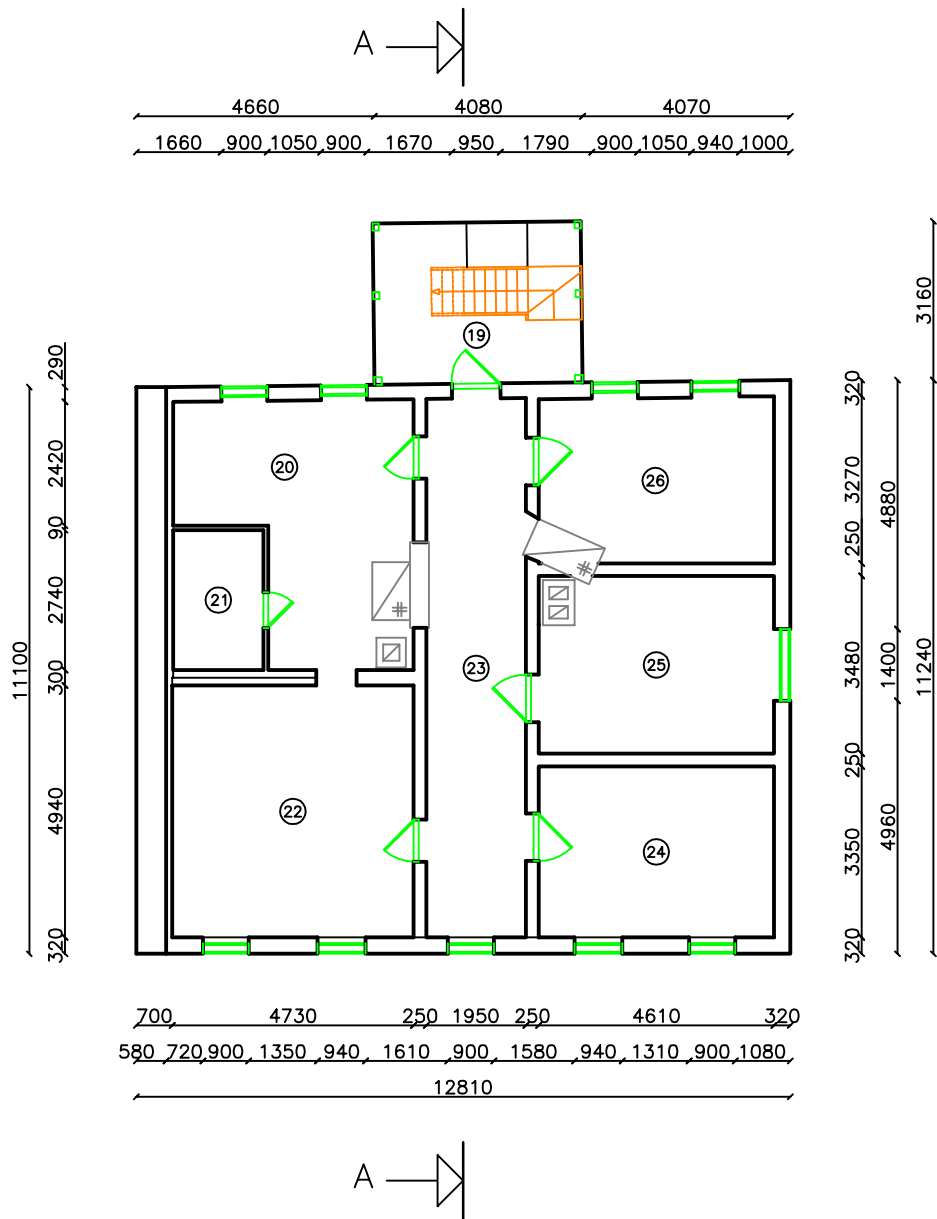
	Nimi		Nimetus:	Mõõt: 1:150
Koostas	R. Mälton		KELDRI PLAAN	Formaat: A4
Juhendas	dots. A. Ruus			
TTÜ Tartu Kolledž			Leht: 1/5	



RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

- 8.Trepikoda - 12,9 m<sup>2</sup>
- 9.Köök-elutuba - 22,8 m<sup>2</sup>
- 10.Tuba - 23,2 m<sup>2</sup>
- 11.Esik (tänavapoolne) - 6,5 m<sup>2</sup>
- 12.Ruum - 2,5 m<sup>2</sup>
- 13.Panipaik - 0,9 m<sup>2</sup>
- 14.Vannituba - 6,6 m<sup>2</sup>
- 15.Esik - 4,9 m<sup>2</sup>
- 16.Ruum - 16,1 m<sup>2</sup>
- 17.Ruum - 16,0 m<sup>2</sup>
- 18.Ruum - 15,7 m<sup>2</sup>

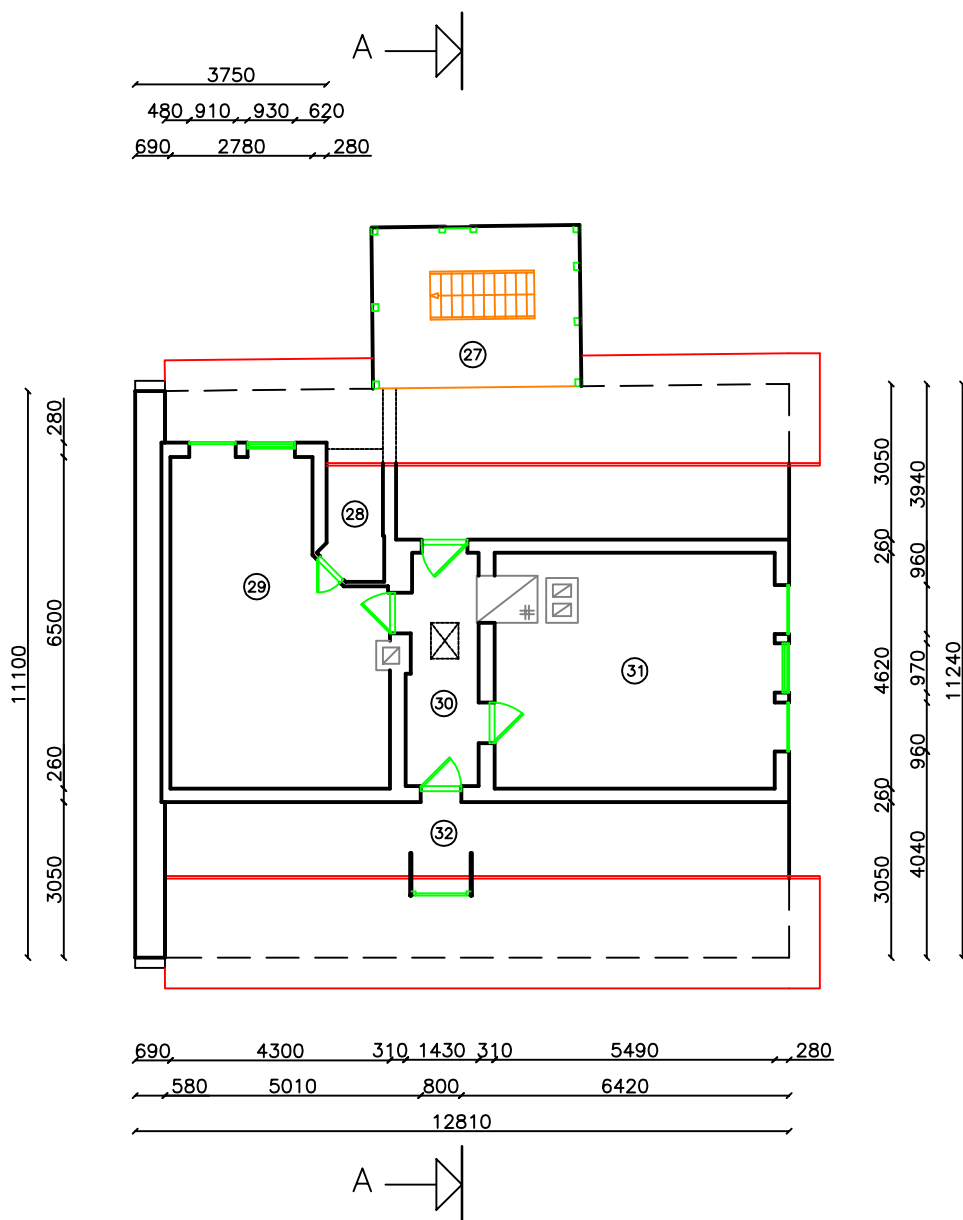
	Nimi		Nimetus:	Mõõt:
Koostas	R. Mälton		1 KORRUSE PLAAN	1:150
Juhendas	dots. A. Ruus			Formaat:
TTÜ Tartu Kollidž			Leht:	
			2/5	



RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

- 19.Trepikoda - 12,9 m<sup>2</sup>
- 20.Köök - 18,2 m<sup>2</sup>
- 21.Vannituba - 4,9 m<sup>2</sup>
- 22.Elutuba - 23,4 m<sup>2</sup>
- 23.Koridor - 20,6 m<sup>2</sup>
- 24.Tuba - 15,4 m<sup>2</sup>
- 25.Tuba - 15,4 m<sup>2</sup>
- 26.Tuba - 14,2 m<sup>2</sup>

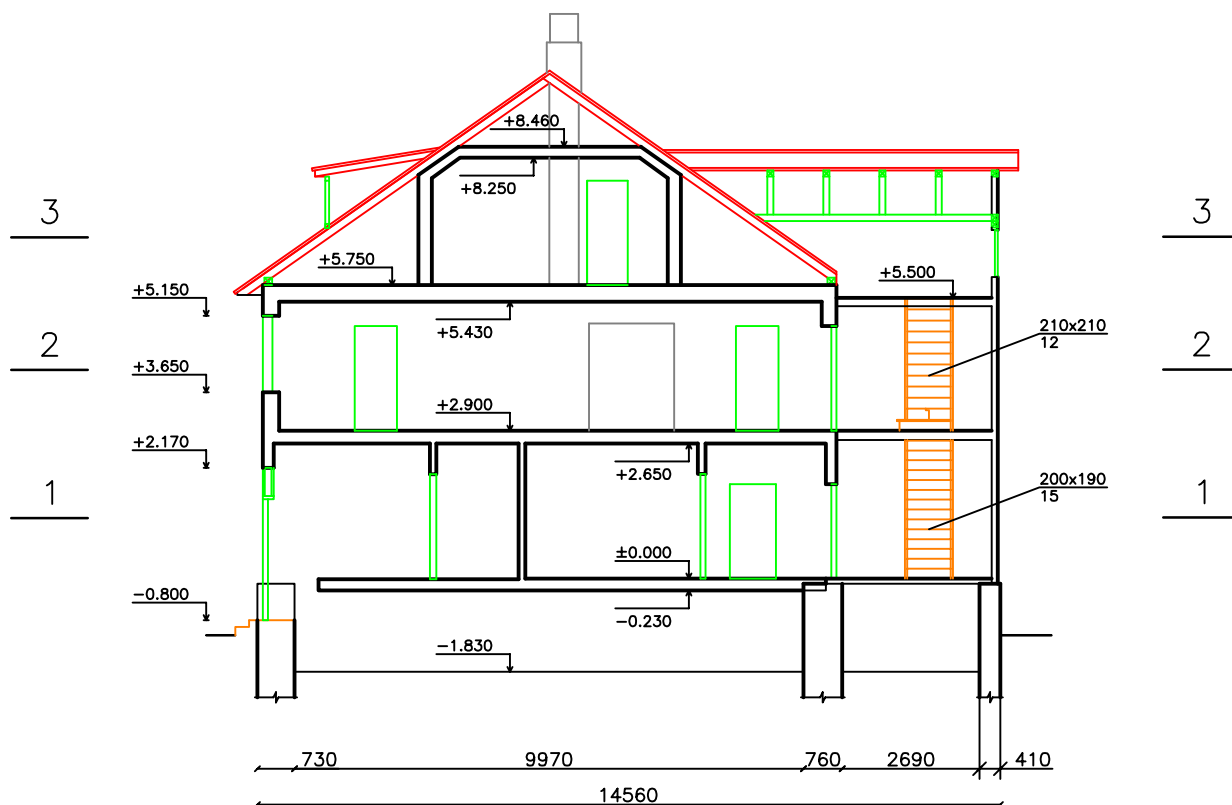
	Nimi		Nimetus:	Mõõt:
Koostas	R. Mälton		2 KORRUSE PLAAN	1:150
Juhendas	dots. A. Ruus			Formaat:
TTÜ Tartu Kolledž			Leht:	
			3/5	



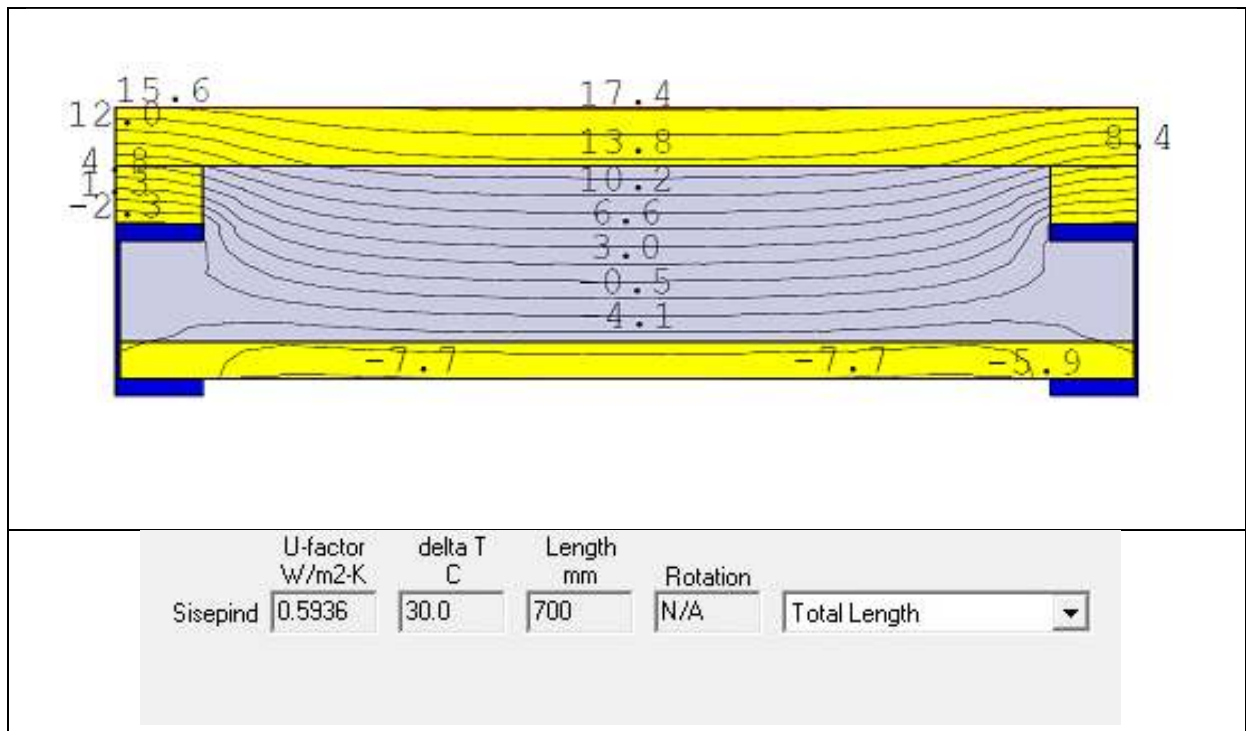
RUUMIDE EKSPLIKATSIOON

- 27.Trepikoda–katusealune – 35,4 m<sup>2</sup>
- 28.Dušširuum – 2,9 m<sup>2</sup>
- 29.Tuba – 24,1 m<sup>2</sup>
- 30.Koridor – 6,6 m<sup>2</sup>
- 31.Tuba – 24,1 m<sup>2</sup>
- 32.Katusealune – 35,1 m<sup>2</sup>

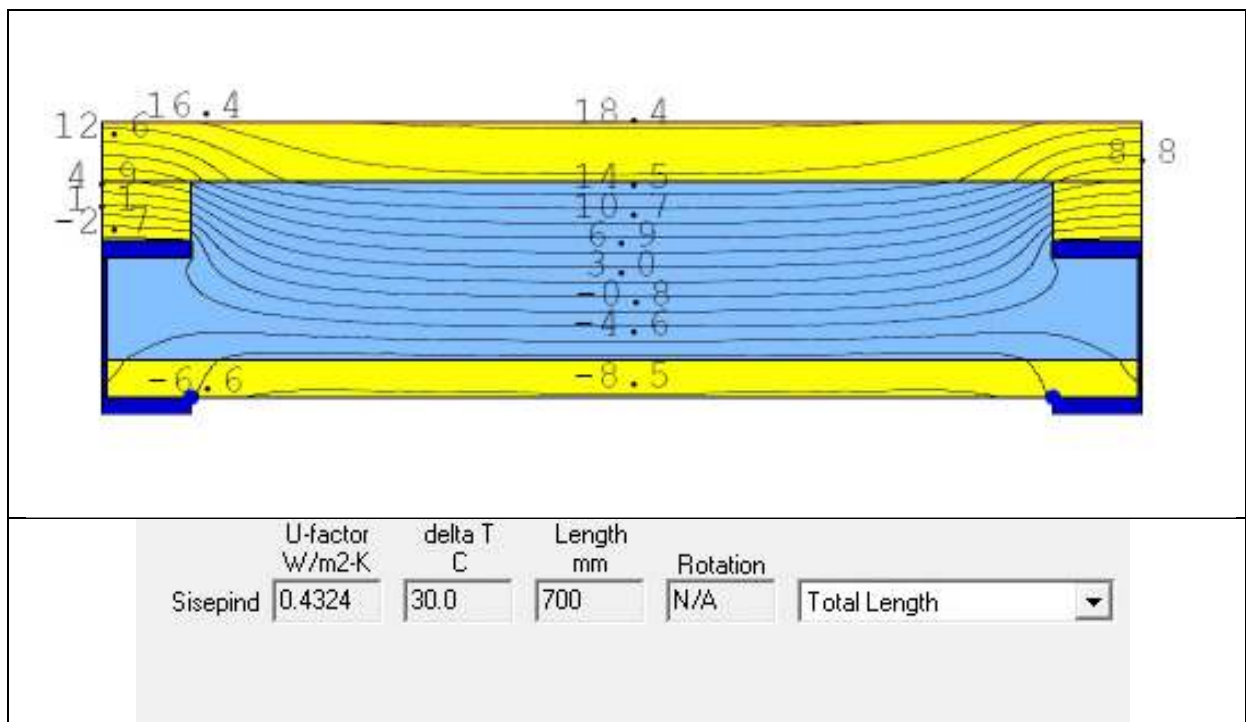
	Nimi		Nimetus:	Mõõt:
Koostas	R. Mälton		3 KORRUSE PLAAN	1:150
Juhendas	dots. A. Ruus			Formaat:
TTÜ Tartu Kolledž			Leht:	
			4/5	



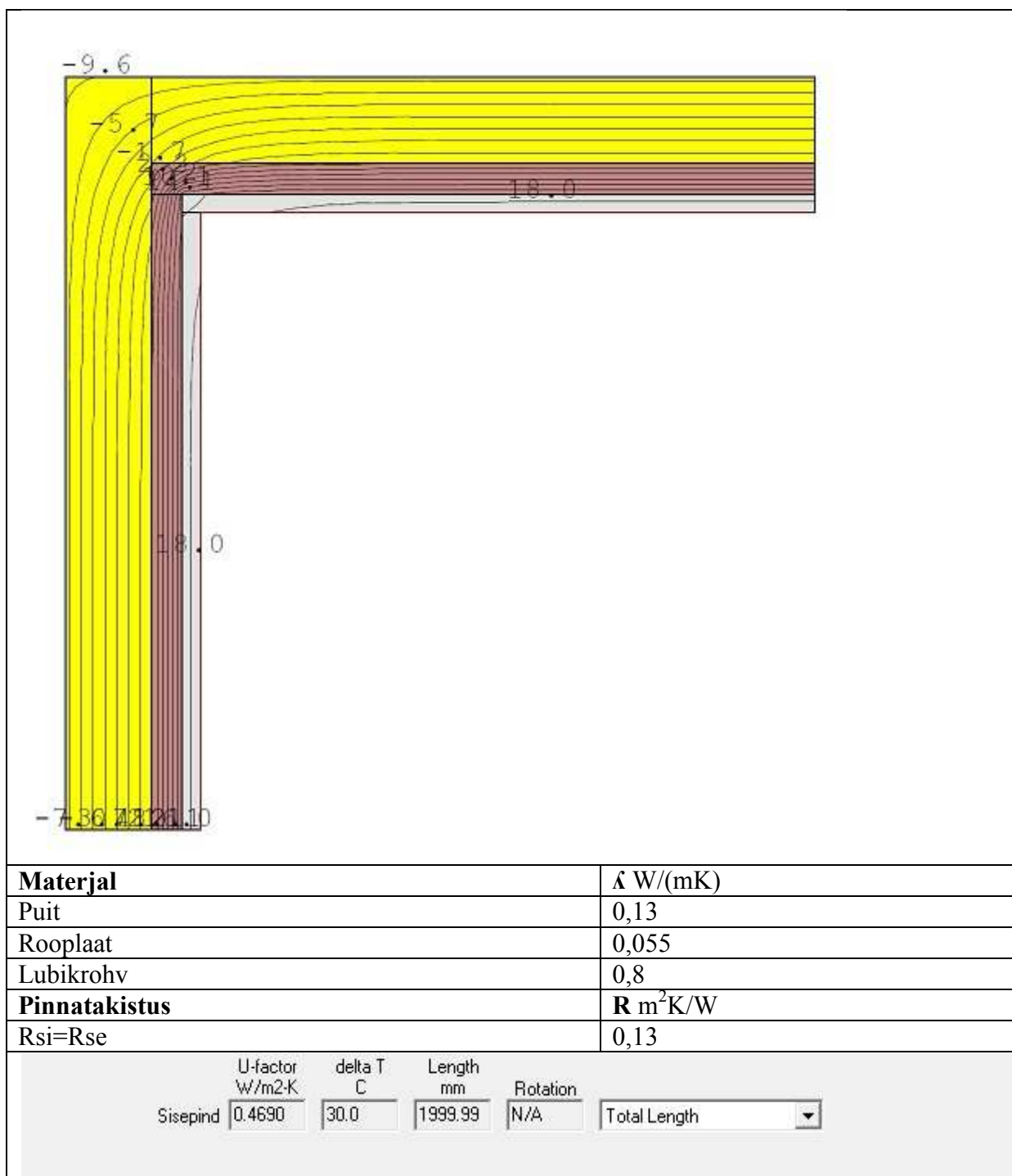
	Nimi		Nimetus:  LÕIGE A-A	Mõõt: 1:150
Koostas	R. Mälton			Formaat: A4
Juhendas	dots. A. Ruus			
TTÜ Tartu Kolledž			Leht: 5/5	



Joonis 1. Therm'i mudel terastaladel kergkruusaga soojustatud põrand

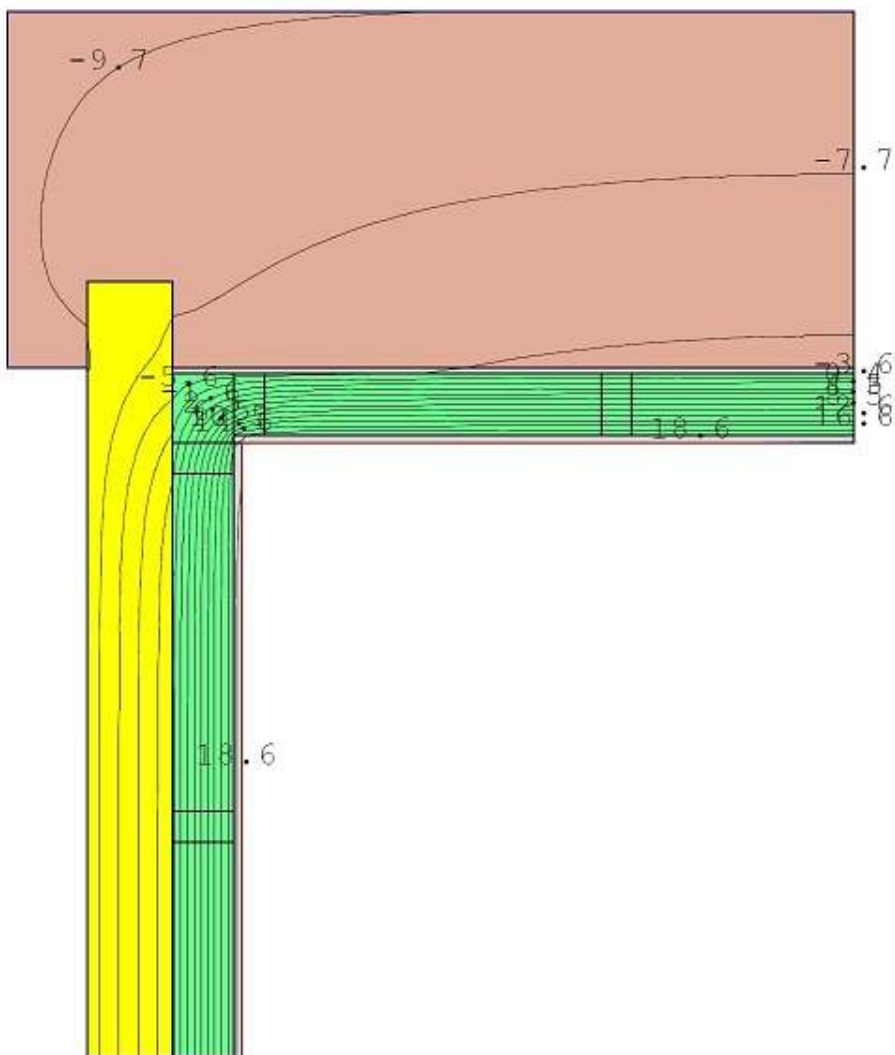


Joonis 2. Therm'i mudel terastaladel puistevillaga soojustatud põrand



Joonis 3. Therm i mudel rooplaadiga sojustatud palkseina välisnurk



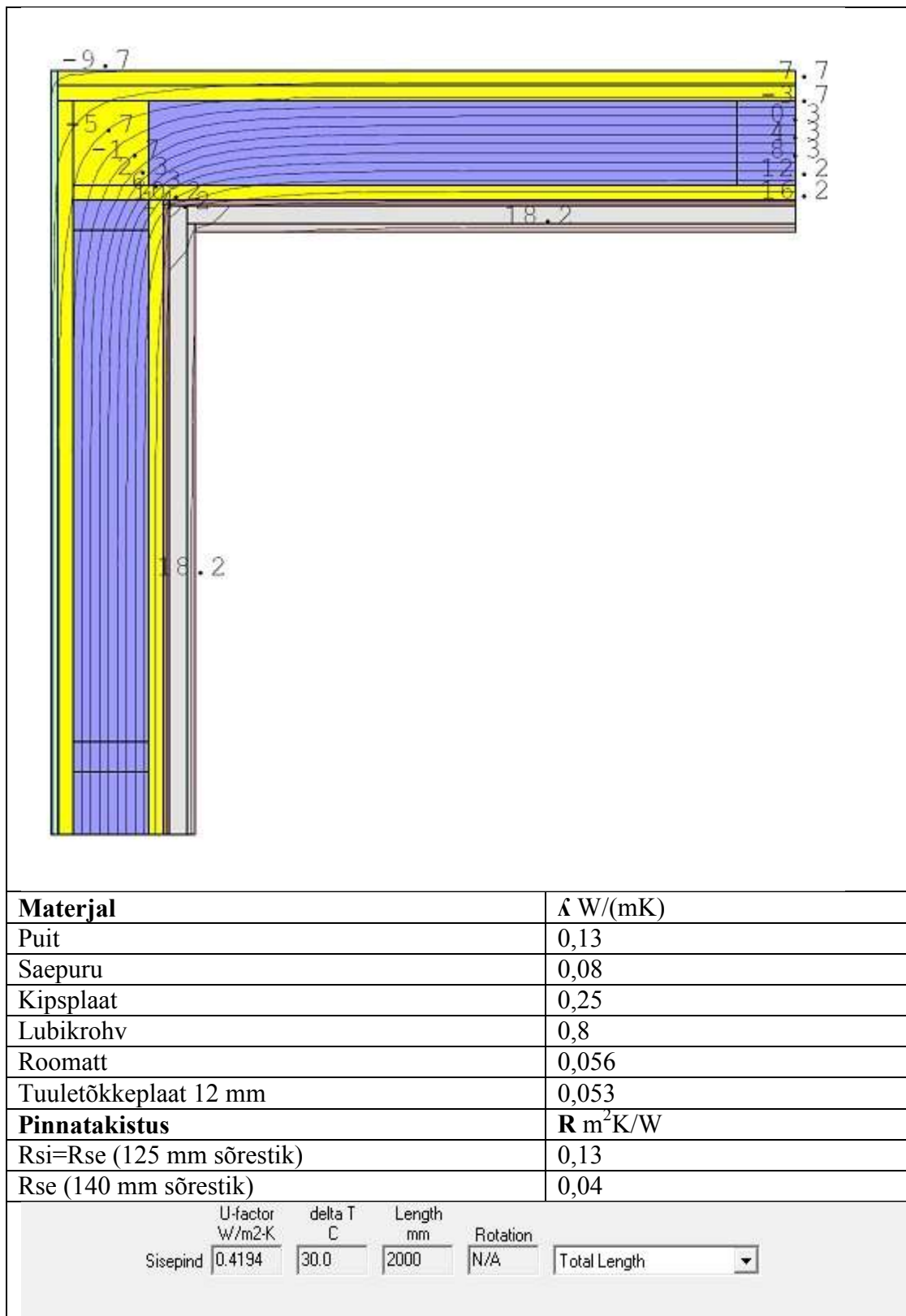


Materjal	$\lambda$ W/(mK)
Puit	0,13
Mineraalvill	0,037
Kipsplaat	0,25
Tellis	1,3
Lubikrohv	0,8
Pinnatakistus	R m <sup>2</sup> K/W
Rsi=Rse (Palksein)	0,13
Rse (Tellissein)	0,04

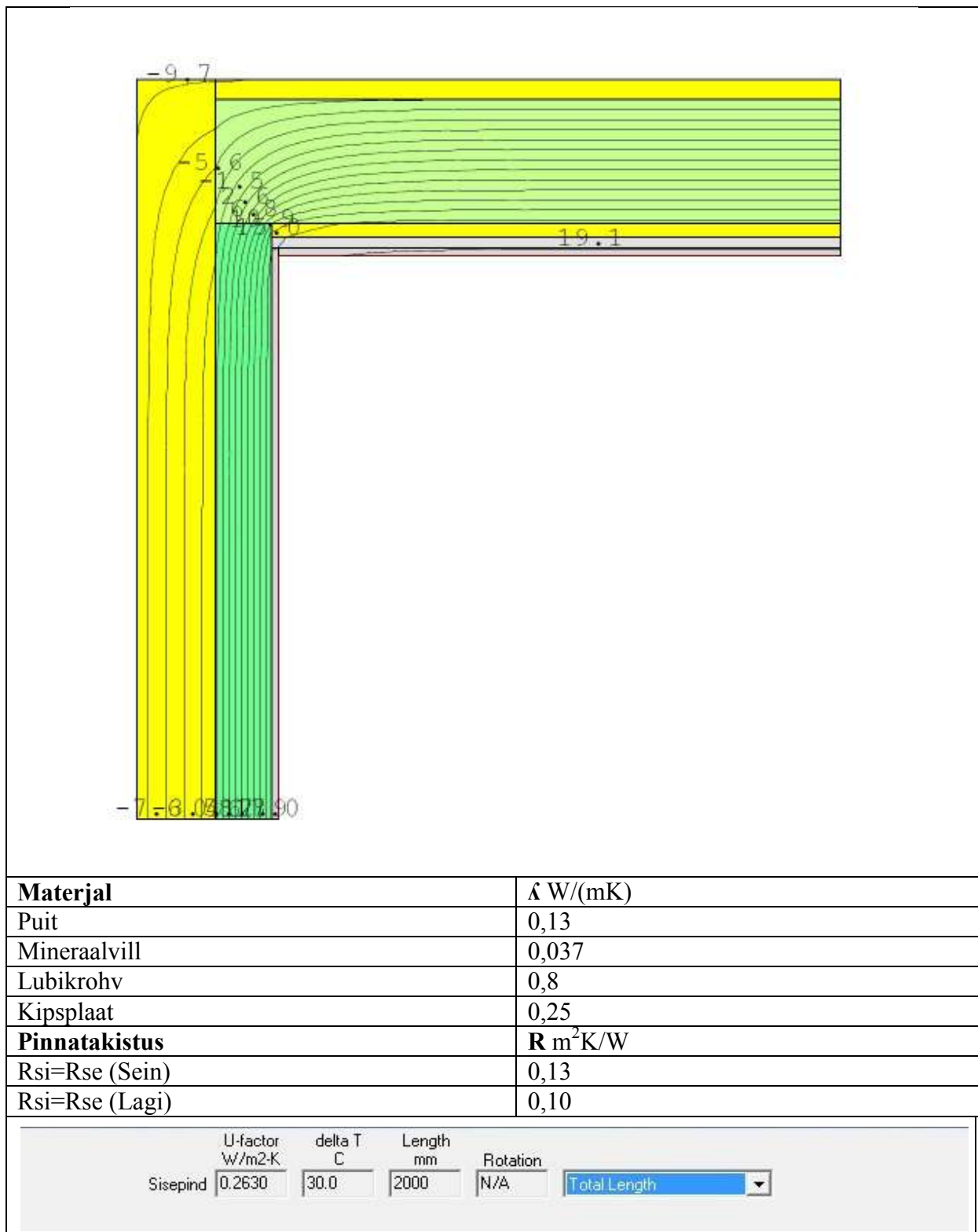
  

	U-factor W/m <sup>2</sup> K	delta T C	Length mm	Rotation	
Sisepind	0.3282	30.0	2000	N/A	Total Length

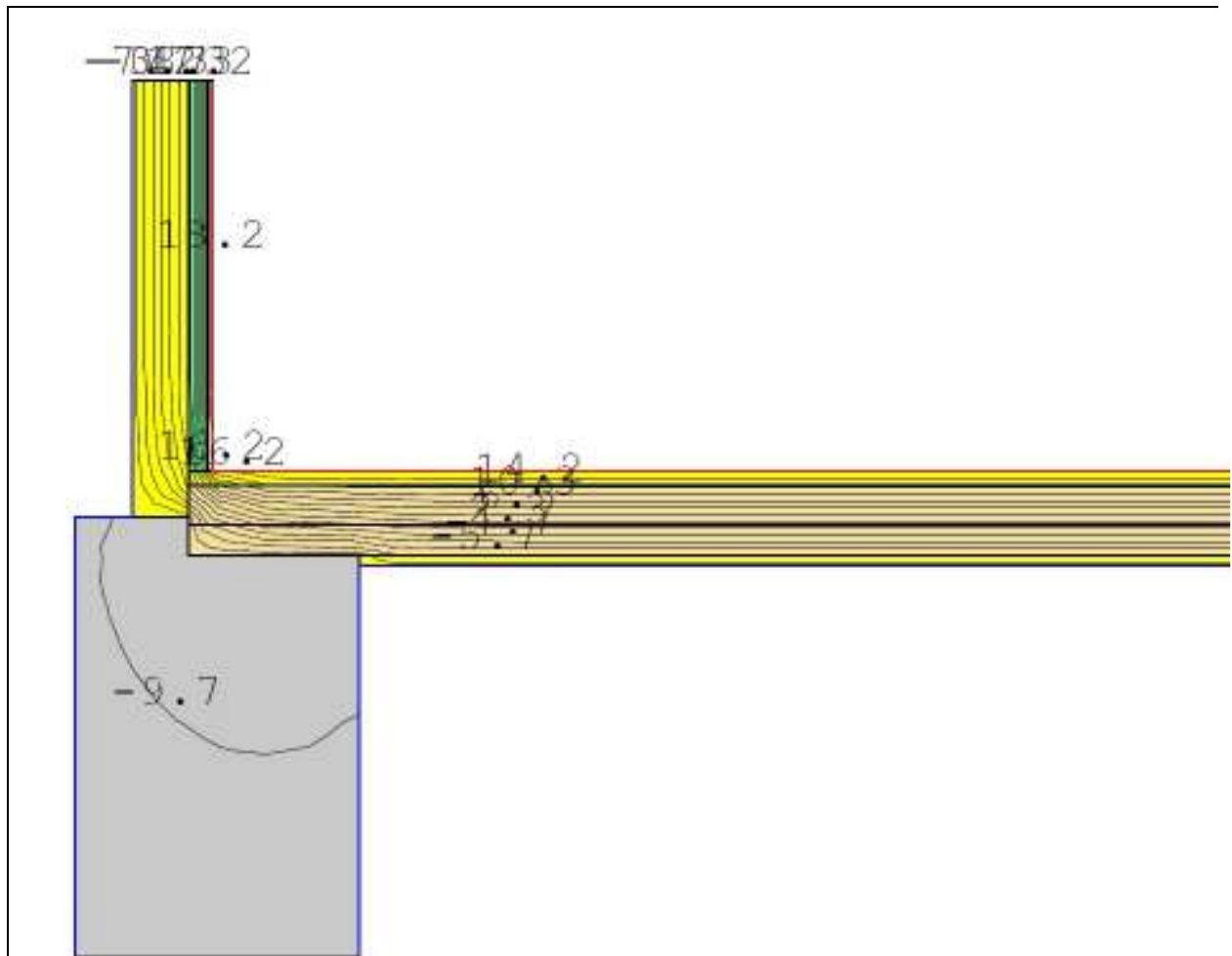
**Joonis 4** Therm'i mudel (100 mm) mineraalvillaga soojustatud palksein ja tellissein välisnurk



Joonis 5 Therm'ï mudel (140 mm ja 125 mm) saepurutäitega soojustatud sõrestikseina välisnurk



**Joonis 6.** Therm'i mudel (100 mm) soojustatud palksein ja (220 mm) mineraalvillaga soojustatud teise korruse lagi

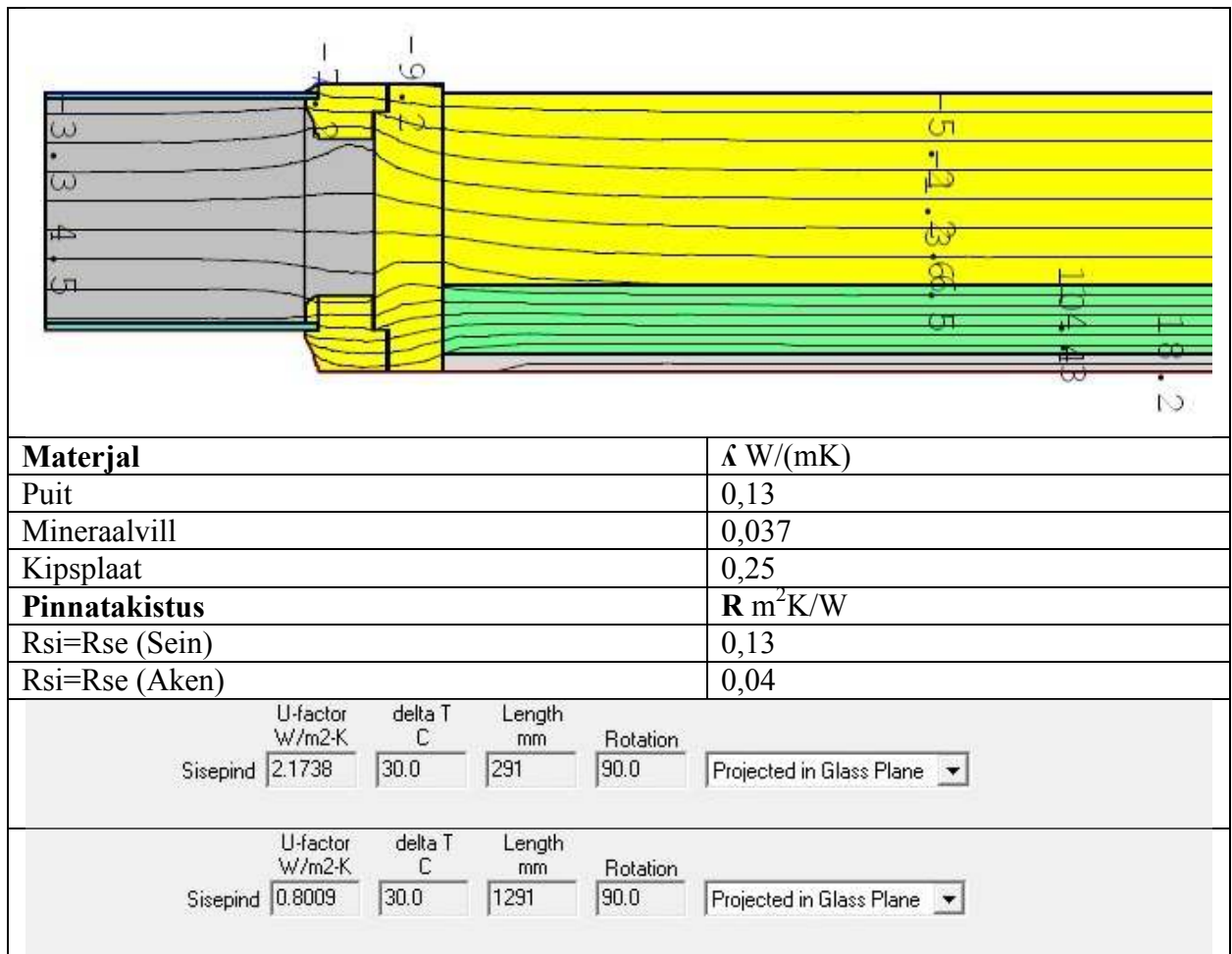


Materjal	$\lambda$ W/(mK)
Puit	0,13
Mineraalvill	0,037
Kergkruus	0,09
Lubikrohv	0,8
<b>Pinnatakistus</b>	<b>R m<sup>2</sup>K/W</b>
Rsi=Rse (Sein)	0,13
Rsi=Rse (Põrand)	0,17

	U-factor W/m <sup>2</sup> K	delta T C	Length mm	Rotation	Total Length
Sisepind	0.4070	30.0	3640	N/A	

Joonis 7. Therm'i mudel (50 mm) soojustatud palksein ja (180 mm) kergruusaga soojustatud põrand



Joonis 8. Therm'i mudel akna ja välisseina sõlm

<b>Energiatõhususarv</b>		PAIKKOND <input type="text" value="ESTLAND"/>	
<b>Soojusenergia</b>			<b>Summa</b>
Radiaatorisoojus	218,22	* <input type="text" value="0,75"/> kaalutegur =>	<b>163,67</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]
Sissepuhkeõhu soojendamine	0,00	* <input type="text" value="1"/> kaalutegur =>	<b>0,00</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]
Soe vesi	30,10	* <input type="text" value="2"/> kaalutegur =>	<b>60,20</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]
			<b>223,87</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>Jahutusenergia</b>			<b>Summa</b>
Kaugjahutus	0	* <input type="text" value="1"/> kaalutegur =>	<b>0</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>Kinnistuelekter</b>			
Jahutusseade veering	0,00		
Jahutusseade õhkjahutus	0,00		
Valgustus	7,01		
Seadmed (masinad)	15,66		
Ventilaatorid	0,00		
Lisaelektritarbijad +	6,76		
<b>Summa</b>	<b>29,43</b>	* <input type="text" value="2"/> kaalutegur =>	<b>58,86</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>Energiatõhususarv</b>			<b>282,73</b> [kWh/m <sup>2</sup> ]

<b>Netoenergiavajadus</b>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Ruumide küte 5	37316	130,93
Ventilatsiooniõhu soojendamine 6	0	0,00
Tarbevee soojendamine	8579	30,10
Kütteenergia kokku	45895	161,03
Jahutus	0	0,00
5 sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis 6 arvatatud koos soojustagastusega		
<b>Energia vabasoojusest</b>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Päikesekiirgus	7007	24,58
Inimesed	4139	14,52
Seadmed	4463	15,66
Valgustus	1997	7,01

**Joonis 1.** Hoone energiatõhususarv ja netoenergiavajadused hetke seisukorras

Energiatõhususarv				PAIKKOND	ESTLAND
<b>Soojusenergia</b>				<b>Summa</b>	
Radiaatorisoojus	163,80	*	0,75 kaalutegur =>	122,85	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Sissepuhkeõhu soojendamine	0,00	*	1 kaalutegur =>	0,00	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Soe vesi	30,10	*	2 kaalutegur =>	60,20	[kWh/m <sup>2</sup> ]
				<b>183,05</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Jahutusenergia</b>				<b>Summa</b>	
Kaugjahutus	0	*	1 kaalutegur =>	0	[kWh/m <sup>2</sup> ]
<b>Kinnistuelekter</b>				<b>Summa</b>	
Jahutusseade veering	0,00				
Jahutusseade õhkjahutus	0,00				
Valgustus	7,01				
Seadmed (masinad)	15,66				
Ventilaatorid	0,00				
Lisaelektritarbijad +	6,76				
<b>Summa</b>	<b>29,43</b>	*	<b>2 kaalutegur =&gt;</b>	<b>58,86</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Energiatõhususarv</b>				<b>241,91</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>

<b>Netoenergiavajadus</b>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Ruumide küte 5	28010	98,28
Ventilatsiooniõhu soojendamine 6	0	0,00
Tarbevee soojendamine	8579	30,10
Kütteenergia kokku	36589	128,38
Jahutus	0	0,00
5 sisaldab infiltratsiooniõhu ja ventilatsiooniõhu soojenemise ruumis 6 arvatud koos soojustagastusega		
<b>Energia vabasoojusest</b>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Päikesekiirgus	7007	24,58
Inimesed	4112	14,43
Seadmed	4463	15,66
Valgustus	1997	7,01

Joonis 2. Hoone energiatõhususarv ja netoenergiavajadused lisasoojustamisel