



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

VÕHMA, AIA 8 ERAMU ENERGIATÕHUSUSE ANALÜÜS

ENERGY PERFORMANCE ANALYSIS OF HOUSE AT 8 AIA STREET IN VÕHMA

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Marju Lindmets

Üliõpilaskood: 131802EAKI

Juhendaja: Aime Ruus, dotsent

Tartu 2018

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

TTÜ Tartu Kolledž
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Marju Lindmets, 131802EAKI

Õppekava, peeriala: Hoone sisekliima ja veetehnika, materjalide taaskasutus ja ettevõtte juhtimine

Juhendaja(d): Aime Ruus, dotsent, 53402823

Konsultandid: puuduvad

Lõputöö teema: Võhma, Aia 8 eramu energiatõhususe analüüs

Energy performance analysis of house at 8 Aia street in Võhma.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Hoone soojuskadude ja niiskustehnilise olukorra analüüs;
2. Lõputöö valmimise perioodil tehtud muudatuslahenduste analüüs;
3. Pakkuda lahendusi lisasoojustuseks.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Töö kirjandusega. Termograafia	03.2017
2.	Hoonete soojakadude ja niiskustehnilise olukorra analüüs	05.2018
3.	Paranduslahendused	05.2018

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "....."201....a

Üliõpilane: "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: "....."201....a
/allkiri

Konsultant:

"....."201....a /allkiri/

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	6
ABSTRACT.....	7
SISSEJUHATUS	8
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	9
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	10
3. HOONE KIRJELDUS.....	11
3.1 Tehniline ülevaade	11
3.2 Vundament ja põrandad	12
3.3 Välisseinad.....	13
3.4 Katus ja külm pööning.....	15
4. HOONE SOOJUSKADUDE ANALÜÜSI METOODIKA	17
4.1 Hoone välispiirete soojusläbivuse arvutuse meetoodika	17
4.2 Kondenseerumisrisk ja väljakuivamise arvutuse meetoodika	22
4.3 Termovisioon.....	27
5. HOONE OLUKORRA ANALÜÜS	29
5.1 Hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutuse tulemused	29
5.1.1 Välisseinad	29
5.1.2 Aknad.....	31
5.1.3 Uksed	32
5.1.4 Katus – külm pööning	32
5.1.5 Põrand kütmata keldri kohal	33
5.1.6 Aastane soojuskadu.....	36
5.2 Kondenseerumisrisk ja väljakuivamise arvutusi Glaseri meetodil	38
5.2.1 Välissein.....	38
5.2.2 Pööningu põrand.....	40
5.3 Termovisioon.....	42
5.4 Kokkuvõtte ja järeldused hoone olukorra kohta	46
6. KÄESOLEVA TÖÖ VALMIMISE JOOKSUL TEHTUD MUUDATUSED	47
6.1 Aknad.....	47
6.2 Põrand kütmata keldri kohal.....	48
6.3 Aastane soojuskadu	51

7.	ETTEPANEKUD SOOJAKADUDE VÄHENDAMISEKS.....	52
7.1	Katus – pööning	52
7.1.1	Pööningu parenduslahenduse kondenseerumisk Glaseri meetodil.....	54
7.2	Välisseinad	55
7.2.1	Välisseina kondenseerumisk riski arvutus Glaseri meetodil.....	57
7.3	Aastane soojakadu	58
8.	KOKKUVÖTE.....	59
9.	SUMMARY	61
10.	KASUTATUD KIRJANDUS.....	62
LISA 1.	Hoone olemasolevad joonised	65
LISA 2.	Hoone fassaadikatematerjal	68
LISA 3.	Lihtsustatud energiaarvutuse lähteandmete esitamine	69

LÜHIKOKKUVÕTE

Lindmets, M. Võhma, Aia 9 eramu energiatõhususe analüüs. Magistritöö Tartu, 2018. 71 lehekülge, 16 tabelit, 23 joonist ja 5 termofotot. Magistritöö on kirjutatud eesti keeles.

Käesoleva lõputöö eesmärk on analüüsida Võhmas Aia 8 asuva hoone energiatõhusust. Hoone on ehitatud 50ndate lõpus ja osaliselt renoveeritud 2000ndate alguses. Hoones on tehtud renoveerimistöid käesoleva töö valmimise jooksul. Vastavalt standardile EVS 908-1:2016 on arvatud U-väärtused. Külmasildade visualiseerimiseks on kasutatud termokaamerat.

Niiskustehnilist olukorda analüüsitakse käesolevas töös Glaseri meetodil. Energiatõhususe arvutustulemus on arvatud, kasutades eelpool nimetatud arvutustulemusi, kasutades joonkülmasildu, infiltratsiooni väärtusi määrusest. Lõpetuseks on pakutud lahendusi hoone energiatõhususe parendamiseks.

Märksõnad: puitsõrestik maja, soojusjuhtivus, U-arv, termokaamera, niiskus ehituskonstruktsioonides, magistritöö.

ABSTRACT

Lindmets, M. Energy efficiency analysis of house at 8 Aia street in Võhma. Master's thesis. Tartu, 2018. 71 pages, 16 tables, 23 drawing and 5 thermal images. Master's thesis is written in Estonian.

The aim of the thesis is to analyse energy efficiency of house at 8 Aia street in Võhma. Building is half-timbered house built in the late 60s and partly renovated in the early 2000s. There are also some renovation done during the writing process of this thesis. U-value's are calculated according to valid Estonian Standard EVS 908-1:2016. Thermal camera is used to assess the thermal bridges in the house.

Hydrothermal performance of the house is calculated by using Glaser's method. Energy performance number was calculated with approximate values of thermal bridges and using all the previously calculated values. Last step is to give solutions to enhance energy efficiency of the house.

Keywords: half-timbered house, thermal conductivity, U-value, thermal camera, water in constructions, master's thesis.

SISSEJUHATUS

Käesoleva töö eesmärk on hinnata Viljandimaal Võhma linnas Aia 8 kinnistul asuva ühepereelamu energiatõhusust ning pakkuda parendusettepanekuid olemasoleva soojus- ja niiskustehnilise olukorra parendamiseks. Olukorra parendused tooksid kaasa püsikulude vähenemise ja parema elukeskkonna.

Käesoleva töö esimene osa teeb ülevaate asjakohasest kirjandusest.

Töö teine osa käsitleb antud töö eesmärgi.

Kolmandas osas on välja toodud hoone üldine tehniline seisukord ja üldkirjeldus.

Neljandas osas kirjeldatakse teoreetilist baasi, mille põhjal hoone soojakadude ja niiskustehnilise olukorra kirjeldamine toimub.

Viiendas osas tehakse hoone olemasoleva olukorra põhine soojus- ja niiskustehniline analüüs ning sellest tulenevad järeldused.

Töö kuuendas osas käsitletakse käesoleva töö kirjutamise ajal tehtud parenduste analüüsi.

Töö seitsmendas osas kirjeldatakse parenduslahendusi, välisseinte ja pööningu soojustamiseks.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Kliimasoojenemine ja ressursside vähenemine maailmas on hakanud survestama ka riikide suhtumist ressursside kasutusse. Seoses Eesti liitumisega Euroopa Liiduga on sellega kaasnenud direktiivid, millest johtuvalt Eesti oma energiatõhususe poliitikat kujundab. Euroopa Liidu direktiiv 2012/27/EL annab suunised, mida peab hõlmama riiklik hoonete rekonstrueerimise strateegia energiatõhususe parandamiseks: ülevaade riigi hoonefondist, hoone tüübi ja kliimatsiooni suhtes asjakohaste renoveerimismeetodite väljaselgitamine, meetmed, millega soodustatakse kulutõhusat täielikku renoveerimist, tulevikust johtuv lähenemisviis juhtimaks investeeringuid, tõenditel põhinev hinnang energiasäästule ja kasule. [1]

Majandus- ja taristuminister on kehtestanud määrusega nr 55 energiatõhususe miinimumnõuded, millisele peaksid vastava kõik uued ja ehitatavad hooned, kuid seal on välja toodud ka olemasolevatele hoonetele mõeldud soovituslikud piirnormid, mis on aluseks hoone energiatõhususe seiskorra hindamisel. [2]

Eesti hoonefondi kohta koostatud uuringu raporti põhjal on Eesti hoonete tehniline energiasäästupotentsiaal kuni 80% hoonefondi praegusest energiakasutusest. Seejuures on oluline, et säästupotentsiaal on suur soojusenergia, kuid pea nullilähedale elektrienergia. Viimane on seotud sisekliima tagamisega, kus ventilatsioon ja ka soojuspumpade kasutamine asendab soojustamisega saavutatava energiasäästu. [1]

Eelpool nimetatud direktiivi põhjal koostatud riiklik hoonete rekonstrueerimise strateegia energiatõhususe parendamiseks kätkeb endas analüüsi erinevate hoonetüüpide rekonstrueerimise mõistlikkuse kohta. Eramute puhul tuleb uuringus välja, et vanemates väikemajades on tasuvamad kapitaalsed rekonstrueerimislahendused, mille puhul vahetatakse välja tehnosüsteemid ja soojustatakse välispiirded, tulemuseks energiatase C. [1]

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva lõputöö eesmärk on analüüsida üksikelamu olukorda energiatõhususe aspektist ning teha ettepanekuid energiatõhususe parendamiseks.

Töö käigus lahendatavad küsimused on järgmised:

1. Hoone soojakadude ja niiskustehnilise olukorra analüüs;
2. Analüüsida käesoleva töö valmimise perioodil muudetud lahendusi;
3. Pakkuda lahendusi lisasoojustuseks, mis oleksid lihtsalt teostatavad.
4. Kontrollida parenduslahenduste vastavust nõuetele.

3. HOONE KIRJELDUS

3.1 Tehniline ülevaade

Elamu üldandmed pärinevad Ehitisregistrist. Tehnilised andmed ehitise eri osade kohta pärinevad hoone ehitusprojektit, mis pärineb hoone valdajatelt. [3]

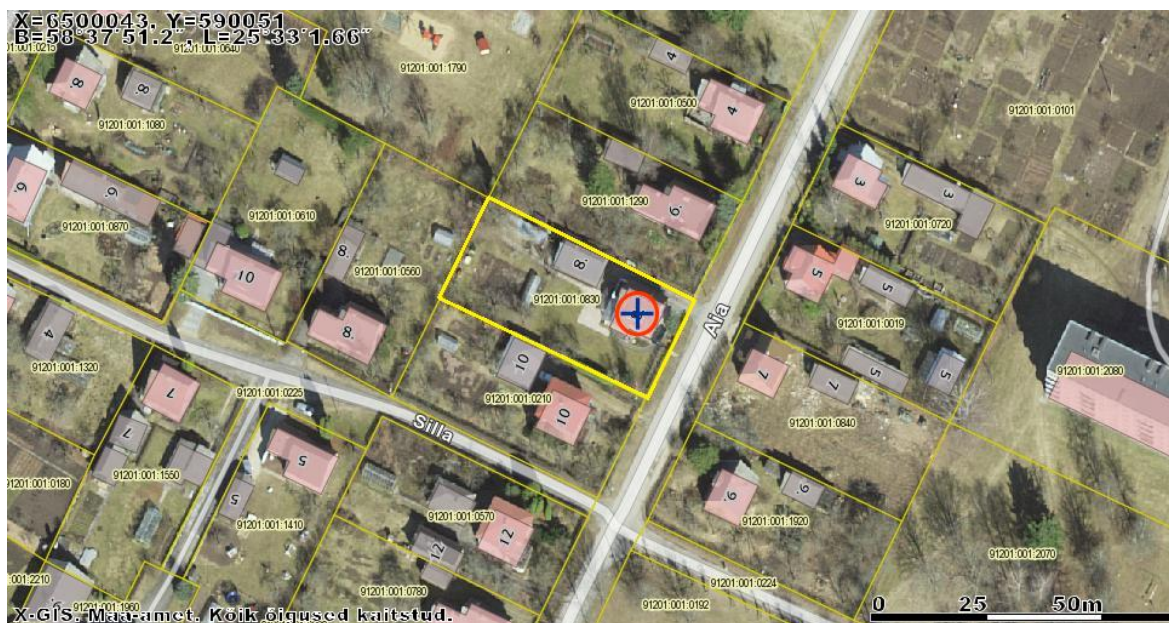
Tabel 3.1. Hoone tehnilised andmed. [3]

Address:	Aia 8, Võhma linn, Põhja-Sakala vald, Viljandi maakond
Katastriüksuse tunnus:	91201:001:0830
Ehitusregistrikood:	112017806
Ehitusaasta:	1950ndate keskpaik
Kasutusotstarve:	Üksikelamu
Ehitusalune pind:	81 m ²
Suletud netopind:	151 m ²
Maht:	531 m ³
Korruselisus:	2-korruseline, keldri ja väljaehitamata pööningukorrusega
Eluruumide pind:	100.5
Püsielanike arv:	2
Kelder:	Jah



Joonis 3.1. Vaade hoonele lõunast

Hoone on projekteeritud 1953. aastal ning ehitatud 1958. aastal individuaalelamuks. Hoone on kahekorruline, milles on lisaks hoonealune kelder ja väljaehitamata ja soojustamata pööning. Hoone küttekeha on pottahi ja soojamüüriaga pliit. Ventilatsioon on ette nähtud loomuliku väljatõmbega korstnalõõridesse. [4]



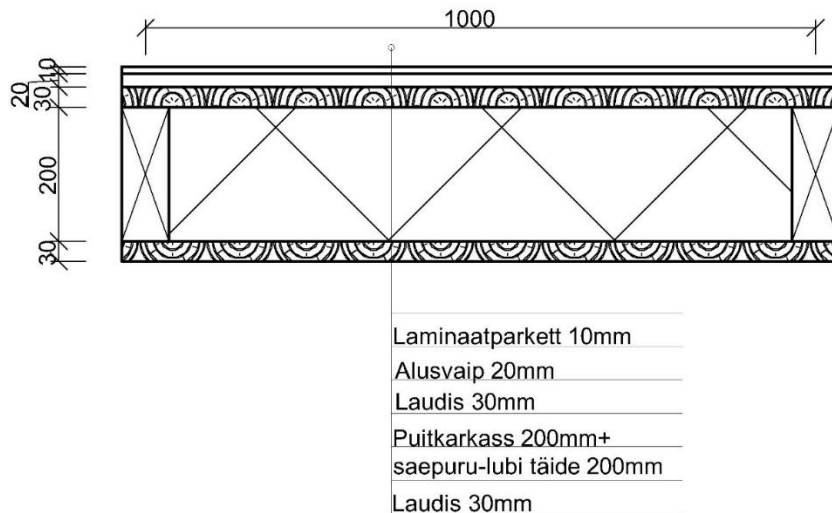
Joonis. 3.2 Hoone asukoht. [5]

Hoone olemasolevad joonised ja lõige on toodud Lisas 1.

3.2 Vundament ja põrandad

Vastavalt projektile on ette nähtud, et „Alusmüürid tehakse looduslikust kivist tsement-lubisegamördil vahekorras 1:2:2, kuna õhemad puttbetoonist. Alusmüürid kallerdamata osades toetuvad kruus-liivapatjadel.“ [4]

„Põrandad tehakse vastavalt projektile puittaladest 7,5x20 cm, talade alumisele pinnale naelutatakse laudkate, selle pealt saviga määrimisega või papiga katmisega, millele asetatakse saepuru-lubi kerge täide (joonis 3.3). Katusealune lagi lüüakse pennide külge, mille tugevus ca 7x18 cm, millele asetatakse laudkäiguteed.“ [4] Teise korruse põrandatel on kasutatud puitlaudu, esimese korruse põrandaid katab laminaatparkett.



Joonis 3.3 Põranda lõige

Hoone esimese korruse põrand on täies mahus maaaluse kütmata keldri kohal.

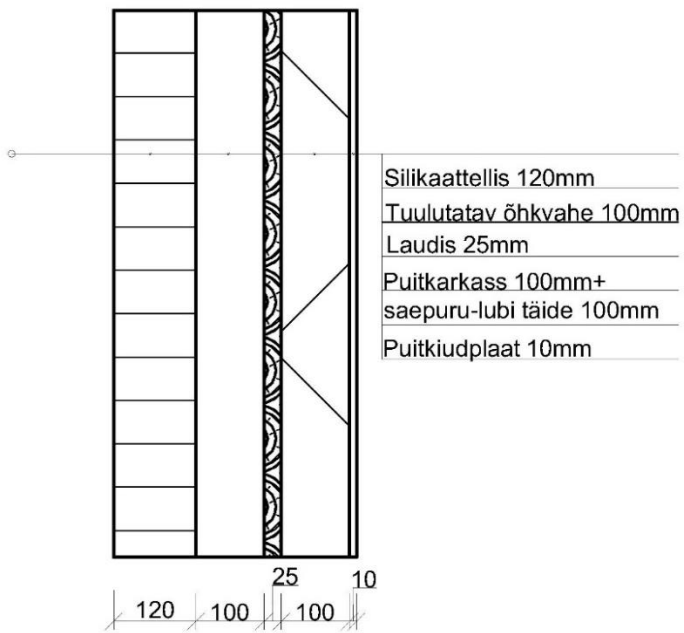
3.3 Välisseinad

„Sõrestikseinad, millisel seinad on 5x10 cm postidest vahekaugustega 70-90 cm ja raampuudest. Sõrestiku siseküljele otse postidele naelutatakse 2-2,5 cm laudadest rõhtvooder. Väljastpool naelutatakse postidele 0,8 – 1,0 m vahekaugustega latid 5x5 cm, millele tuleb väline püstivooderdus laududa vahekohtadele liistude löömisega. Vooderduse alla lüüakse halli papi kihid ja vahe täidetakse saepuru-lubi vahekorras 10:1 täitega. Seinte sõrestiku jäigastamiseks naelutatakse postide külge 2,5x15cm laudad, mis sisse lastud rõhtlattidesse.„ [4]

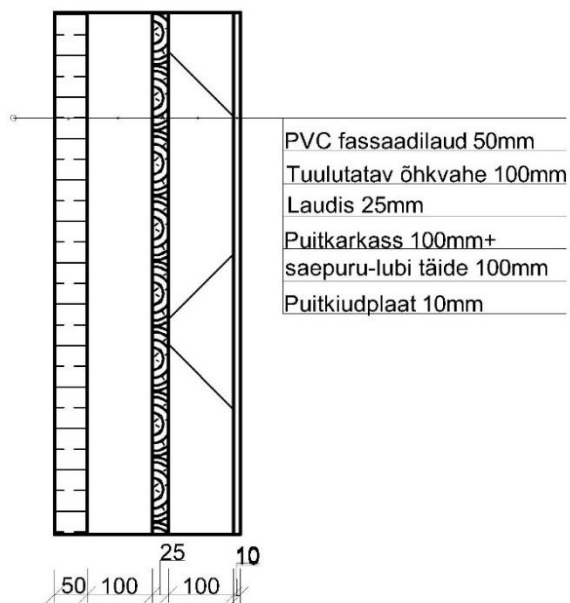
Hoone puitkarkassil on praegu katend – alumisel osal silikaattellis ning teise korrusel on kasutatud PVC fassaadilauda (joonis 3.4; joonis 3.5; joonis 3.6; joonis L2.1). Hoone projektis ei ole hoone seinas ettenähtud õhuvahet, kuid reaalsuses on tellisfassaadiga seina osas 100mm õhkvahe.



Joonis 3.4 Vaade hoonele idast



Joonis 3.5. Hoone välispiirde silikaattellis fassaadiga osa lõige



Joonis 3.6. Hoone välispiirde PVC fassaadiga osa lõige

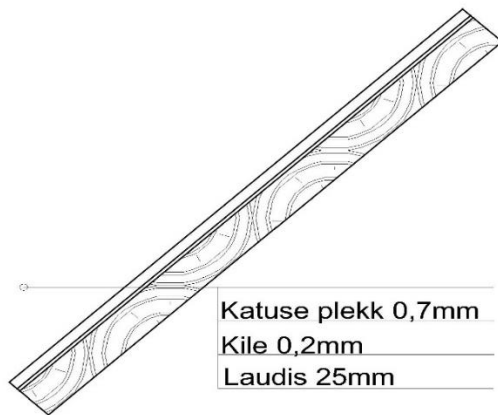
Hoone fassaadi uuendus teise korruse osas on tehtud 21. sajandi alguses.

3.4 Katus ja külm pööning

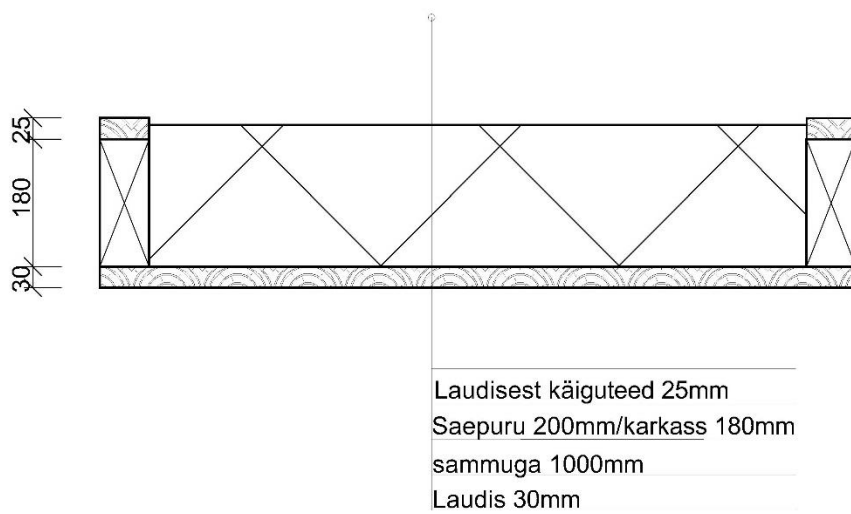
„Katuse sarikad 5 x 15 cm arvestatult kivikattega on ettenähtud puhaste otstega räästalauga ja katuseviiludel viilulaudadega.“ [4] Katusekattematerjalina on praegu kasutusel plekk (joonis 3.7).

Katusepleki alla on paigutatud must hüdroisolatsioonikile.

Hoonel on külmpööning (joonis 3.8).



Joonis 3.7. Katuse lõige



Joonis 3.8. Pööningu põranda lõige

4. HOONE SOOJUSKADUDE ANALÜÜSI METOODIKA

4.1 Hoone välispiirete soojuslähivuse arvutuse meetoodika

Piirdetarindi soojuslähivuse arvutamisel on kasutatud standardit EVS 908:1 2016 Hoone piirdetarindi soojuslähivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev lähipaistmatu piire: [6]

$$U = \frac{1}{R_T}, \frac{W}{m^2K} \quad (4.1)$$

kus R_T piirde kogusoojustakistus, m^2K/W .

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \frac{m^2K}{W} \quad (4.2)$$

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

$R_{1;2}$ iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus, m^2K/W ,

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

Hoone soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus tuleneb valemist:

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, \frac{m^2K}{W} \quad (4.3)$$

kus d ehitusmaterjali kihi paksus, m,

λ ehitusmaterjali soojusjuhtivus, $W/(mK)$.

Soojuslikult mittehomoogeensete kihtidega tarindi soojustakistus tuleneb valemist:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, \frac{m^2K}{W} \quad (4.5)$$

kus R'_T mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piir (piirde pinnaga risti olevad sektsioonid), $(m^2K)/W$,

R''_T mittehomoogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piir (piirde pinnaga risti olevad sektsioonid), $(m^2K)/W$.

Väikeste kütmata ruumide mõju võetakse arvesse välispiirdetarindi täiendava homogeense kihina, mille soojustakistus tuleneb:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} \cdot U_{e,k}) + 0,33 \cdot n \cdot V}, \frac{m^2 K}{W} \quad (4.5)$$

- Kus A_i kõikide sisekeskkonna ja kütmata ruumi vahel asuvate osade üldpind, m^2 ,
 $A_{e,k}$ kõikide kütmata ruumide ja väliskeskkonna vahel olevate osade üldpind, m^2 ,
 $U_{e,k}$ kõikide kütmata ruumide ja väliskeskkonna vahel asuvate piirdetarindite soojusläbivus, $W/(m^2K)$. Teadmata väärtuste korral kasutada $U_{e,k} = 2 W/(m^2K)$,
 V kütmata ruumi sisekubatuur, m^3 ,
 n kütmata ruumi õhkvahetuskordsus, h^{-1} (teadmata väärtuse korral $n = 3 h^{-1}$).

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus leitakse piirdetarindi pinnaga risti olevate osade soojusjuhtivuse summal abil tulenevalt valemist:

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ts}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \frac{m^2 K}{W} \quad (4.6)$$

- kus A_a, \dots, A_n piirde üksikute sektsioonide osapindalad,
 R_{Ta}, \dots, R_{Tn} piirde üksikute sektsioonide soojustakistused tulenevalt valemist 2.

Piirde kogusoojustakistuse alumine piirväärtus arvutatakse valemist

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \frac{m^2 K}{W} \quad (4.7)$$

- kus R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, W^2K/W ,
 $R_1; R_x; R_n$ iga kihi soojustakistus, arvutatakse vastavalt valemile 3 või vasvalt valemile 7,
 R_{se} piirde välispinna soojustakistus, m^2K/W .

Mittehomogeensete materjalikihtidega tarindi soojustakistus leitakse valemist:

$$R'_T = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, \frac{m^2 K}{W} \quad (4.8)$$

- kus A_{xa}, \dots, A_{xn} mittehomoegense kihi üksikute sektsioonide osapindalad,
 R_{xa}, \dots, R_{xn} mittehomoegense kihi üksikute sektsioonide soojustakistused tulenevalt valemist.

Maksimaalne suhteline arvutusviga tuleneb valemist:

$$e = \frac{R'_T - R''_T}{2 \cdot R_T} \cdot 100\% \quad (4.9)$$

kus R'_T mittehomogeensete osadega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (piirde pinnaga risti olevad osad), (m²K)/W,

R''_T mittehomogeensete osadega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (piirde pinnaga paralleelselt olevad osad), (m²K)/W.

Eelpool esitatud mittehomogeense piirde arvutusmeetod on lihtsustatud ning meetod ei ole sobilik järgmistel juhtudel:

- külmasildadest põhjustatud pinnatemperatuuride arvutamiseks;
- kui mittehomogeenses piirdes kasutatud materjalide soojuseri juhtivused on üle viie korra erinevad;
- kui arvutusviga on suurem kui 20%.

Akende soojusläbivus tuleneb valemist : [7]

$$U_a = \frac{U_k \cdot A_k + U_r \cdot A_r + \Psi_k \cdot l_k}{A_k + A_r}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (4.10)$$

kus U_k klaasiosa U-arv, W/(m²K),

A_k klaasiosa pindala, m²,

U_r lengi- ja raamiosa U-arv, W/(m²K),

A_r raamiosa pindala, m²,

Ψ_k klaasiserva joonkülmasilla lisakonduktants, W/(mK),

l_k klaasiserva perimeetri pikkus, m.

Arvutamisel võetakse aluseks standardi tabeliväärtused, mis on toodud tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Piirde pindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel

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

Põrandate soojuslevi pinnasesse arvutatakse vastvalt standardile EVS-EN ISO 13370:2017. Hoone all on mittekõetav kelder, mis on tuulutamata. Sellest johtuvalt arvutatakse kütmata keldri puhul soojuslääbivus vastavalt standardile valemist 11: [8]

$$\frac{1}{U_{ub}} = \frac{1}{U_{f;sus}} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V)} \quad (4.11)$$

kus	U_f	põranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus, W/(m ² K),
	A	põranda pindala, m ² ,
	U_{bf}	keldripõranda soojusjuhtivus, W/(m ² K),
	z	keldri sügavus maapinna suhtes, m,
	P	põranda avatud perimeeter, m,
	U_{bw}	keldriseinte soojusjuhtivus, W/(m ² K),
	h	põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes, m,
	U_w	õhkvahe seinte soojusjuhtivus välise maapinna kohal, W/(m ² K), vastavalt standardile EVS-EN ISO 6949:2017,
	N	keldri õhuvahetuskordsus tunni kohta, andmete puudumisel $n = 0,1 \text{ h}^{-1}$,
	V	keldri sisekubatuur, m ³ .

Kuna keldripõrand on soojustamata ning õhuruum on enam kui 0,5 m maapinnast, arvutatakse U_g valemist:

$$U_g = U_{fg;b} + \frac{z \cdot P \cdot U_{wg;b}}{A} \quad (4.12)$$

U_x leitakse valemist:

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B} \quad (4.13)$$

kus	h	põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes, m,
	U_w	põrandaaluse õhuruumi seinte soojuslääbivus välise maapinna kohal W/(m ² K), vastavalt standardile ISO 6946,
	ε	tuulutusavade pindala põrandaaluse õhuruumi ümbermõõdu pikkuses m ² /m,
	v	keskmine tuulekiirus 10m kõrgusel, m/s,
	f_w	tuuletõkkesegur.

Keldripõrand on soojustamata, mistõttu eeldatakse et $(d_t+0,5z)<B$, seega tuleneb keldri põranda soojusjuhtivus $U_{fg;b}$ valemist:

$$U_{fg;b} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1\right) \quad (4.14)$$

kus B' põranda tunnusmõõtmed, m,
 d_t võrdväärne kogupaksus – pinnasel asuv põrand, m.

Keldriseina soojusjuhtivuse leidmiseks kasutatakse valemit

$$U_{wg;b} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_z + z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_{w;b}} + 1\right) \quad (4.15)$$

Kus $d_{w;b}$ keldriseina võrdväärne kogupaksus, m.

Keldriseina kogupaksus arvutatakse valemist

$$U_{w;b} = \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{w;b} + R_{se}) \quad (4.16)$$

kus $R_{w;b}$ keldriseinte soojustakistus, mis hõlmab kõiki materjalikihte.

Põranda tunnusmõõtmed saab valemist

$$B = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (4.17)$$

kus B põranda tunnusmõõt, m,
 A põranda pindala, m²,
 P siseruumi avatud põranda perimeeter, m.

Põranda kogupaksus tuleneb valemist

$$d_f = d_{w;e} + \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) \quad (4.18)$$

kus d_g ekvivalentne kogupaksus, m,
 $d_{w;e}$ välisseina või vundamenti seina kogupaksus koos kõigi kihtidega (välisseina sisepinna ja sokli välispinna vaheline kaugus), m,
 Λ_g pinnase soojuserijuhtivus, W/(mK),
 $R_{f;sog}$ põrandaplaadi soojustakistus, kaasa arvatud kõik soojustuskihid plaadi peal, all ja vahel ning põrandakattematerjali soojustakistus, m²K/W,
 R_{si} sisepinna soojustakistus, m²K/K,

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

Keldri seinte ekvivalentne paksus tuleneb valemist

$$d_{w;b} = \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{w;b} + R_{se}) \quad (4.19)$$

kus λ pinnase soojuserijuhtivus, $W/(mK)$,
 $R_{w;b}$ põranda soojustakistus, m^2K/W ,
 R_{si} sisepinna soojustakistus, m^2K/K ,
 R_{se} välispinna soojustakistus, m^2K/W .

Hoone all asuv pinnas pole teada, seega kasutatakse kategooriat 2 (liiv, kruus), mille soojuserijuhtivus on $\lambda = 2,0 W/(mK)$ [8].

4.2 Kondenseerumisrisk ja väljakuivamise arvutuse meetodika

Hoonete välispiirded peavad olema sellised, et ei tekiks kondensvett, või juhul, kui see tekib, peab olema võimalik selle väljakuivamine. Selle olukorra väljaselgitamiseks on H. Glaseri väljatöötatud, normis DIN 4108 kirjeldatud meetod, mida käesolevas töös rakendatakse. [9]

DIN4108 sätestab raamtingimused, mida tuleb kondenseerumisperioodil (talvel) arvutuste tegemisel arvesse võtta:

- väliskliima: õhutemperatuur $t = -10^\circ C$, suhteline õhuniiskus $RH = 80\%$
- sisekliima: temperatuur $t = +20^\circ C$, suhteline õhuniiskus $RH = 50\%$

Difusiooniarvutuste juures kasutatakse difusioonikonstant μ , mis kirjeldab, mitu korda on materjali difusioonitakistus suurem kui sama paksu seisva õhu kihi oma. Samas pole võimalik selle kaudu anda teavet materjalist tehtud seinakihi aurutakistuse S_d kohta, mis annab pildi kogu seina difusioonsest käitumisest: [9]

$$S_d = \mu \cdot s, m \quad (4.20)$$

kus μ vaadeldava ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant,
 s materjalikihi paksus meetrites.

Tabel 4.2. Ehitusmaterjalide iseloomustavad näitajad.

Materjal	Arvutuslik soojusjuhtivus	Veeauru difusioonitakistustegur
	λ W/(mK)	μ kuiv
Silikaattellis [10]	1,1	20
Kuusepuit [9]	0,13	40
Puitkiudplaat tihedusega ca 600kg/m ³ [10]	0,14	20
Saepuru [10]	0,08	3,1
Laudis	0,13	40
PVC fassaadikattematerjal [10]	0,05	50000
Puitplaat/OSB [11]	0,13	50
EPS 200 [12]	0,033	60
Kivipuistevill [13]	0,041	1
Mineraalvill [14]	0,033	1
Alumiinium [15]	209	∞
Aurutõkke kile [16]	0,17	60000
Betoon, keskmise tihedusega [10]	1,15	100
Lubiliivkrohv [10]	0,8	10
Õhkvahe 100 mm, tuulutamata [17]	$R = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W}$	1

„Seinade konstrueerimisel kehtib rusikareegel: seinakihtide aurutakistused peavad seest väljapoole vähenema. See tähendab, et väljaspool oleva kihi aurutakistus ei tohi olla sisemise omast suurem. [9]“ Reeglist kinnipidamiseks ei oma tähtsust, kui suur on seina summaarne aurutakistus. Kogu seina aurutakistus koosneb üksikute kihtide aurutakistuse summast: [9]

$$S_d = S_{d1} + S_{d2} + S_{d3} + \dots + S_{dN} \quad (4.21)$$

Glaseri meetod võimaldab programme kasutamata välja arvutada kondensvee tekkeohu. Partiaalarõhk ehk veeauru osarõhk ruumis tuleneb valemist [9]

$$P = P_s \cdot \varphi \quad (4.22)$$

kus P_s küllastunud aururõhk, Pa,
 φ relatiivne õhuniiskus, %.

Materjalikihi veeauru difusioonitakistus johtub valemist [9]

$$\frac{1}{\Delta} = \mu \cdot s \cdot \frac{1}{\delta_L}, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (4.23)$$

kus μ difusioonitakistuskonstant,
 s ehitusmaterjali kihi paksus, m,
 δ_L õhu aurujuhtivusväärtus, kg/(mhPa).

δ_L on seotud ümbritseva õhu temperatuuriga, aga antud arvutustes võib seda võtta kui konstanti:[9]

$$\delta_L \approx 0,68 \cdot 10^{-6}, \frac{kg}{mhPa} \quad (4.24)$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seina korral on [9]

$$\frac{1}{\Delta} = \sum(\mu_n \cdot s_n) \cdot 1,5 \cdot 10^6, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (4.25)$$

kus $\sum(\mu_n \cdot s_n)$ difusioonitakistuskonstandi ja seinakihi aurutakistuste summa

Veeauru difusioonivoog i johtub sisemisest p_i ja välimisest p_a partiaalarõhkudest järgnevalt: [9]

$$i = \frac{p_i - p_a}{1/\Delta}, \frac{kg}{m^2 h} \quad (4.26)$$

kus p_i sisemine partiaalarõhk, Pa,
 p_a välimine partiaalarõhk, Pa,
 $1/\Delta$ mitmekihilise seina veeauru difusioonitakistus, m²hPa/kg.

Difusiooniarvutuse eesmärk on kindlaks teha, kas difusiooni tõttu tekib konstruktsiooni kondensvett või ei. Kondensvee tekkimisel on oluline, et see ei tohi kahjustada seinakonstruktsioone ja soojustusmaterjale. Selle saavutamiseks tuleb jälgida, et (vastavalt DIN 4108-3) [9]

- kondenseerumisperiodil tekkiv kondensvesi peab kuivamisperiodil välja kuivama;
- konstruktsioon ei tohi kondensvee tõttu kahjustatud saada (korrosioon, seened);
- kondensvee kogus ei tohi olla rohkem kui 1,0 kg/m²;
- kapillaarselt mitteimavate ehitusainete puhul on kondensvee koguseline piirang 0,5 kg/m²;
- puidu puhul on piiranguks niiskusesisaldus 5%, puidust ehitusmaterjalide korral 3%.

Arvutuste puhul arvesse võetavad raamtingimused on järgnevad (DIN 4108-3 järgi): [9]

Kondenseerumisperiodil (t_T) on väliskliima temperatuur $t = -10^\circ\text{C}$ ja suhteline niiskus $\text{RH} = 80\%$; sisekliima tingimused on temperatuur $t = +20^\circ\text{C}$ ja suhteline niiskus $\text{RH} = 50\%$.

Periodi pikkus 60 päeva ehk 1440 h, kuid Eesti tingimustes võiks see periood olla pikem – 3 kuud – 90 päeva ehk 2160 h.

Aurumisperiodil (t_v) on seinte ja mitte vastu katust olevate lagede puhul väliskliima tingimused $t = +12^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 70\%$; sisekliima puhul $t = +12^\circ\text{C}$, rel. niiskus 70%; Kondenseerumiskoha kliima $t = +12^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 100\%$ ning perioodi pikkus on 90 päeva ehk 2160h.

Vastu katust asetsevate laegade puhul on aurumisperiodil (t_v) väliskliima tingimused $t = +12^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 70\%$ ning katusepinna temperatuur $t = +20^\circ\text{C}$; sisekliima $t = +12^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 70\%$;

Kondenseerumiskoha kliima vastavalt temperatuurikõverale ning suhteline niiskus $\text{RH} = 100\%$. Nagu seinade ja mitte vastu katust olevate tarindite puhul on perioodi pikkus 90 päeva ehk 2160 h.

Kondensvee kogus W_T on arutatav valemiga [9]

$$W_T = t_T \cdot (i_i - i_a), \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (4.27)$$

Kus t_T kondenseerumisperiod (h),

i_i difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda tuleb valemist [9]

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{1/\Delta_i}, \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{h}} \quad (4.28)$$

Kus p_i sisemine partsiaالرّhk, Pa,

p_a välimine partsiaالرّhk, Pa,

$1/\Delta_i$ mitmekihilise seina veeauru difusioonitakistus, $\text{m}^2\text{hPa/kg}$.

i_a difusioonivoo tihedus kondenseerumiskiirkonnast välja tuleneb valemist: [9]

$$i_a = \frac{p_{sw} - p_a}{1/\Delta_a}, \frac{kg}{m^2h} \quad (4.29)$$

kus p_{sw} kondenseerumispunkti rõhk, Pa,
 p_a välimine partsiaalrõhk, Pa,
 $1/\Delta_a$ mitmekihilise seinä veeauru difusioonitakistus, m^2hPa/kg .

Kuivava vee kogus saadakse valemist: [9]

$$W_v = t_v (i_i + i_a), \frac{kg}{m^2} \quad (4.30)$$

kus t_v kuivamisperiood, h.

i_i difusioonivoo tihedus kondenseerumiskiirkonnast ruumi sisse tuleneb valemist: [9]

$$i_i = \frac{p_{sw} - p_i}{1/\Delta_i}, \frac{kg}{m^2h} \quad (4.31)$$

kus p_i sisemine partsiaalrõhk, Pa,
 p_{sw} kondenseerumispunktis olev rõhk, Pa,
 $1/\Delta_i$ mitmekihilise seinä veeauru difusioonitakistus, m^2hPa/kg .

i_a difusioonivoo tihedus kondenseerumiskiirkonnast välja tuleneb valemist [9]

$$i_a = \frac{p_{sw} - p_a}{1/\Delta_a}, \frac{kg}{m^2h} \quad (4.32)$$

kus p_{sw} kondenseerumispunkti rõhk, Pa,
 p_a välimine partsiaalrõhk, Pa,
 $1/\Delta_a$ mitmekihilise seinä veeauru difusioonitakistus, m^2hPa/kg .

Kui kondenseerumine on toimunud mitmes tasandis või kihis tervikuna, tuleb kõik kihid arvutada eraldi. [9]

Kondenseerunud vee kogus on aktsepteeritav, kui $W_T < 1,0 \text{ kg/m}^2$ (või kapillaarselt mitteimavate materjalide puhul $0,5 \text{ kg/m}^2$), ja lisaks $W_v > W_T$. [9]

4.3 Termovisioon

Termovisiooni teostati FLIR E6 seadmega, mis võimaldab teha termofotosid. Seade töötab vahemikus -20°C kuni $+250^{\circ}\text{C}$ ning mõõtmistäpsus on $\pm 2^{\circ}\text{C}$ või $\pm 2\%$ juhul kui keskkonna temperatuur on $+10^{\circ}\text{C}$ ja $+35^{\circ}\text{C}$ vahel ning objekti temperatuur ületab 0°C . [18]



Joonis 4.1. Flir E6 [18]

Termokaamera kasutamise puhul võivad tulemust mõjutada ilmastikutingimused, temperatuur, kaugust objektist ning õhuniiskus. [19]

Termofotode abil on võimalik, kasutades temperatuuriindeksi valemit, hinnata külmasildade kriitilisust ja kondenseerumisriski.

Temperatuuriindeks f_{Rsi} on leitav valemist: [20]

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (4.33)$$

kus	f_{Rsi}	temperatuuriindeks,
	t_{si}	sisepinna temperatuur, $^{\circ}\text{C}$,
	t_i	siseõhu temperatuur, $^{\circ}\text{C}$,
	t_e	välisõhu temperatuur, $^{\circ}\text{C}$,
	R_T	piirdetarindi kogusoojustakistus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$,
	R_{si}	piirdetarindi sisepinna soojustakistus, tabelist 4.1, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$.

Termograafilisel mõõdistamisel on võimalik vajaminevad temperatuuri mõõta ning seejärel hinnata külmasildade kriitilisust. Temperatuuriindeksi väärtus peab olema suurema, kui tabelis 4.3 toodud. [20]

Tabel 4.3. Niiskustehniliselt turvalised temperatuuriindeksite piirväärtused Eestis [20].

Niiskukoormus	Temperatuuri indeksi piirsuurus	
	Hallituse vältimine	Kondenseerumise vältimine
Talve keskmine niiskuslisa $\Delta v \leq 2 \text{ kg/m}^3$ (madala asustusega ja korralikult toimiva ventilatsiooniga elamud)	0,65	0,55
Tiheda asustusega ja rahuldavalt või puuduliku ventilatsiooniga elamu	0,8	0,7

5. HOONE OLUKORRA ANALÜÜS

5.1 Hoone välispiirete soojusjuhtivuse arvutuse tulemused

5.1.1 Välisseinad

Aia 8 hoone välissein on esimese korruseosa fassaad kaetud tellisvoodriga. Hoone otsaseintes on maja teise korruse osa kaetud PVC laudadest voodriga. Lähteandmed arvutuste tegemiseks tulenevad hoone kirjeldusest ning tabelist 4.1 ning tabelist 4.2. Hoone konstruktsioonis on tuulutatav õhkvahe, mistõttu soojusjuhtivuse arvutused on tehtud kihtidele, mis asuvad õhkvahest seespool.

Hoone kirdesein on kaetud täies ulatuses silikaattellisega (joonis 3.5). Kasutades valemit (4.2), leitakse tellisega kaetud seina soojustakistus soojustuse sektsioonis.

$$R_{\text{soojustus sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,1}{0,08} + \frac{0,01}{0,14} + 0,13 = 1,7 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.2), leitakse tellisega kaetud seina soojustakistus sõrestiku sektsioonis.

$$R_{\text{sõrestik sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,1}{0,13} + \frac{0,01}{0,14} + 0,13 = 1,29 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse tellisega kaetud seina kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus.

$$R'_T = \frac{350+50}{\frac{350}{1,7} + \frac{50}{1,29}} = 1,64 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.8), leitakse mittehomogeense piirdetarindi soojustusekihi soojustakistus:

$$R_{\text{soojustus+sõrestik}} = \frac{350+50}{\frac{350}{\frac{0,1}{0,08} + \frac{0,1}{0,13}} + \frac{50}{1,16}} = 1,16 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.7), leitakse tellisega kaetud seina kogusoojustakistuse alumine piirväärtus.

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + 1,16 + \frac{0,01}{0,14} + 0,13 = 1,68 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse tellisega kaetud seina piirdetarindi kogusoojustakistus.

$$R_T = \frac{1,64+1,68}{2} = 1,66 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga (4.9)

$$e = \frac{1,64-1,68}{2 \cdot 1,66} \cdot 100\% = 15\%$$

Piirde soojuslähivus arvutatakse valemiga ning ümardatakse (4.1).

$$U = \frac{1}{1,66} = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Hoone otsaseinad on kagu ja loode suunas. Otsaseintes, pindalaga 59,04 m², on 21,60 m² silikaattellisfassaadiga ning 37,44 m² PVC fassaadlauaga kaetud. Kuna hoone seintes on aga tuulutatavad õhkvahed, siis on kõik tarindi soojalähivusarvutused ja nende tulemused identsed nii tellisfassaadiga kui ka PVC fassaadiga osadel.

Hoone edelasein on tellisfassaadiga sein. Lisaks on edelaseinas kütmata esikuosa. Esikuosa üldpind on 7,25 m² ning ruumala 9,10 m³.

Esiku soojustakistus arvutatakse valemiga (4.5)

$$R_u = \frac{7,25}{(13,15 \cdot 2) + 0,33 \cdot 9,10 \cdot 3} = 0,22 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Seega on edelaseina kogusoojustakistus valemist (4.2)

$$R_T = 1,66 + 0,22 = 1,88 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

Edelaseina soojuslähivus arvutatakse valemist (4.1)

$$U = \frac{1}{1,88} = 0,53 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Tabel 5.1. Hoone välisseinade soojuslähivuse hindamine

	Soojusjuhtivus U W/(m ² K)	Miimumnõuded [2]
Hoone otsaseinad kagu ja loode suunas ja kirdesein	0,60	0,12–0,22 W/(m ² ·K) ≤0,5 W/m ² K (soojuslik mugavus)
Hoone edelasein, sh kütmata esik	0,53	

Tabelist 5.1 johtub, et hoone välisseinad ei vasta energiatõhususe miinimumnõudele soojuslähivuse osas ning määrusest tulenev $\leq 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ nõue, mis tagab soojusliku mugavuse, ei ole samuti täidetud. [2]

5.1.2 Aknad

Hoonel on kasutatud kahekordse klaaspaketiga puitaknaid, mida on neljas erinevas mõõdus. Aknad on ette pandud 2000ndate alguses. Kuna tegu on eritellimusel akendega, siis on arvutustes aluseks võetud samalaadse akna andmed, kus lengi- ja raamiosa $U_r = 1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ning $U_k = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. [21] Antud töös kasutatakse Hoone energiatõhususe arvutamise meetoodika määrusest tulenevat lisakonduktantsi $\Psi_k = 0,05 \text{ W/(mK)}$ [7].

Esimese korruse aknad, väljaarvatud kolm akent, on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,8 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 0,2 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 3,2 \text{ m}$.

Kasutades valemit (4.10)

$$U_a = \frac{1,3 \cdot 0,8 + 1,7 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 3,2}{0,8 + 0,2} = 1,54 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Esimese korruse köögiaken on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,12 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 0,2 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 1,6 \text{ m}$.

$$U_a = \frac{1,3 \cdot 0,12 + 1,7 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 1,6}{0,12 + 0,2} = 1,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Esimese korruse aknad koridoris ning tualetis on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,02 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 0,1 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 0,6 \text{ m}$.

$$U_a = \frac{1,3 \cdot 0,02 + 1,7 \cdot 0,1 + 0,05 \cdot 0,6}{0,02 + 0,1} = 1,88 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Teise korruse aknad on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,95 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 1,0 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 3,9 \text{ m}$.

$$U_a = \frac{1,3 \cdot 0,95 + 1,7 \cdot 1 + 0,05 \cdot 3,9}{0,95 + 1,0} = 1,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Akende soovituslikud soojuslähivused on $U = 0,6 - 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. [2] Antud juhul on tegu juba millenniumi algusaastatel vahetatud akendega ning see kajastub ka arvutustulemustes.

5.1.3 Uksed

Hoone väliskukse on 0,05 m paksune alumiiniumuks, mis autorile teadaolevalt on seest vahuga täitmata. Ukselehe paksus on 0,005 m, nende vahel asub tuulutamata õhkvahe. Valemit (4.2) kasutades saadakse

$$R_t = 0,04 + \frac{0,005}{209} + 0,11 + \frac{0,005}{209} + 0,13 = 0,28 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Valemist (4.1) johtuvalt

$$U = \frac{1}{0,28} = 3,57 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Uste soovituslikud piirnomid on 0,6-1,1 W/(m²K) [2], mis käesoleva ukse puhul ei ole täidetud. Samas on tulemus eeldatav, kuna tegu on 21. sajandi alguses paigaldatud uksega, mis ei ole soojustatud.

5.1.4 Katuse – külm pööning

Käsitletava hoone katuse puhul on oluline märkida, et tegu on plekk-katusega, millel on pleki alla paigaldatud hüdroisolatsioonikile ning pööningu vahelagi on prussist tehtud lagi (joonis 3.8). Arvutustes on kasutatud standardist EVS 908-1:2016 väärtust plekkmaterjalist katuse puhul, mis on 0,2.

Kasutades valemit (4.2), leitakse pööning põranda soojustakistus soojustuse sektsioonis.

$$R_{\text{soojustus sektsioon}} = 0,10 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,18}{0,08} + \frac{0,03}{0,13} + 0,04 = 2,81 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.2), leitakse pööningu põranda soojustakistus sõrestiku sektsioonis.

$$R_{\text{sõrestik sektsioon}} = 0,10 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,18}{0,13} + \frac{0,030}{0,13} + 0,04 = 1,94 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse tellisega kaetud seinaga kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus.

$$R'_T = \frac{350+50}{\frac{350}{2,81} + \frac{50}{1,94}} = 2,66 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.8), leitakse mittehomoogeense piirdetarindi soojustusekihi soojustakistus:

$$R_{\text{soojustus+sõrestik}} = \frac{350+50}{\frac{350}{\frac{0,18}{0,08} + \frac{0,18}{0,13}} + \frac{50}{1,94}} = 2,09 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemite (4.7), leitakse pööningu põranda kogusoojustakistuse alumine piirväärtus.

$$R_T'' = 0,10 + \frac{0,025}{0,13} + 2,09 + \frac{0,030}{0,13} + 0,04 = 2,65 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemite (4.4), leitakse pööningu põranda piirdetarindi kogusoojustakistus.

$$R_{T\text{vahelagi}} = \frac{2,62+2,65}{2} = 2,635 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga (4.9)

$$e = \frac{2,62-2,65}{2 \cdot 2,635} \cdot 100\% = 6\%$$

Katuse kogusoojustakistus tuleneb valemist (4.2).

$$R_T = 2,635 + 0,2 = 2,835 \text{ m}^2\text{K/W}$$

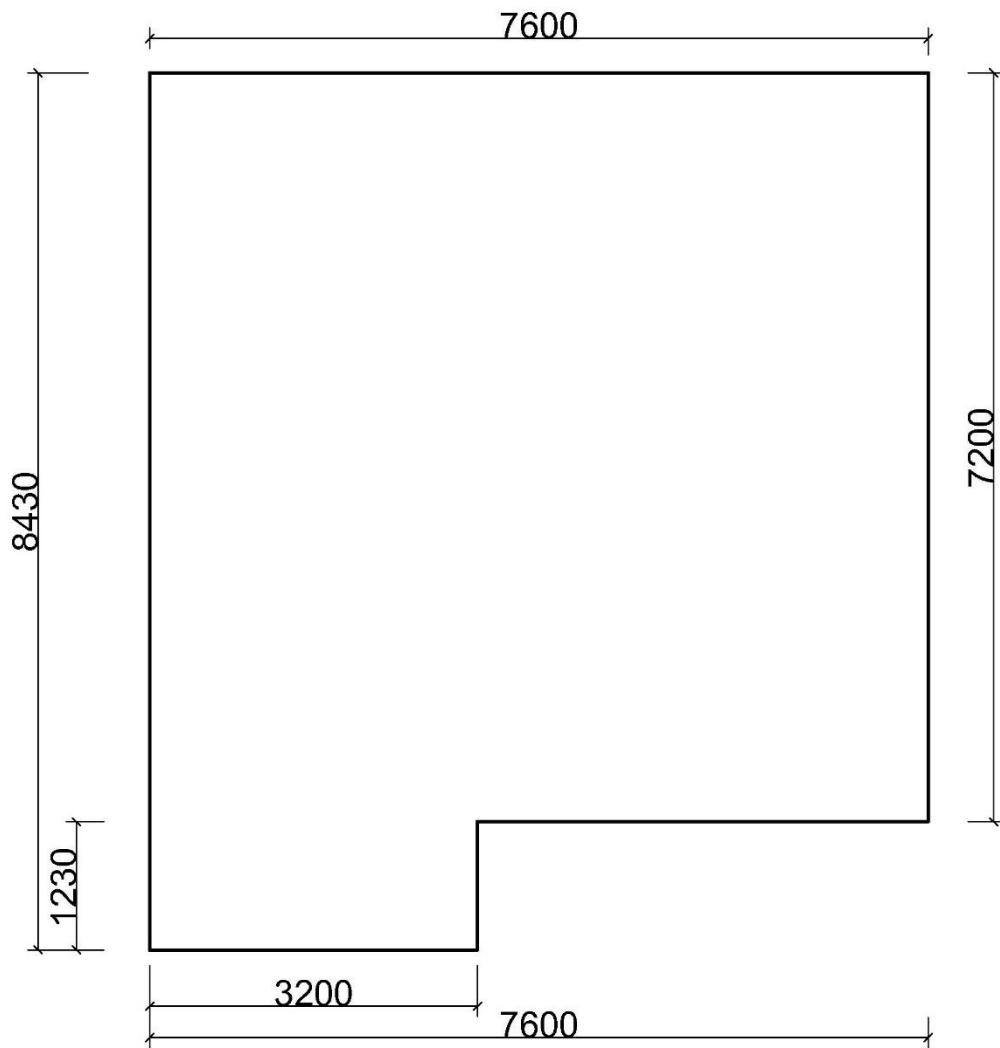
Kasutades valemite (4.1) leitakse

$$U = 1/2,835 = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Katuse soovituslik soojusläbivus vastavalt miinimumnõuetele on 0,1-0,15 W/(m²K) [2] ja praegu katus sellele ei vasta. Kuna tegu on halvasti soojustatud piirdega, oli tulemus ootuspärane.

5.1.5 Põrand kütmata keldri kohal

Keldri pindala A on 28,10 m², avatud perimeeter P on 32,24 m (joonis 5.1) ja sisekubatuur V on 50,58 m³. Keldri sügavus z maapinna suhtes on 1,30 m. Põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes on 0,15 m. Keldriseinte paksus w on 0,50 m (470 mm keskmise tihedusega betoon, krohv 30 mm). Keldri lae paksus on 0,275 m (puitplaat 0,015 m ; 0,20 m puittalad, mille vahel 0,20 m saepuru; 0,03 m puitlaudis; 0,02 m alusvaip ; 0,01 m laminaatparkett (joonis 3.3)).



Joonis. 5.1 Hoone keldri ja põranda skeem

Keldri põranda tunnusmõõt valemist (4.17)

$$B' = \frac{28,10}{0,5 \cdot 32,24} = 1,47 \text{ m}$$

Pinnasel asuva põranda kogupaksus d_t tuleneb valemist (4.18)

$$d_t = 0,15 + 2,0(0,17 + 0 + 0,04) = 0,53 \text{ m}$$

Keldri seinte soojustakistus tuleneb valemist (4.2)

$$R_{w;b} = \frac{0,47}{1,15} + \frac{0,03}{0,8} = 0,45 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Keldriseinte paksus tuleneb valemist (4.19)

$$d_{w;b} = 2,0(0,13+0,45+0,04) = 1,24 \text{ m}$$

Välisõhu kohal asuva pöranda (keldri lae) soojustakistus leitakse valemit (4.2) kasutades.

$$R_{\text{soojustus sektsioon}} = 0,04 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,2}{0,08} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,02}{0,10} + \frac{0,01}{0,48} + 0,17 = 3,80 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.2), leitakse pöranda soojusjuhtivus sõrestiku sektsioonis.

$$R_{\text{sõrestik sektsioon}} = 0,04 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,02}{0,10} + \frac{0,01}{0,48} + 0,17 = 2,70 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse pöranda kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus.

$$R'_T = \frac{\frac{350+50}{350} \cdot 3,80 + \frac{50}{2,70}}{\frac{350}{350} + \frac{50}{2,70}} = 3,62 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.8), leitakse mittehomoogeense piirdetarindi soojustusekihi soojustakistus.

$$R_{\text{soojustus+sõrestik}} = \frac{\frac{350+50}{350} \cdot 3,80 + \frac{50}{2,70}}{\frac{0,2}{0,08} + \frac{0,2}{0,13}} = 2,31 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.7), leitakse pöranda kogusoojustakistuse alumine piirväärtus.

$$R''_T = 0,04 + \frac{0,015}{0,13} + 2,31 + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,02}{0,10} + \frac{0,01}{0,48} + 0,17 = 3,61 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse pöranda piirdetarindi kogusoojustakistus.

$$R_T = \frac{3,62+3,61}{2} = 3,62 \text{ m}^2\text{K/W} = R_{f;b}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga (4.9)

$$e = \frac{3,62-3,61}{2 \cdot 3,62} \cdot 100\% = 0,1\%$$

Vastavalt valemile (4.1) saab leida pöranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivuse.

$$U_{f;b} = 1/3,62 = 0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kuna $dt+0,5z = 0,53+0,5 \cdot 1,3 = 1,18 < B' = 2,85$, siis keldripöranda soojusjuhtivus tuleneb valemist (4.14)

$$U_{f;b} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 1,47 + 0,53 + 0,5 \cdot 1,3} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot 1,47}{0,53 + 0,5 \cdot 1,3} + 1\right) = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Keldriseina soojusjuhtivuse leidmiseks kasutatakse valemit (4.15)

$$U_{wg;b} = \frac{2 \cdot 2,0}{\pi \cdot 1,3} \left(1 + \frac{0,5 \cdot 0,53}{0,53 + 1,3}\right) \cdot \ln\left(\frac{1,3}{1,24} + 1\right) = 0,804 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Vasvavalt valemile (4.1), tuleneb keldriseina soojusjuhtivus.

$$U_{f;sus} = 1/(0,17+0,45+0,04) = 1,52 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Valemist (4.6) saadakse pöranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus.

$$U_w = 1/(0,13+0,45+0,17) = 1,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Seega on võimalik välja arvutada kütmata keldri soojuslääbivus valemist (4.11)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,27} + \frac{28,10}{(28,10 \cdot 1,10) + (1,3 \cdot 32,24 \cdot 0,804) + (0,1 \cdot 32,24 \cdot 1,33)(0,33 \cdot 0,3 \cdot 50,58)} = \frac{1}{0,27} + \frac{28,10}{73,9} = 4,08$$

Seega keldrilae (I korruse pörand) $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Sarnaselt katustele on ka pörandate miinimumnõuded $0,1-0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [2], millele praegu hoone pörand ei vasta. Pörandatalade vahel paikneva saepuru soojatakistus on kindlasti ka ajas vähenenud, mistõttu võib oletada, et soojuslääbivus on veel suurem.

5.1.6 Aastane soojuskadu

Käesolev hoone asub II, Tartu tsoonis. Tasakaalu temperatuuri 17°C puhul on kraadpäevi 4295. [22] Aastase soojuskao arvutustel on aluseks võetud Hoone energiatõhususe arvtamise meetodika, mille kohaselt täpsemate andmete puudumisel kasutatakse vastavalt tabelile 5.2 toodud joonkülmasildade väärtusi. [7]

Tabel 5.2. Joonkülmasildade väärtused [7].

	Tarindi liitekohta joonsoojuslääbivus ψ , $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$	
	Olemasolev hoone	Rekonsrueeritav hoone
Välisseina välisnurk	1,0	0,5
Välisseina sisenuk	0,3	-0,2
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,9	0,2
Välisseina ja vahelae liitekoht	0,8	0,3

Tabel 5.2. Järg. [7].

	Tarindi liitekohta joonsoojustlääbivus ψ , W/(m·K)	
	Olemasolev hoone	Rekonstrueeritav hoone
Katuse ja välisseina liitekoht	0,4	0,4
Põrand välisõhu kohal	0,4	0,4
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruksiooni kihis)	0,5	0,4

Hoone õhuleketest tekkiva soojuskao määramiseks kasutatakse samuti Hoonete energiatõhususe arutamise meetodikast tulenevat hoone õhulekete baasväärtust, mis olemasoleva väikeelamu puhul on 9.

Välispiirde summaarne soojuserikadu tuleneb lisa 3 tabelist 3.1, $\sum AU = 292,8$ W/K.

Sellest johtuvalt on võimalik arvutada aastane soojuskadu läbi piirde

$$Q = \sum AU \cdot \text{kraadipäevad} \cdot 24h = 292,8 \cdot 4295 \cdot 24 = 30\,181 \text{ kWh}$$

Välispiirde summaarne köetava pinna soojuserikadu tuleneb lisa 3 tabelist 3.1, olles $2,91$ W/(m²K), millest johtuvalt saab arvutada aastase soojuskao köetava pinna ruutmeetri kohta.

$$Q = 2,91 \cdot 4295 \cdot 24 = 300 \text{ kWh/(m}^2/\text{a)}$$

Antud tulemus on üle 1,7 korda suurem, arvestamata seadmetest, valgustusest, ventilatsioonist ja jahutusest tingitud kulusid, kui energiatõhususe miinimumnõudena on ette nähtud 180 kWh/m².

[2] Sellest saab järeldada, et eramu välispiirdetarindid vajaksid soojustamist.

5.2 Kondenseerumisrisk ja väljakuivamise arvutusi Glaseri meetodil

Arvutustes kasutatakse tabelis 4.1 toodud ehitusmaterjalide difusioonikonstante ja aurutakistusi.

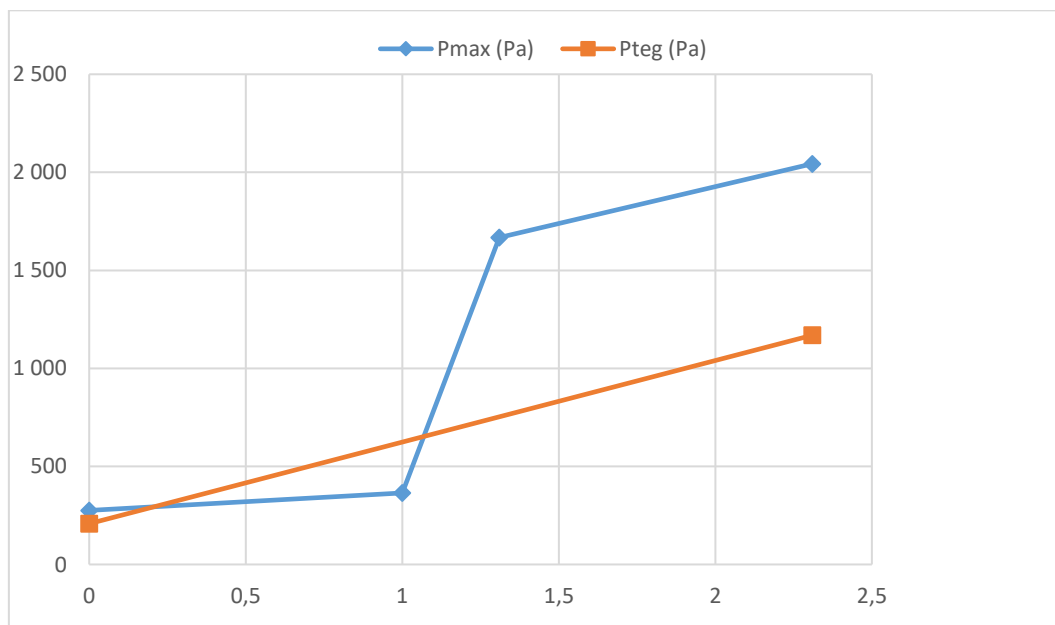
5.2.1 Välissein

Kliimatingimused, mille põhjal arvutused teostakse on järgnevad: temperatuur $t = 20^{\circ}\text{C}$ ja suhteline õhuniiskus RH 50%, millest johtuvalt saab arvutada $p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \text{ Pa}$. Hoonest väljas on tingimuseks $t = -10^{\circ}\text{C}$ ja RH 80%, millest järelduvalt $p_a = 0,5 \cdot 259,7 = 208 \text{ Pa}$. Kondenseerumisperiood on 90 päeva ehk 2160 h.

Kondenseerumispunkti väärtus graafikust ja tabelist $p_{sw} = -5,86^{\circ}\text{C} = 373 \text{ Pa}$.

Tabel 5.3. Välisseina kondenseerumise arvutustabel

Pööningu pörand				välist sisetemp								
				-10			20				P _{max} (Pa) S _d summa	
Tarindi osa	kihi paks	lambda	R	%R	delta t	-10		μ	S _d	P _{teg} (Pa)	260	
Välispind			0,04	2,38	0,71	-9,29				207,9	277	0
laudis	0,025	0,13	0,19	11,42	3,43	-5,86	välisõhk	40	1	373		1
saepuru	0,1	0,08	1,25	74,24	22,27	16,41	välispind	3,1	0,31	1 867		1,31
kiudplaat	0,01	0,14	0,07	4,24	1,27	17,68	vahel	20	0,2	2 024		1,51
Sisepind			0,13	7,72	2,32	20,00	sisepind			1169,1	2 338	
		R(m2K)/W	1,68	100,00					1,51			
		U W/m2K	0,59					veeauuru osarõhud sees ja väljas				
								2 338	260			
								50	80			
								1169,1	208	961,19		



Joonis 5.2 Välisseina kondenseerumise graafik

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihise seina korral valemiga (4.25)

$$(0,31+0,2) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 0,77 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2 \text{hPa}}{\text{kg}}$$

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.28)

$$i_i = \frac{1169 - 373}{0,77 \cdot 10^6} = 1033,8 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{hm^2}$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihise seinaga korral valemiga (4.23)

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

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.29)

$$i_a = \frac{373 - 208}{1,5 \cdot 10^6} = 110 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{hm^2}$$

Kondenseerunud vee kogus vastavalt valemile (4.27)

$$W_T = 2160 \cdot (1033,8 - 110) \cdot 10^{-6} = 1,9 \frac{kg}{m^2}$$

Kondenseerumisel tekkiva vee tingimus

$$W_T = 1,9 \frac{kg}{m^2} > 1,0 \frac{kg}{m^2}$$

Kliimatingimused väljakuivamisperioodil sees $t = 12^\circ C$ ja RH 70%, seega $p_i = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$ Pa, ning väljas $t = 12^\circ C$ ja RH 70%, seega $p_a = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$ Pa. Kondenseerumiskoha kliima $t = +12^\circ C$, suhteline niiskus RH = 100%, sellest johtuvalt $p_{sw} = 1402$ Pa. Kondenseerumisperiood on 90 päeva ehk 2160 h.

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul valemist (4.25)

$$(0,31+0,2) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 0,77 \cdot 10^6 \frac{m^2 hPa}{kg}$$

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.31)

$$i_i = \frac{1402 - 981,4}{0,77 \cdot 10^6} = 546,2 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{hm^2}$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga korral valemiga (4.23)

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

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.32)

$$i_a = \frac{1402 - 981,4}{1,5 \cdot 10^6} = 280,4 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{hm^2}$$

Väljakuivava vee kogus valemi (4.30) põhjal

$$W_V = 2160 \cdot (546,2 + 280,4) \cdot 10^{-6} = 1,8 \frac{kg}{m^2}$$

Väljakuivamise tingimus

$$W_V = 1,8 \frac{kg}{m^2} < W_T = 1,9 \frac{kg}{m^2}$$

Väljakuivava vee hulk on väiksem kui kondenseerumisel tekkiv veehulk ning lisaks tekib seinahulk rohkem kondensvett kui $1,0 \text{ kg/m}^2$, mis tähendab, et välisseinas tekib jääkkondens, mis võib piiret kahjustada.

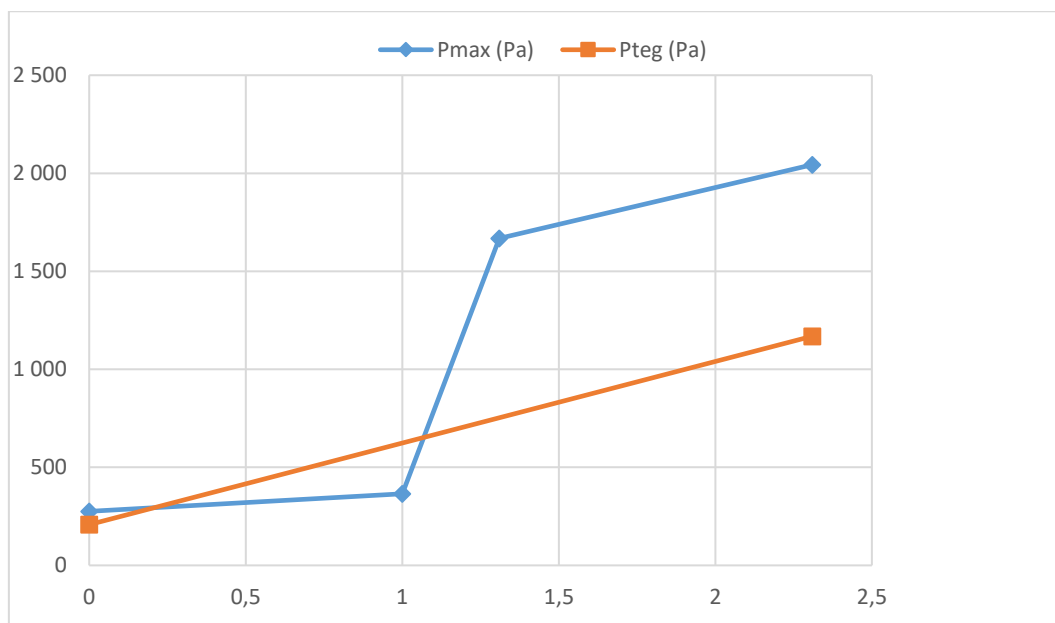
5.2.2 Pööningu pörand

Kondenseerumisperioodi kliimatingimused on ruumis sees temperatuur $t = 20^\circ\text{C}$ ja $\text{RH} = 50\%$, millest järedub $p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \text{ Pa}$. Väljas on temperatuur $t = -10^\circ\text{C}$ ja $\text{RH} 80\%$, millest järedub $p_a = 0,5 \cdot 259,7 = 208 \text{ Pa}$. Kondenseerumisperiood on 90 päeva ehk 2160 h.

Kondenseerumispunkti väärtus graafikust ja tabelist $p_{sw} = -6,14^\circ\text{C} = 364 \text{ Pa}$.

Tabel 5.4. Pööningu pörandi kondenseerumise arvutustabel

				-10		20				P _{max} (Pa)		S _d summa	
Tarindi osa	kihi paks	lambda	R	%R	delta t	-10		μ	S _d	P _{teg} (Pa)	260		
Välispind			0,04	2,22	0,66	-9,34				207,9	276		0
laudis	0,025	0,13	0,19	10,66	3,20	-6,14	välisõhk	40	1		364		1
säepuru	0,1	0,08	1,25	69,27	20,78	14,64	välispind	3,1	0,31		1 667		1,31
laudis	0,025	0,13	0,19	10,66	3,20	17,84	vahel	40	1		2 044		2,31
Sisepind			0,13	7,20	2,16	20,00	sisepind			1169,1	2 338		
		R(m2K)/W	1,80	100,00					2,31				
		U W/m2K	0,55						veeauru osarõhud sees ja väljas				
									2 338	260			
									50	80			
									1169,1	208	961,19		



Joonis 5.3. Pööningu pöranda kondenseerumise graafik

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihise seinaga korral valemiga (4.25)

$$(0,31+1) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 1,98 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2 \text{hPa}}{\text{kg}}$$

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.28)

$$i_i = \frac{1169 - 364}{1,98 \cdot 10^6} = 411,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihise seinaga korral valemiga (4.23)

$$1 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2 \text{hPa}}{\text{kg}}$$

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.29)

$$i_a = \frac{364 - 208}{1,5 \cdot 10^6} = 104 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

Kondenseerunud vee kogus vastavalt valemile (4.27)

$$W_T = 2160 \cdot (411,6 - 104) \cdot 10^{-6} = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Kondenseerumisel tekkiva vee tingimus

$$W_T = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} < 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Kliimatingimused väljakuivamisperioodil sees $t = 12^\circ\text{C}$ ja RH 70%, seega $p_i = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$ Pa, ning väljas $t = 12^\circ\text{C}$ ja RH 70%, seega $p_a = 0,7 \cdot 1402 = 981,4$ Pa. Kondenseerumiskoha kliima $t = +12^\circ\text{C}$, suhteline niiskus RH = 100%, sellest johtuvalt $p_{\text{sw}} = 1402$ Pa. Kondenseerumisperiood on 90 päeva ehk 2160 h.

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul valemist (4.25)

$$(0,31+1) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 1,98 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2 \text{hPa}}{\text{kg}}$$

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.31)

$$i_i = \frac{1402 - 981,4}{1,98 \cdot 10^6} = 212,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga korral valemiga (4.23)

$$1 \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{m}^2 \text{hPa}}{\text{kg}}$$

Difusioonivoo tihedus seestpoolt kondenseerumiskiirkonda valemist (4.32)

$$i_a = \frac{1402 - 981,4}{1,5 \cdot 10^6} = 280,4 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{hm}^2}$$

Väljakuivava vee kogus valemi (4.30) põhjal

$$W_V = 2160 \cdot (212,4 + 280,4) \cdot 10^{-6} = 1,0 \frac{kg}{m^2}$$

Väljakuivamise tingimus

$$W_V = 1,0 \frac{kg}{m^2} > W_T = 0,7 \frac{kg}{m^2}$$

Kondenseerumisel tekkiv kondensvesi kuivab kuivamisperioodil välja ning puudub oht jääkkondensi tekkeks, mis võiks ehitise pööningu pöranda konstruktsioone kahjustada. Lauad on ainult käiguteede otstarbega ja katavad pööningust ainult väikese osa.

5.3 Termovisioon

Termovisiooni mõõtmise ajal oli hoone sisemine temperatuur keskmiselt $t_i = +22 \text{ °C}$ ning välistemperatuur $t_e = -2 \text{ °C}$.

Termograafia põhjal tehtud arvutustulemused on objekti iseloomustavad, kuid kuna termograafia teostamisel on mitmeid mõjutegureid [20].

Termofotode temperatuurid annavad ülevaate hoone välispiirete pinnatemperatuuride erinevustest. Hoone välisfassaadist on üks termofoto, kuna õhkvahe puhul ei ole võimalik termovisiooniga adekvaatset pilti saada.



Termofoto 1. Hoone kagukülg.



Termofoto 2. Hoone lõunanurga seestvaade I korrusel.

Vastvalt termofotole on sisepinna temperatuuri väärtus $t_{si} = 20,8 \text{ °C}$. Kasutades valemit (4.33) on võimalik leida temperatuurindeks:

$$f_{si} = \frac{20,8 - (-2)}{22 - (-2)} = 0,95$$

Tegu on majaga madala asustusega piirkonnaga, siis arvutustulemuste võrdlemisel tabel 4.4 väärtusega on antud nurgas konsenseerumine, kui ka hallituse teke välditud.

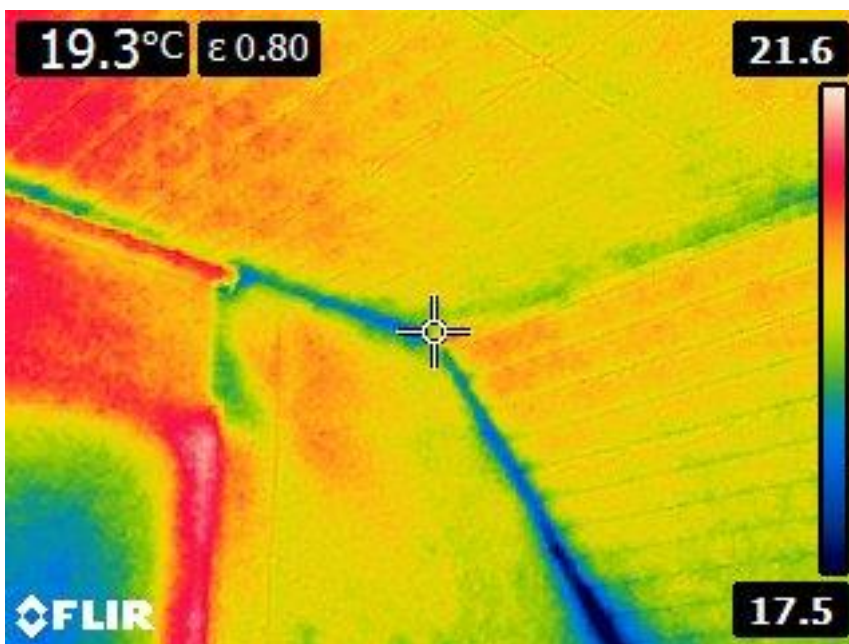


Termofoto 3. Hoone trepi ja välisseina ühenduskoht loodeseinas.

Vastvalt termofotole on sisepinnatemperatuuri väärtus $t_{si} = 15,3 \text{ °C}$. Kasutades valemit (4.33) on võimalik leida temperatuurindeks:

$$f_{si} = \frac{15,3 - (-2)}{22 - (-2)} = 0,72$$

Arvutuse põhjal on pole ka selles nurgas tegu kriitilise külmasillaga ning puudub kondenseerumisrisk ja hallituseoht.

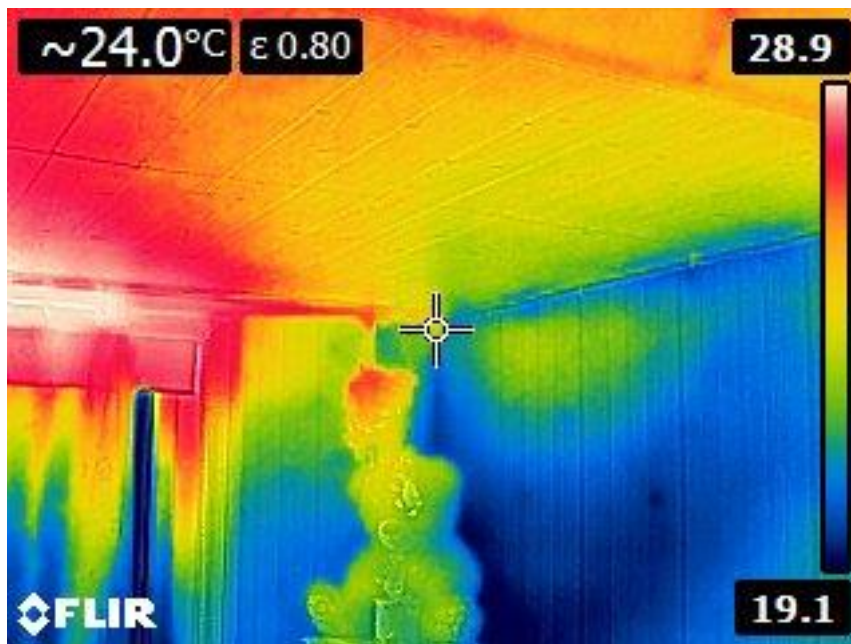


Termofoto 4. Hoone lõunanurk seestpoolt, II korrus.

Vastvalt termofotole on sisepinnatemperatuuri väärtus $t_{si} = 19,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Kasutades valemit (4.33) on võimalik leida temperatuurindeks:

$$f_{si} = \frac{19,3 - (-2)}{22 - (-2)} = 0,89$$

Arvutuse põhjal pole selles nurgas tegu kriitilise külmasillaga ning puudub kondenseerumisrisk ja hallituseoht.



Termofoto 5. Hoone edelapoolse seinä II korruse läänepoolne nurk.

Vastvalt termofotole on sisepinnatemperatuuri väärtus $t_{si} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$. Kasutades valemit (4.33) on võimalik leida temperatuurindeks:

$$f_{si} = \frac{24 - (-2)}{22 - (-2)} = 1,08$$

Arvutuse põhjal on pole ka selles nurgas tegu kriitilise külmasillaga ning puudub kondenseerumisrisk ja hallituseoht.

5.4 Kokkuvõte ja järeldused hoone olukorra kohta

Hoone välispiirete arvutustlikud soojusjuhtivused on toodud tabelis 5.4. Tabelist on näha, et hoone välispiirded vajaksid soojustamist või kaasajastamist, et parendada olukorda.

Termograafiast on näha, et hoones on mitmeid külmasildu, klassikaliselt erinevate tarindite ühenduskohtades. Temperatuurindeksi arvutuse kohaselt pole aga ükski neist kriitiline külmasild. Hoone välisfassaadist adekvaatset pilti ei saadud, kuna seinas on õhkvahe ning see moonutab tulemusi.

Tabel 5.4. Hoone välispiirete soojusjuhtivuse võrdlus

	Soojusjuhtivus U W/(m ² K)	Miimum-nõuded [2]
Hoone otsaseinad kagu ja loode suunas; hoone kirdesein	0,60	0,12–0,22 W/(m ² ·K)
Hoone edelasein, sh kütmata esik	0,53	≤0,5W/m ² K (soojuslik mugavus)
Hoone aknad	1,54-1,88	0,6-1,1 W/m ² K.
Välisuks	3,57	
Põrand	0,79	0,1-0,15 W/m ² K.
Katuslagi	0,23	

Hoone niiskustehniline olukord on pööningu konstruktsioonides hea, kuna tekkiv kondensatsioonivesi kuivab kuivamisperioodil välja. Hoone välisseintes on olukord kehv, kuna kondensatsioonivett tekib rohkem kui kuivamisperioodil välja kuivab ning lisaks on selle kogus üle normi 1,0 kg/m².

6. KÄESOLEVA TÖÖ VALMIMISE JOOKSUL TEHTUD MUUDATUSED

2017. a sügis-talvperioodil tehti hoones osalisi parendustöid. Parendustööde käigus vahetati hoone aknad ning põrandatel asendati saepuru täidis EPS200. Sellekohased arvutused on tehtud peatükkides 6.1 ja 6.2.

6.1 Aknad

Akende ja uste soovituslikud piirnormid on 0,6-1,1 W/m²K. [2] Käesoleva töö varasemas peatükis kirjeldatud lahenduse puhul on tegu 2000-ndate algusel paigaldatud akendega ning ka uks on paigaldatud umbes samal ajal. Hoone piirde soojusjuhtivuse arvutused näitasid akende ja välisukse puhul, et tegu on iganenud lahendusega. Praegu on objektile vahetatud aknad, uued aknad on kahekordsed pakettaknad, kus lengi- ja raamiosa $U_r = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ning $U_k = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Väärtused on keskmised, kuna tootja pole pakutavatel toodetel eraldi kõiki väärtusi välja toonud. Aknad on eritellimusel, kuna hoonel on mitmeid erimõõdus aknaid. [23]

Esimese korruse aknad, väljaarvatud kolm akent, on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,8 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 0,2 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 3,2 \text{ m}$.

Kasutades valemit (4.10)

$$U_a = \frac{0,5 \cdot 0,8 + 1,3 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 3,2}{0,8 + 0,2} = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Esimese korruse köögiaken on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,12 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 0,2 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 1,6 \text{ m}$.

$$U_a = \frac{0,5 \cdot 0,12 + 1,3 \cdot 0,2 + 0,05 \cdot 1,6}{0,12 + 0,2} = 1,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Esimese korruse aknad koridoris ning tualetis on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,02 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 0,1 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 0,6 \text{ m}$.

$$U_a = \frac{0,5 \cdot 0,02 + 1,3 \cdot 0,10 + 0,05 \cdot 0,6}{0,02 + 0,10} = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Teise korruse aknad on klaasiosa pindalaga $A_k = 0,95 \text{ m}^2$; lengi- ja raamiosa pindalaga $A_r = 1,0 \text{ m}^2$ ja klaasiserva perimeetri pikkus $l_k = 3,9 \text{ m}$.

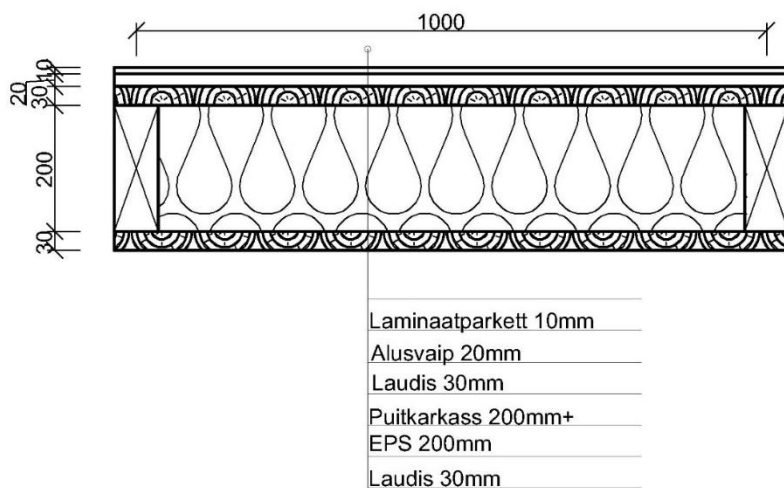
$$U_a = \frac{0,5 \cdot 0,95 + 1,3 \cdot 1 + 0,05 \cdot 3,9}{0,95 + 1,0} = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Eeltoodud arvutustest johtuvalt on näha, et akende vahetusega on akende soovituslikud normid teisel korrusel akende vahetusega saavutatud, kuid esimese korruste akende tulemused on suuremad kui soovituslike piirnormide maksimummäär. Soojuslähivuse näitajad oleks kindlasti paremad kolmekordse akna puhul, kuid käesoleval hetkel on nendega siiski olukorda veidi leevendatud.

6.2 Põrand kütmata keldri kohal

Esimese korruse põrandad on praegu soojustatud ning saepuru asendati EPS200-ga, kuid tegu on jätkuvalt kütmata keldri kohal asuvate põrandatega.

Keldri pindala A on $28,10 \text{ m}^2$, avatud perimeeter P on $32,24 \text{ m}$ ja sisekubatuur V on $50,58 \text{ m}^3$. Keldri sügavus z maapinna suhtes on $1,30 \text{ m}$. Põrandapinna keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes on $0,15 \text{ m}$. Keldriseinte paksus w on $0,50 \text{ m}$ (470 mm kesmise tihedusega betoon, krohv 30 mm). Keldri lae paksus on $0,275 \text{ m}$ (puitplaat $0,015 \text{ m}$; $0,20 \text{ m}$ puittalad, mille vahel $0,20 \text{ m}$ EPS200; $0,03 \text{ m}$ puitlaudis; $0,02 \text{ m}$ alusvaip ; $0,01 \text{ m}$ laminaatparkett (Joonis 6.1).



Joonis 6.1. Põranda/keldri lae lõige.

Keldri põranda tunnusmõõt valemist (4.17)

$$B' = \frac{28,10}{0,5 \cdot 32,24} = 1,47 \text{ m}$$

Pinnasel asuva pöranda kogupaksus d_t tuleneb valemist (4.18)

$$d_t = 0,15 + 2,0(0,17 + 0 + 0,04) = 0,53 \text{ m}$$

Keldri seinte soojustakistus tuleneb valemist (4.2)

$$R_{w;b} = \frac{0,47}{1,15} + \frac{0,03}{0,8} = 0,45 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

Keldriseinte kogu soojustakistus tuleneb valemist (4.19)

$$d_{w;b} = 2,0(0,13 + 0,45 + 0,04) = 1,24 \text{ m}$$

Välisõhu kohal asuva pöranda (keldri lae) soojustakistus leitakse valemist (4.2) kasutades.

$$R_{\text{soojustus sektsioon}} = 0,04 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,2}{0,033} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,02}{0,10} + \frac{0,01}{0,48} + 0,17 = 6,75 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemist (4.2), leitakse pöranda soojusjuhtivus sõrestiku sektsioonis.:

$$R_{\text{sõrestik sektsioon}} = 0,04 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,02}{0,10} + \frac{0,01}{0,48} + 0,17 = 2,34 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemist (4.4), leitakse pöranda kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus.

$$R'_T = \frac{350+50}{\frac{350}{6,75} + \frac{50}{2,34}} = 5,46 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemist (4.8), leitakse mittehomogeense piirdetarindi soojustusekihi soojustakistus.

$$R_{\text{soojustus+sõrestik}} = \frac{350+50}{\frac{350}{\frac{0,2}{0,033} + \frac{0,2}{0,13}} + \frac{50}{0,13}} = 4,43 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemist (4.7), leitakse pöranda kogusoojustakistuse alumine piirväärtus.

$$R''_T = 0,04 + \frac{0,015}{0,13} + 4,43 + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,02}{0,10} + \frac{0,01}{0,48} + 0,17 = 5,12 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemist (4.4), leitakse pöranda piirdetarindi kogusoojustakistus.

$$R_T = \frac{5,46+5,12}{2} = 5,29 \text{ m}^2\text{K/W} = R_{f;b}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga (9)

$$e = \frac{5,46-5,12}{2 \cdot 5,29} \cdot 100\% = 3\%$$

Vastavalt valemile (4.1) saab leida pöranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivuse.

$$U_{f;b} = 1/5,29 = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Kuna $dt+0,5z = 0,53+0,5*1,3 = 1,18 < B' = 2,85$, siis keldripöranda soojusjuhtivus tuleneb valemist (4.14)

$$U_{fg;b} = \frac{2*2,0}{\pi*1,47+0,53+0,5*1,3} * \ln\left(\frac{\pi*1,47}{0,53+0,5*1,3} + 1\right) = 1,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Keldriseina soojusjuhtivuse leidmiseks kasutatakse valemit (4.15)

$$U_{wg;b} = \frac{2*2,0}{\pi*1,3} \left(1 + \frac{0,5*0,53}{0,53+1,3}\right) * \ln\left(\frac{1,3}{1,24} + 1\right) = 0,804 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Vasvavalt valemile (4.1) tuleneb keldriseina soojusjuhtivus.

$$U_{bw} = 1/(0,17+0,45+0,04) = 1,52 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Valemist (4.6) saadakse pöranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivus

$$U_w = 1/(0,13+0,45+0,17) = 1,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Seega on võimalik välja arvutada kütmata keldri soojuslääbivus valemist (4.11)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{0,18} + \frac{28,10}{(28,10*0,18)+(1,3*32,24*0,804)+(0,15*32,24*1,33)+(0,33*0,3*50,58)} = \frac{1}{0,18} + \frac{28,10}{73,9} = 5,94$$

$$U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Saepuru asendamisega EPSiga ning vana laudise asendamine OSB plaadiga on pörandate soojuslääbivus vähenenud.

6.3 Aastane soojuskadu

Parendatud pöranda ja akende puhul on võimalik arvutada aastane soojakadu. Lisa 3 tabelist 3.2 saadakse $\sum AU = 288,2 \text{ W/K}$. Joonkülmastilla väärtused on vastavalt tabelile 5.2. Õhulekke arv on määrusele vastavalt 9. [7]

Sellest johtuvalt on võimalik arvutada aastane soojuskadu läbi piirde

$$Q = \sum AU \cdot \text{kraadipäevad} \cdot 24\text{h} = 288,2 \cdot 4295 \cdot 24 = 29\,708 \text{ kWh}$$

Välispiirde summaarne köetava pinna soojuserikadu tuleneb lisa 3 tabelist 3.2, olles $2,87 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, millest johtuvalt saab arvutada aastase soojuskao köetava pinna ruutmeetri kohta.

$$Q = 2,87 \cdot 4295 \cdot 24 = 296 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$$

See ei ole oluliselt erinev algsest 299 kWh/m^2 , seega antud parendused pole arvutuslikult tulemust andnud.

7. ETTEPANEKUD SOOJAKADUDE VÄHENDAMISEKS

Hoone aastane soojuskadu joonkülmasildu ja infiltratsiooni arvestamata on suurem, kui miinimumnõuded ette näevad. Olulist leevendust pole arvutuslikult toonud ka akende vahetus ja põrandate soojustamine, sellest johtuvalt on pakkuda lahendusi, mis olukorda parendaks. Käesolevas peatükis ei käsitleta akende parenduslahendusi, kuna need on vahetatud. Hoone soojakadude vähendamiseks võiks asendada ka praegu kasutusel oleva välisukse uue ja soojustatud ukse vastu. Soojusläbivust uksele eraldi ei arvutata, kuna see on tootja lehel antud $U = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Tegemist on metalluksega, mille sees on soojustuseks EPS (Joonis 7.1). [24]



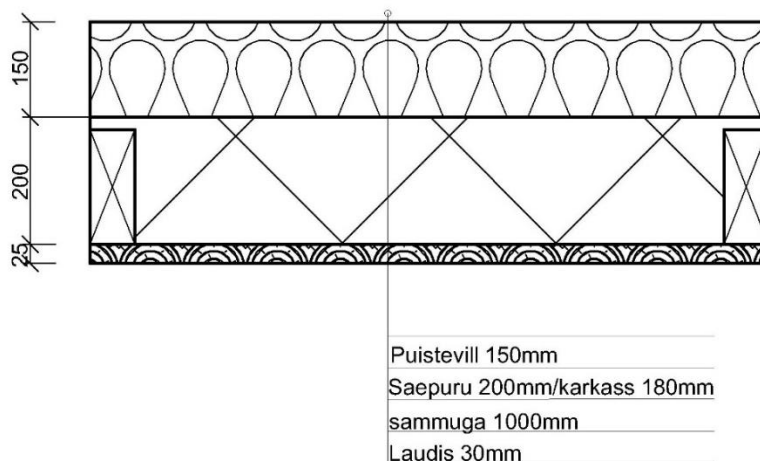
Joonis 7.1. Ukse läbilõige [23].

7.1 Katus – pööning

Praegu puudub pööningul igasugune soojustus ning sellest johtuvalt on soojuskadud suured. Üks lihtsamatest lahendustest hoone omaniku jaoks oleks pööningu soojustamine puistevillaga. Pööningu vahelae kihid jääksid samaks: laudis 0,025 m; 0,17 m puit ja 0,2 m saepuru. Kuid vana saepuru pealt võetakse käiguteed ning paigaldataks 0,15 m Paroc kivipuistevilla.



Joonis 7.2. Kütmata pööningu soojustamine puistevillaga. [24]



Joonis 7.3. Pööningu põranda lõige.

Valemit (4.2) ning 5.1.4. leitud olemasoleva pööningu põranda soojuseri juhtivust kasutades (kuna olemasolevat konstruktsiooni ei muudeta) on leitud uus soojuseri juhtivus

$$R_t = 2,815 + \frac{0,15}{0,041} + 0,3 = 6,77 \text{ W/mK}$$

Kasutades valemit (4.1) leitakse

$$U = 1/6,77 = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Antud soojusläbivus on kooskõlas energiatõhususe miinimumnõuetega. Puistevilla paigaldamine on lihtne ja seda on võimalik ka ise teostada. Kivivilla puhul on tegu materjaliga, mis soodustab saepuru kuivamist soojustuskihi all ning väheneb suhteline niiskus tarindis. Kuna kivivill on

tulekindel, siis kivivilla paigutamise saepurule luuakse tulekindel kate varasemalt tuletundlikule saepurukihile. [24]

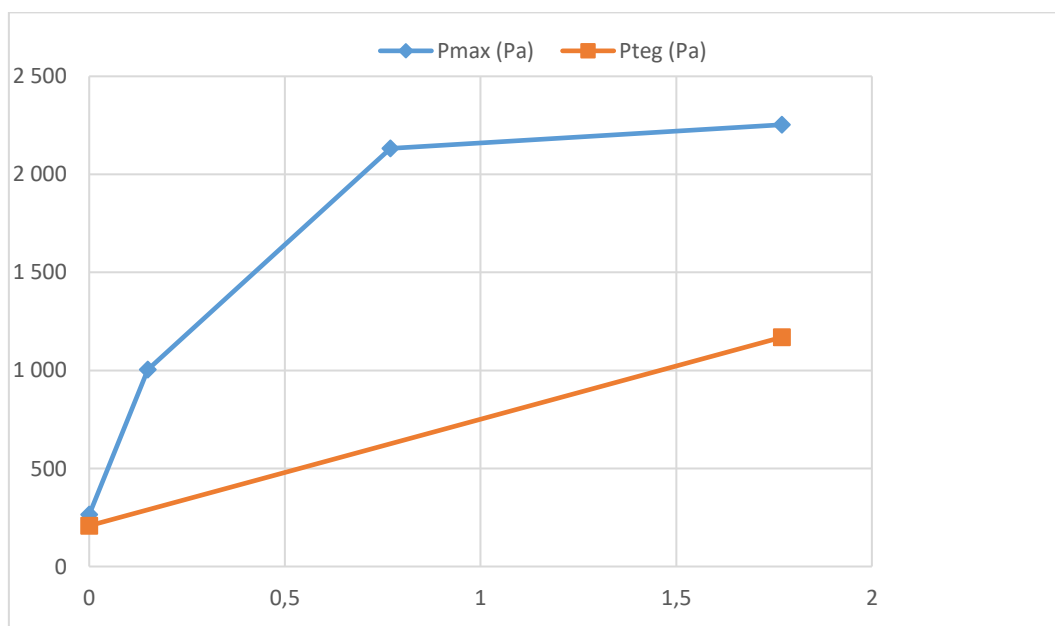
7.1.1 Pööningu parenduslahenduse kondenseerumiskond Glaseri meetodil

Kondenseerumisperioodi kliimatingimused on ruumis temperatuur $t = +20^{\circ}\text{C}$ ja suhteline õhuniiskus RH 50%, millest johtuvalt $p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \text{ Pa}$. Välistemperatuur $t = -10^{\circ}\text{C}$ ja suhteline õhuniiskus RH 80%, seega $p_a = 0,5 \cdot 259,7 = 208 \text{ Pa}$. Kondenseerumisperiood on 90 päeva ehk 2160 h.

Pööningu paranduslahenduse kondenseerumiskondi tulemused on esitatud tabelis 7.1.

Tabel 7.1. Pööningu parenduslahenduse kondenseerumise arvutustabel.

Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	-10	20				P_{\max} (Pa)	S_d summa	
Välispind			0,04	0,61	0,18	-9,82					260		
mineraalvill	0,15	0,041	3,66	56,11	16,83	7,02		välisõhk	1	0,15	1 004	0,15	
saepuru	0,2	0,08	2,50	38,34	11,50	18,52		välispind	3,1	0,62	2 132	0,77	
laudis	0,025	0,13	0,19	2,95	0,88	19,40		vahel	40	1	2 253	1,77	
Sisepind			0,13	1,99	0,60	20,00		sisepind			1169,1	2 338	
		R(m2K)/W	6,52	100,00						1,77			
		U W/m2K	0,15							veeauuru osarõhud sees ja väljas			
											2 338	260	
											50	80	
											1169,1	208	961,19

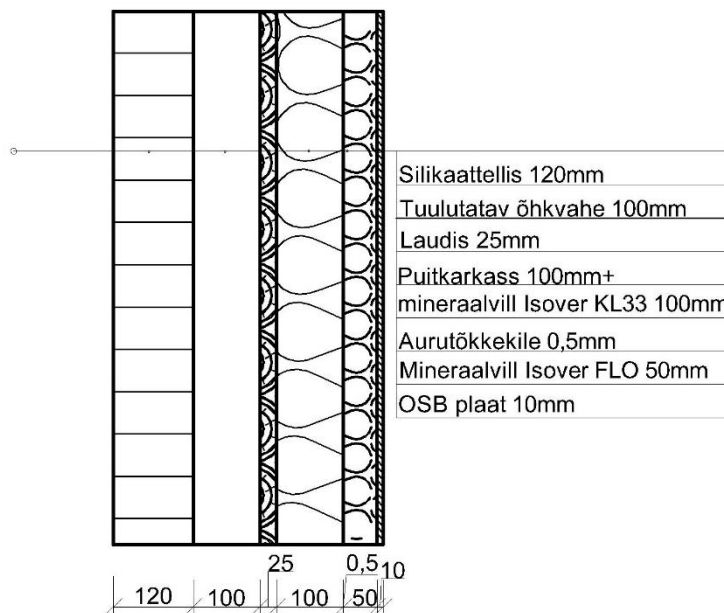


Joonis 7.4. Pööningu pööranda kondenseerumiskondi arvutuse graafik.

Arvutustabeli põhjal loodud graafikust on näha, et antud konstruktsioonis kondenseerumist ei teki ja sellest johtuvalt puudub oht, et kondensatsioonivesi võiks konstruktsiooni kahjustada.

7.2 Välisseinad

Käesolevas töös kirjeldatud hoones on fassaad peamiselt kaetud tellisega ja ositi PVC fassaadilauaga. Kuna hoone soojuslik mugavus ei ole välisseina soojuskao arvutuse põhjal tagatud, siis pakub käesoleva töö autor välja hoone seinte soojustamise seestpoolt, asendades seintes oleva saepuru Isover KL 33 mineraalvillaga, seejärel katta aurutõkkekilega, seejärel katta 50mm paksuse jäiga mineraalvillaplaadiga Isover FLO, soojuhtivusega 0,035 W/mK, paigaldada installatsioonilatt ning viimaks OSB puitlaastplaadiga (Joonis 7.5). Soojuslähivust arvutustes aurutõkkekile sisse ei arvestata, kuna tegemist on 0,5 mm paksuse kihiga ning see ei muuda soojalähivuse arvutuste tulemuste suurusjärku.



Joonis 7.5. Välisseina lõige.

Kasutades valemit (4.2), leitakse kirdeseina, mis on kaetud täies ulatuses tellisfassaadiga, soojustakistus soojustuse sektsioonis.

$$R_{\text{soojustus sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,1}{0,033} + \frac{0,05}{0,035} + \frac{0,01}{0,13} + 0,13 = 4,86 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.2), leitakse tellisega kaetud seinaga soojustakistus sõrestiku sektsioonis.

$$R_{\text{sõrestik sektsioon}} = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + \frac{0,1}{0,13} + \frac{0,05}{0,035} + \frac{0,01}{0,13} + 0,13 = 2,73 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse tellisega kaetud seinaga kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus.

$$R'_T = \frac{350+50}{\frac{350}{4,86} + \frac{50}{2,73}} = 4,43 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.8), leitakse mittehomoogeense piirdetarindi soojustusekihi soojustakistus:

$$R_{\text{soojustus+sõrestik}} = \frac{350+50}{\frac{350}{\frac{0,1}{0,033} + \frac{0,1}{0,13}} + \frac{50}{0,13}} = 2,22 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.7), leitakse tellisega kaetud seinaga kogusoojustakistuse alumine piirväärtus.

$$R''_T = 0,13 + \frac{0,025}{0,13} + 2,22 + \frac{0,05}{0,035} + \frac{0,01}{0,13} + 0,13 = 4,18 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Kasutades valemit (4.4), leitakse tellisega kaetud seinaga piirdetarindi kogusoojustakistus.

$$R_T = \frac{4,43+4,18}{2} = 4,31 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Suhteline arvutusviga arvutatakse valemiga (4.9)

$$e = \frac{4,43-4,18}{2 \cdot 4,31} = 100\% = 3\%$$

Piirde soojusläbivus arvutatakse valemiga ning ümardatakse (4.1).

$$U = \frac{1}{4,31} = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Hoone otsaseinad on kagu- ja loodesuunas. Otsaseinte piirdetarindite arvutuses on seintes õhkvahe, mistõttu õhkvahest väljaspool asuvad kihid soojusläbivuse leidmisel arvesse ei lähe ning seetõttu on hoone otsaseinte koguulatuse ja kirdeseina soojusläbivus $U = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Hoone edelaseinas asub kütmata esik. Esiku soojustakistus arvutatakse valemiga (4.5)

$$R_u = \frac{7,25}{(13,15 \cdot 2) + 0,33 \cdot 9,10 \cdot 3} = 0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Seega on edelaseina kogusoojustakistus valemist (4.2)

$$R_T = 4,31 + 0,22 = 4,53 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Edelaseina soojuslähivus arvutatakse valemist (4.1)

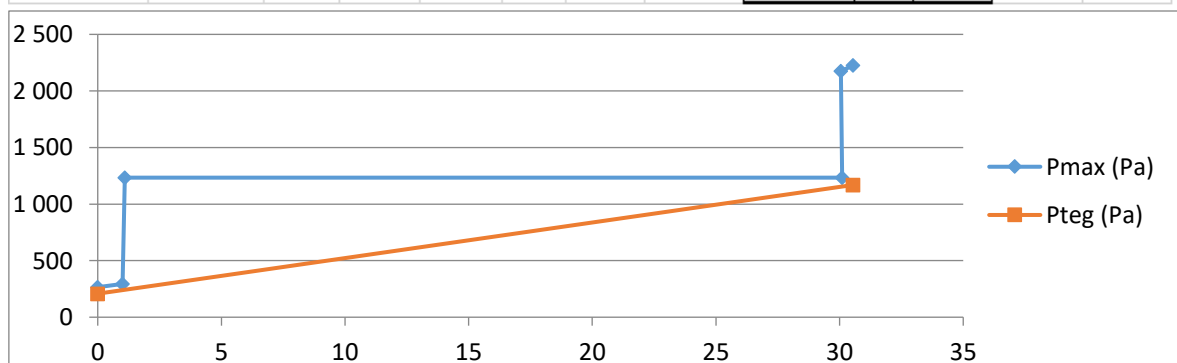
$$U = \frac{1}{4,53} = 0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

7.2.1 Välisseina kondenseerumisriski arvutus Glaseri meetodil

Kondenseerumisperioodi kliimatingimused on ruumis sees temperatuur $t = +20^\circ\text{C}$ ja suhteline õhuniiskus RH 50%, seega $p_i = 0,5 \cdot 2337 = 1169 \text{ Pa}$. Väljas on algingimusteks temperatuur $t = -10^\circ\text{C}$ ja suhteline õhuniiskus RH 80%, millest johtuvalt $p_a = 0,5 \cdot 259,7 = 208 \text{ Pa}$. Kondenseerumisperiood on 90 päeva ehk 2160 h.

Tabel 7.2. Välisseina parenduslahenduse kondenseerumise arvutustabel.

				-10		20					P_{\max} (Pa)	S_d summa
Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	-10		μ	S_d	P_{teg} (Pa)	260	
Välispind			0,04	0,82	0,25	-9,75				207,9	266	0
laudis	0,025	0,13	0,19	3,94	1,18	-8,57	välisõhk	40	1		295	1
mineraalvill	0,1	0,033	3,03	62,06	18,62	10,04	välispind	1	0,1		1 233	1,1
aurutõke	0,0005	0,17	0,00	0,06	0,02	10,06		60000	30		1 234	30,1
mineraalvill, p	0,05	0,035	1,43	29,26	8,78	18,84		1	0,05		2 176	30,05
OSB plaat	0,01	0,17	0,06	1,20	0,36	19,20	vahel	50	0,5		2 225	30,55
Sisepind			0,13	2,66	0,80	20,00	sisepind			1169,1	2 338	
			R(m2K)	4,88	100,00		siseõhk		1,6			
			U W/m ²	0,20				veeauru osarõhud sees ja väljas				
								2 338	260			
								50	80			
								1169,095	208	961,19		



7.6. Välisseina parenduslahenduse kondenseerumisriski arvutuse graafik.

Arvutustabeli põhjal loodud graafikust on näha, et selles konstruktsioonis kondenseerumist ei teki ja sellest johtuvalt puudub oht, et kondensatsioonivesi võiks konstruktsiooni kahjustada.

7.3 Aastane soojakadu

Välispiirde summaarne soojuserikadu tuleneb lisa 3 tabelist 3.3, $\Sigma AU = 163,5 \text{ W/K}$. Sellehulka on arvestatud tabelist 5.1 lähtuvad joonkülmasilla väärtused ning õhulekke arv 6, kuna tegu on parendatud lahendusega.

Sellest johtuvalt on võimalik arvutada aastane soojuskadu läbi piirde

$$Q = \Sigma AU \cdot \text{kraadipäevad} \cdot 24h = 163,5 \cdot 4295 \cdot 24 = 16\,854 \text{ kWh}$$

Välispiirde summaarne köetava pinna soojuserikadu tuleneb lisa 3 tabelist 3.3, olles $1,63 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, millest johtuvalt saab arvutada aastase soojuskao köetava pinna ruutmeetri kohta.

$$Q = 1,63 \cdot 4295 \cdot 24 = 168 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$$

Antud tulemus ei arvesta seadmetest, valgustusest, ventilatsioonist ja jahutusest tingitud kulusid, kuid jäädes siiski alla määrusest tuleneva piirmäära. Seetõttu võib oletada, et kõiki aspekte arvestades on hoone soojuskadod siiski ligilähedased määruses ettenähtud $180 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. [2]

8. KOKKUVÕTE

Käesolevas töös käsitleti Võhmas Aia 8 kinnistul asuva hoone soojakadude ja niiskustehnilise olukorra analüüsi. Töös arutati standardi EVS 908-1:2016 ja EVS-EN ISO 13370:2016 alusel hoone soojuskaod, mille tulemused on nähtavad Lisa tabelis 3.3. Hoone soojuskaod on nõuetele vastavast suuremad. Paranduslahendustega ning käesoleva töö jooksul tehtud parendustega on võimalik hoone soojuskadusid vähendada. Lisaks on võimalik soojuskadusid vähendada ka täpsema arvutusmetoodika abil kasutades joonkülmasiljade arvutustes vastavat modelleerimistarkvara näiteks vabvarana kättesaadavat Thermi. Käesolevas töös kasutatud määruse tabeliväärtuste asendamisel arvutuslikega saab seda osa vähendada kordades. Teostades parendustöid korrektselt ja teostades seejärel hoone õhupidavuse mõõtmise on ka seeläbi võimalik soojuskadusid vähendada.

Tabelis 8.1 on kokkuvõtvalt piirete soojusläbivused.

	Soojusjuhtivus U W/(m ² K) Algne	Soojusjuhtivus U W/(m ² K) Parendatud	Miimum nõuded [2]
Hoone otsaseinad kagu ja loode suunas	0,60	0,23	0,12–0,22 W/(m ² ·K) ≤0,5W/m ² K (soojuslik mugavus)
Hoone edela sein, sh kütmata esik	0,53	0,22	
Hoone aknad	1,54-1,88	0,82-1,4	0,6-1,1 W/m ² K.
Välisuks	3,57	0,9	
Põrand – keldri lagi	0,25	0,17	0,1-0,15 W/m ² K.
Katuslagi	0,35	0,14	

Töös analüüsitud välisseina esialgset olukorda ei saa pidada aksepteeritavaks, kuna välisseina tekkis üle lubatud normi kondensatsioonivett ning see ei kuivanud välja. Pööningu niiskustehniline olukord on hea. Piirdes tekkiv kondensatsioonivesi on koguseliselt väiksem kui kuivamisperioodil väljakuivav vesi ning jääkondensi tekkimisohtu pole. Paranduslahenduste puhul ei teki pööningu põrandal ega välisseintes kondensvett, seega on tarindite niiskustehniline olukord väga hea.

Käesoleva töö raames ei arvestatud seadmetest, valgustusest, ventilatsioonist ja jahutusest tingitud kulusid, kuid aastane summaarne soojakadu 300 kWh on võimalik kõikide piirete soojustamisega muuta väikesemaks s.o 168 kWh, seega pakutavad lahendused annavad soovitud tulemuse.

9. SUMMARY

The aim of this paper is to analyse energy efficiency and hydrothermal performance of house at 8 Aia street in Võhma. Results shown in Extra tabel 3.3., were calculated by standards EVS 908-1:2016 and EVS-EN ISO 13370:2016 to analyse house energy efficiency. House's heat loss are bigger than it should be. Given solutions to enhance energy efficiency of the house and the improvement done during the process of this thesis reduces heat loss of the house. By using modeling program THERM the thermal bridges values can be specified and therefore by heat loss values can be reduced. Heat loss of the house can also be reduced by renovating house correctly and controlling air-tightness after that.

Table 8.3 Conclusion of thermal transmittance.

	Heat conductivity U W/(m ² K) At first	Heat conductivity U W/(m ² K) Improved	Minimum requirements [2]
Frontal walls and one lateral wall	0,60	0,23	0,12–0,22 W/(m ² ·K) ≤0,5W/m ² K
South-West wall including vestibule	0,53	0,22	
Windows	1,54-1,88	0,82-1,4	0,6-1,1 W/m ² K.
Front door	3,57	0,9	
Floor – basement ceiling	0,79	0,77	0,1-0,15 W/m ² K.
Ceiling	0,25	0,12	

Hydrothermal performance of the analysed walls were poor. There is more condensation than allowed and the condensation water won't dry out. Attic's hydrothermal performance is better, because the condensation water dries out during and therefore can't damage the construction. Improved construction's hydrothermal performance is very good and there is no condensation in the constructions.

This calculations on heat loss do not include appliances, lights, ventilation and cooling. Calculated annual heat loss is 300 kWh but with renovating it can be 168 kWh which implies that given improvements produce desired effect.

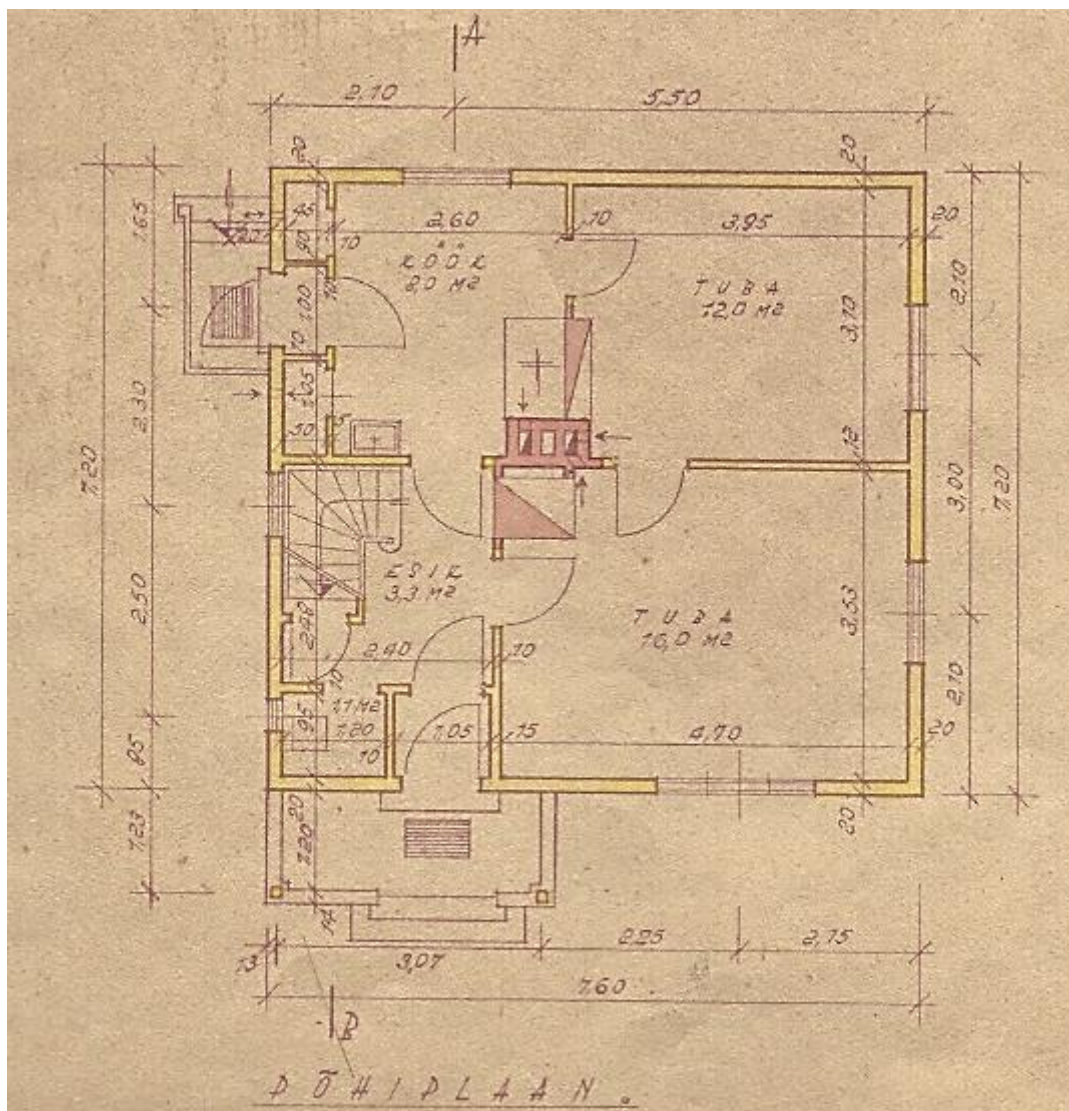
10. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Majandus-ja kommunikatsiooniministeerium. Riiklik hoonete rekonstrueerimise strateegia energiatõhususe parandamiseks. 2017. [WWW] https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ee_building_renov_2017_et.pdf, (26.03.2018)
2. Hoonete energiatõhususe miinimnõuded. (Vastu võetud 03.06.2015, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 22.01.2018).Elektroniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/105062015015?leiaKehtiv> (25.04.2018)
3. Ehitusregister. [WWW] <https://www.ehr.ee/app/w/page?22> (13.04.2018)
4. Puuraid, O. Individuaalelamu, Võhma alevis, Aia tn.kv. 16, kr 4: Projekt, 1995
5. Maa-amet[WWW] http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU82&user_id=at&punkt=590051,6500043&zoom=31.9497053059749&LANG=1 (05.05.2018)
6. Hoone piirdtarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire: EVS 908-1:2016. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2016
7. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. (Vastu võetud 05.06.2015, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 22.01.2018) Elektroniline Riigi Teataja[WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021?leiaKehtiv> (04.05.2018)
8. Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmetodika: EVS-EN ISO 13370:2017. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2017.
9. Piirfeld, A. Fasaadide hingamise arvutus. [WWW] <http://www.tarmatrade.ee/wp-content/uploads/2017/04/FASSAADIDE-HINGAMISE-ARVUTUS.pdf> (13.04.2018)
10. Ehitusmaterjalid ja – tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetodid : EVS-EN ISO 10456:2008. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2008.
11. Soojusjuhtivusarv (U-arv). [WWW] <http://www.kvj.ee/soojusjuhtivusarv-u-arv> (15.05.2018)
12. Estplast. Põrandad. [WWW] <http://www.estplast.ee/et/porandad> (15.05.2018)
13. Paroc. Paroc BLT 3. [WWW] <http://www.paroc.ee/tooted/konstruktsioonid/puistevillad/paroc-blt-3> (15.05.2018)
14. Isover. Isover KL33 [WWW] <https://www.isover.ee/tooted/isover-kl-33> (17.05.2018)

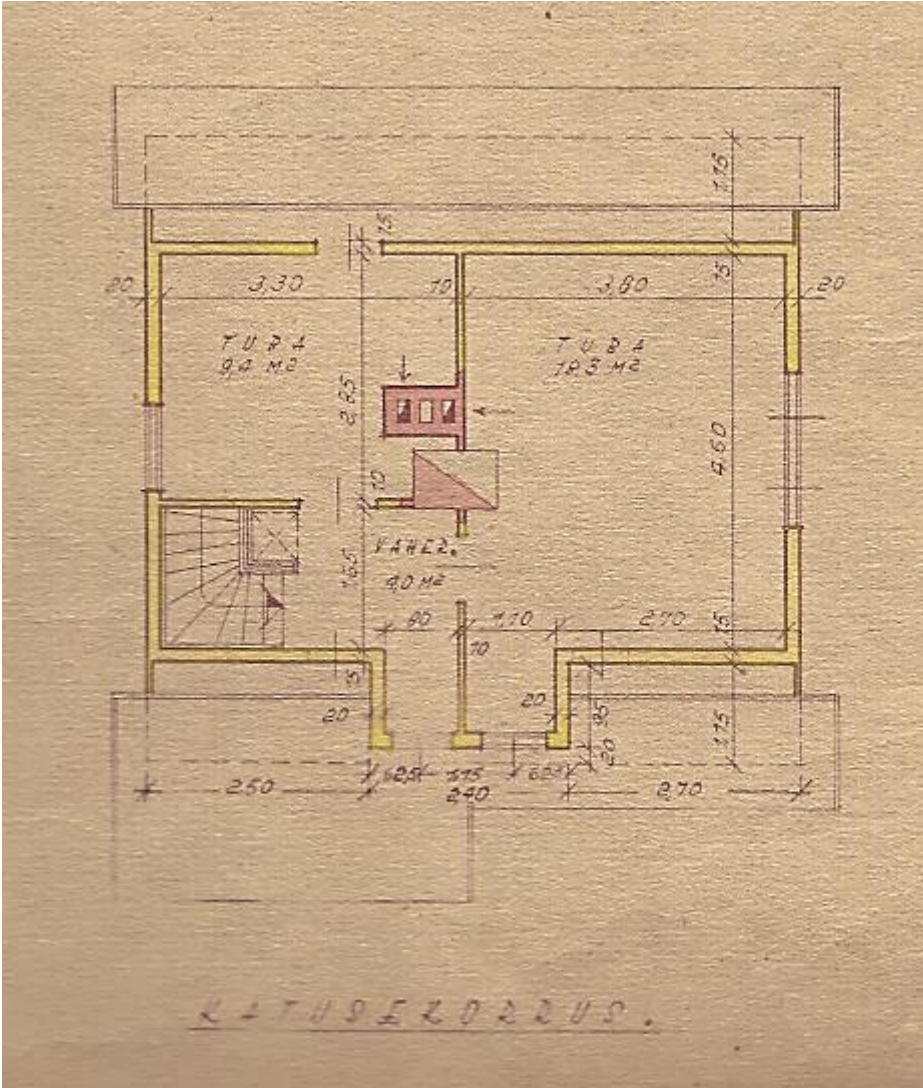
15. Tallinna Ülikool. Soojusjuhtivusteguri määramine. [WWW]
http://www.tlu.ee/~tony/oppetoo/Soojusopetus/Labor11_soojusjuhtivus.pdf
(16.05.2018)
16. Aurutõkkele Pro Clima Intello. [WWW]
<https://www.tervemaja.ee/shop/aurutokkele-hingav-pro-clima-intello-15x50m/>
(17.05.2018)
17. Hoone komponendid ja hoonekonstruktsioonid. Soojustakistus ja soojusjuhtivus. Arvutusmeetod: EVS-EN ISO 6949:2017. Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2017.
18. FLIR: Ex Series Datasheet. [WWW]
<http://www.flir.eu/uploadedFiles/Store/Products/Instruments/Ex-Series/ExSeriesDatasheet.pdf> (25.04.2018)
19. FLIR Ex Series Manual. [WWW] <https://www.instrumart.com/assets/FLIR-Ex-Series-Manual.pdf> (24.04.2018)
20. Jõesaar, T. Hamburg, A. Kõiv, T-A. Korterelamute energiaauditi koostamise juhend. 2015 [WWW]
http://www.kredex.ee/public/Energiatohusus/Korterelamute_energiaauditite_koostamise_juhend.pdf (27.05.2018)
21. Viljandi Aken ja Uks: Toode MSE [WWW] <http://vau.ee/toode/mse/> (24.04.2018)
22. Loigu, E. Kõiv, T.A. Eesti kraadpäevad. 2006 [WWW]
https://energiatalgud.ee/img_auth.php/9/93/Loigu%2C_E.%2C_K%C3%B5iv%2C_A._Eesti_kraadp%C3%A4evad.pdf (26.04.2018)
23. Arutech: Energiasäästlikud plastikaknad. [WWW]
<http://www.arutech.ee/et/tooted/energiasaastlikud-plastaknad> (09.05.2018)
24. Jeld-wen välisuks Basic. [WWW]
<https://www.jeldwen.ee/tooted/vaelisused/vaelisustemudelivalik/tuotesivu/?productId=7697> (21.05.2018)
25. Paroc. Kaldkatus: külm pööning (renoveerimine) [WWW]
<http://www.paroc.ee/lahendused/hoonete-soojustamine/katused/kaldkatus-kulmpooning-renoveerimine> (16.05.2018)
26. Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika. Lisa 2. Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energiatõhususarvu piirväärtuse tõendamise puhul.

[WWW] https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1181/0201/2001/MKM_m63_lisa2.pdf
(26.04.2018)

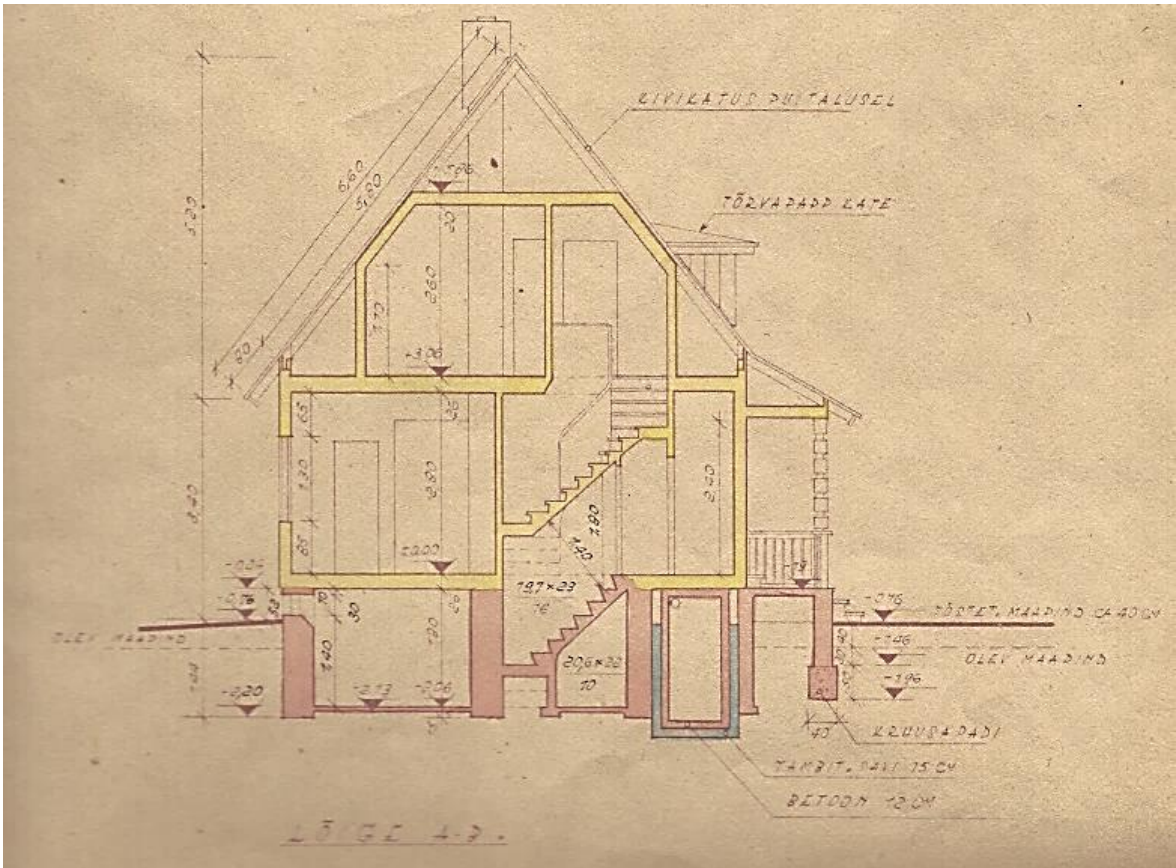
LISA 1. Hoone olemasolevad joonised



Joonis L1.1. Hoone põhiplaan [4]



Joonis L1.2. Hoone teise korruse plaan [4]



Joonis L1.3. Hoone lõige. [4]

LISA 2. Hoone fassaadikattematerjal



Joonis L2.1 PVC fassaadikattematerjali läbilõige.

LISA 3. Lihtsustatud energiaarvutuse lähteandmete esitamine

Tabel 3.1 Energiaarvutuse lähteandmete esitamise väikeelamu lihtsustatud energiatõhusarvu piirväärtuse tõendamise puhul, esialgsete andmete puhul [25]

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energiatõhusarvu piirväärtuse tõendamise puhul											
Andmed hoone kohta											
Address									Uusehitus		
Ehitusaasta	1958								Oluline rekonstrueerimine		
Kõetav pind	100,5 m ²								Rekonstrueerimine		
Netopind	151,0 m ²								× Olemasolev hoone		
Peamine soojusallikas ruumide kütteks				Halupuidu katel							
Ventilatsioonisüsteemi välisõhu vooluhulk (l/s)				0,0							
Ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse temperatuuri suhtarv				0,0							
Ventilatsioonisüsteemi ventilaatori erivõimsus, W/(l/s)				0,0							
Soojuskadu läbi piirdetarindi				Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojuslähivuste				Õhulekkest tingitud soojuskadu			
Piirdetarind	g	U _{is}	A _{is}	H _{juhtivus}	Joon- või punktsoojuslähivus	Y _p	I _p	H _{joonst}	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein 1	0,60	100,7	60,4	Välissein-välissein 1	1,00	29,6	29,6	Õhulekke-arv q ₅₀ , m ³ /(h·m ²)	9,0		
Välissein 2	0,60	43,2	25,9	Välissein-välissein 2	1,00	12,0	12,0	A _{np} (välispiirded), m ²	342,7		
Välissein 3	0,53	31,7	16,8	Katuslagi-välissein	0,00	0,0	0,0	Korruste arv (täisarv)	2,0		
Välissein	0,00	0,0	0,0	Pööningu vahelagi-välissein	0,40	29,6	11,8	V _{inf} m ³ /s	0,0357		
Katuslagi	0,00	0,0	0,0	Põrand pinnasel-välissein	0,00	0,0	0,0				
Pööningu vahelagi	0,35	133,6	46,8	Põrand välisõhu kohal-välissein	0,40	29,6	11,8				
Põrand pinnasel	0,00	0,0	0,0	Akna seinakinnitus	0,40	37,2	14,9				
Põrand välisõhu	0,25	28,1	7,0	Ukse seinakinnitus	0,00	0,0	0,0				
Välisüks	3,57	2,0	7,0	Sisesein-välissein	0,00	0,0	0,0				
Aken 1	1,54	1,0	1,5	...	0,00	0,0	0,0				
Aken 2	1,80	0,3	0,6	...	0,00	0,0	0,0				
Aken 3	1,88	0,1	0,2	...	0,00	0,0	0,0				
Aken 4	1,70	2,0	3,3	...	0,00	0,0	0,0				
Kokku: H _{juhtivus} , W/K				169,6	H _{joonst} , W/K				80,2	H _{õhulekke} , W/K	
Välispiirde summaarne soojuserikadu				ΔH, W/K	292,8						
Välispiirde keskmine soojuslähivus				ΣH / A _{np}	0,9						
Hoone kõetav pind				A _{kõetav} , m ²	100,5						
Välispiirde summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta				ΣH / A _{kõetav} , W/(m ² ·K)	2,91						
Kuupäev											
27.05.2018 Nimi Marju Lindmets Allikri											

Tabel 3.2 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energiatõhusarvu piirväärtuse tõendamise puhul, töö valmimise hetkel olev lahendus [25]

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energiatõhusarvu piirväärtuse tõendamise puhul											
Andmed hoone kohta											
Address							Uusehitus				
Ehitusaasta	1958						Oluline rekonstrueerimine				
Kõetav pind	100,5 m ²						Rekonstrueerimine				
Netopind	151,0 m ²						× Olemasolev hoone				
Peamine soojusallikas ruumide kütteks					Halupuidu katel						
Ventilatsioonisüsteemi välisõhu vooluhulk (l/s)											
Ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse temperatuuri suhtarv					0,0						
Ventilatsioonisüsteemi ventilaatori erivõimsus, W/(l/s)					0,0						
Soojuskadu läbi piirdetarindi				Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojusläbivuste				Õhulekkest tingitud soojuskadu			
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Joon- või punktsoojusläbivus	Y_p	l_p	H_{joonst}	Omadus	Suurus	
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein 1	0,60	100,7	60,4	29,6	Välissein-välissein 1	1,00	29,6	29,6	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	9,0	
Välissein 2	0,60	43,2	25,9	12,0	Välissein-välissein 2	1,00	12,0	12,0			
Välissein 3	0,53	31,7	16,8	0,0	Katuslagi-välissein	0,00	0,0	0,0	A_{pp} (välispiirded), m ²	342,7	
Välissein	0,00	0,0	0,0	0,40	Pööningu vahelagi-välissein	0,40	29,6	11,8	Korruste arv (täisarv)	2,0	
Katuslagi	0,00	0,0	0,0	0,0	Põrand pinnasel-välissein	0,00	0,0	0,0	\dot{V}_{inf} m ³ /s	0,0357	
Pööningu vahelagi	0,35	133,6	46,8	0,40	Põrand välisõhu kohal-välissein	0,40	29,6	11,8			
Põrand pinnasel	0,00	0,0	0,0	0,40	Akna seinakinnitus	0,40	37,2	14,9			
Põrand välisõhu	0,17	28,1	4,8	0,00	Ukse seinakinnitus	0,00	0,0	0,0			
Välisuks	3,57	2,0	7,0	0,00	Sisesein-välissein	0,00	0,0	0,0			
Aken 1	0,82	1,0	0,8	...	...	0,00	0,0	0,0		
Aken 2	1,25	0,3	0,4	...	...	0,00	0,0	0,0		
Aken 3	1,40	0,1	0,2	...	...	0,00	0,0	0,0		
Aken 4	1,00	2,0	2,0	...	...	0,00	0,0	0,0		
Kokku:				$H_{juhtivus}$, W/K	165,0	H_{joonst} , W/K			80,2	$H_{õhulekke}$, W/K	43,1
Välispiirde summaarne soojuserikadu					\dot{Q}_H , W/K	288,2					
Välispiirde keskmine soojusläbivus					$\sum H / A_{pp}$	0,8					
Hoone kõetav pind					$A_{kõetav}$, m ²	100,5					
Välispiirde summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta					$\sum H / A_{kõetav}$, W/(m ² ·K)	2,87					
Kuupäev 27.05.2018 Nimi Marju Lindmets Allikri											

Tabel 3.3 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energiatõhusarvu piirväärtuse tõendamise puhul, parendatud lahendus [25]

Energiaarvutuse lähteandmete esitamine väikeelamu lihtsustatud energiatõhusarvu piirväärtuse tõendamise puhul										
Andmed hoone kohta										
Address									Uusehitus	
Ehitusaasta	1958								Oluline rekonstrueerimine	
Kõetav pind	100,5 m ²								Rekonstrueerimine	
Netopind	151,0 m ²								× Olemasolev hoone	
Peamine soojusallikas ruumide kütteks				Halupuidu katel						
Ventilatsioonisüsteemi välisõhu vooluhulk (l/s)										
Ventilatsioonisüsteemi soojustagastuse temperatuuri suhtarv				0,0						
Ventilatsioonisüsteemi ventilaatori erivõimsus, W/(l/s)				0,0						
Soojuskadu läbi piirdetarindi				Soojuskadu läbi joon- ja punktsoojusläbivuste				Õhulekkest tingitud soojuskadu		
Piirdetarind	g	U_i	A_i	$H_{juhtivus}$	Joon- või punktsoojusläbivus	Y_p	l_p	H_{joonst}	Omadus	Suurus
	-	W/(m ² ·K)	m ²	W/K		W/(m·K)	m	W/K		
Välissein 1	0,23	100,7	23,2	Välissein-välissein 1	0,50	29,6	14,8	Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	6,0	
Välissein 2	0,23	43,2	9,9	Välissein-välissein 2	0,50	12,0	6,0	A_{pp} (välispiirded), m ²	369,3	
Välissein 3	0,22	31,7	7,0	Katuslagi-välissein	0,00	0,0	0,0	Korruste arv (täisarv)	2,0	
Välissein	0,00	0,0	0,0	Pööningu vahelagi-välissein	0,40	29,6	11,8	\dot{V}_{inf} m ³ /s	0,0256	
Katuslagi	0,00	0,0	0,0	Põrand pinnasel-välissein	0,00	0,0	0,0			
Pööningu vahelagi	0,14	133,6	18,7	Põrand välisõhu kohal-välissein	0,40	29,6	11,8			
Põrand pinnasel	0,00	0,0	0,0	Akna seinakinnitus	0,40	37,2	14,9			
Põrand välisõhu	0,17	54,7	9,3	Ukse seinakinnitus	0,00	0,0	0,0			
Välisuks	0,90	2,0	1,8	Sisesein-välissein	0,00	0,0	0,0			
Aken 1	0,82	1,0	0,8	...	0,00	0,0	0,0			
Aken 2	1,25	0,3	0,4	...	0,00	0,0	0,0			
Aken 3	1,40	0,1	0,2	...	0,00	0,0	0,0			
Aken 4	1,00	2,0	2,0	...	0,00	0,0	0,0			
Kokku:				$H_{juhtivus}$, W/K	73,2	H_{joonst} , W/K		59,4	$H_{õhuleke}$, W/K	30,9
Välispiirde summaarne soojuserikadu				\dot{Q}_H , W/K		163,5				
Välispiirde keskmine soojusläbivus				$\sum H / A_{pp}$		0,4				
Hoone kõetav pind				$A_{kõetav}$, m ²		100,5				
Välispiirde summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta				$\sum H / A_{kõetav}$, W/(m ² ·K)		1,63				
Kuupäev 27.05.2018 Nimi Marju Lindmets Allikri										