



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Tartu kolledž

**VESKITAMME VKT 5 VÄIKEELAMU REKONSTRUEERIMISETTEPANEKUD  
JÄRGIDES LIGINULLENERGIA HOONE NÕUDEID**

RECONSTRUCTION PLANNING FOR VESKITAMME VKT 5 BUILDING ACCORDING TO  
THE REQUIREMENTS OF A NEAR ZERO ENERGY BUILDING

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Triinu Bergmann

Üliõpilaskood: EAEI153883

Juhendaja: Aime Ruus, dotsent

Tartu 2020

## 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.

"....." .....2020 .

Autor: Triinu Bergmann  
(allkirjastatud digitaalselt)

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 2020..

Juhendaja: .....  
(allkirjastatud digitaalselt)

Kaitsmisele lubatud

"....." .....2020 .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>

Mina, Triinu Bergmann, (sünnikuupäev: 07.06.1996 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Veskitamme vkt 5 väikeelamu rekonstrueerimisetepanekud järgides liginullenergia hoone nõudeid”,

mille juhendaja on Aime Ruus,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

<sup>1</sup>Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

(allkirjastatud digitaalselt)

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Triinu Bergmann, EAEI153883 (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EAEI02/12Tartu, Ehitiste (kood ja nimetus)  
projekteerimine ja arhitektuur  
Juhendaja(d): Dotsent Aime Ruus, 53402823 (amet, nimi, telefon)  
Konsultant: ..... (nimi, amet)  
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

### Lõputöö teema:

„Veskitamme vkt 5 väikeelamu rekonstrueerimisettepanekud järgides liginullenergia hoone nõudeid“

“Reconstruction planning for Veskitamme vkt 5 building according to the requirements of a near zero energy building“

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Veskitamme vkt 5 väikeelamu hetkeolukorra hindamine läbi vaatluse, õhulekkeuuringu ja termograafia.
2. Veskitamme vkt 5 väikeelamule energiamärgise arvutuse koostamine.
3. Veskitamme vkt 5 väikeelamu rekonstrueerimisprojekti koostamine.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus
1.	Selgitada välja hoone hetkeolukord, teostada mõõtmised, õhulekkeuuring ja termograafia.
2.	Koostada energiamärgisearvutus olemasolevale hoonele.
3.	Koostada rekonstrueerimisprojekt hoonele.

**Töö keel:** eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** “29.”mai 2020 a

**Üliõpilane:** Triinu Bergmann      “.....” ..... 2020 a.  
(allkirjastatud digitaalselt)

**Juhendaja:** Aime Ruus      “.....” ..... 2020 a.  
(allkirjastatud digitaalselt)



# SISUKORD

SISUKORD .....	5
SISSEJUHATUS .....	8
1. VESKITAMME 5 ASUKOHT, KIRJELDUS JA HETKEOLUKORRA ANALÜÜS .....	10
1.1 Objekti asukoht ja kirjeldus .....	11
1.2 Piirdetarindite kirjeldus .....	13
1.2.1 Välissein VS-1 .....	13
1.2.2 Katus K-1 .....	14
1.2.3 Sokkel S-1 .....	15
1.2.4 Põrand P-1 .....	15
1.3 Konstruktivsete sõlmede kirjeldus ja analüüs .....	16
1.3.1 Joonsoojuslähivused ja temperatuuri mõju külmasillas .....	16
1.3.2 Sokkel-välissein-põrand .....	18
1.3.3 Katus – välissein .....	20
1.3.4 Välissein – välissein .....	21
1.4 Hoonepiirete õhulekke määramine ventilaatoriga survestamise meetodil .....	22
1.4.1 Mõõtmismeetod .....	23
1.4.2 Katse kirjeldus .....	23
1.4.3 Katse analüüs .....	25
1.4.4 Lekkekohtade tuvastamine .....	26
1.4.5 Lekkekohtade tuvastamine infrapunakaameraga ja termograafia .....	28
2. VÄIKEELAMU ENERGIAKLASS .....	31
2.1 Hoone energiatõhususe miinimumnõuded .....	31
2.2 Kaalutud energiakasutuse ja energiatõhusus-arvu klassi määramine .....	33
2.3 Hoone soojuskaod .....	34
2.3.1 Piirdetarindite soojuserikaod .....	34
2.3.2 Piirdetarindite külmasildade soojuserikaod .....	39
2.3.3 Välispiirete õhuleketes ja ventilatsioonist tulenev soojuserikadu .....	40
2.4 Hoone soojatulud .....	41
2.4.1 Hoone soojatulud vabasoojusest .....	41
2.4.2 Netoenergiavajadus kütteks ja tasakaalutemperatuur .....	44
2.5 Veskitamme 5 soojuskaod ja soojatulud .....	47
2.5.1 Veskitamme 5 soojuskaod .....	48
2.5.2 Veskitamme 5 soojatulud .....	49
2.5.3 Veskitamme 5 netoenergiavajadus .....	50
2.6 Energiatõhususarv ETA .....	51
2.7 Kaalutud energiakasutus KEK .....	53

3.	LAHENDUSED ENERGIATÕHUSUSE PARANDAMISEKS .....	55
3.1	Välispiirdetarindite soojusläbivus .....	55
3.1.1	Välissein VS-1 .....	56
3.1.2	Sokkel S-1 .....	57
3.1.3	Katus K-1 .....	58
3.1.4	Põrand P-1 .....	60
3.1.5	Aknad ja välisüksed .....	60
3.1.6	Piirdetarindite külmasildade soojuserikaad .....	61
3.1.7	Soojuskaod õhuleketest .....	61
3.2	Uute konstruktiivsete sõlmede analüüs .....	65
3.2.1	Vundament – välissein – põrand ühendussõlm .....	66
3.2.2	Välissein – katus ühendussõlm .....	67
3.3	Tehnosüsteemid .....	67
3.3.1	Ventilatsioon .....	67
3.3.2	Küte .....	71
3.3.3	Lokaalne taastuvenergia .....	71
3.3.4	Päikesekollektorid .....	71
3.3.5	Päikesepaneelid ehk PV-paneelid .....	74
3.4	Rekonstrueeritud hoone ETA .....	75
3.5	Järeldused .....	77
	KOKKUVÕTE .....	79
	SUMMARY .....	81
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	82
	LISAD	
	Lisa 1. Õhulekkeuuringu protokoll	
	Lisa 2. Termograafia protokoll	
	Lisa 3. Välissein-välissein ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus	
	Lisa 4. Välisseina ja sokli ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus	
	Lisa 5. Välisseina ja katuse ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus	
	Lisa 6. Olemasoleva välisseina soojusläbivuse arvutus	
	Lisa 7. Olemasoleva katuse soojusläbivuse arvutus	
	Lisa 8. Olemasoleva põranda soojusläbivuse arvutus	
	Lisa 9. Akende ja välisuste soojusläbivuse arvutus	
	Lisa 10. Standardi EVS-EN ISO 14683:2017 väljavõte. Akende ja uste ning välisseinte ühenduste soojusläbivused.	

- Lisa 11. Normaalaasta kraadpäevad – Tartu
- Lisa 12. Hoone õhulekkest tulenev soojakadu baasväärtuse alusel
- Lisa 13. Olemasoleva hoone ETA arvutus kalkulaatoriga
- Lisa 14. Rekonstrueerimisprojekti lahendus välisseinale VS-1
- Lisa 15. Rekonstrueerimisprojekti lahendus sokkel S-1
- Lisa 16. Rekonstrueerimisprojekti lahendus katusele KS-1
- Lisa 17. Rekonstrueerimisprojekti lahendus põrandale P-1
- Lisa 18. Projekteeritava piirdetarindi kondenseerumisrisi arvutus Glaseri meetodil
- Lisa 19. Akende ja välisuste soojuspidavused
- Lisa 20. Projekteeritav välissein-välissein ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus
- Lisa 21. Projekteeritav välissein-katus ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus
- Lisa 22. Projekteeritav välissein-sokkel-põrand ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus
- Lisa 23. Conetga PV aurutõkketeibi andmed
- Lisa 24. Ventilatsiooniseadme Endura Delta 330 tehnilised andmed
- Lisa 25. Päikesekollektori Vitosol 200-T tehnilised andmed
- Lisa 26. Päikesepaneeli WST-325M6 PERC 325 W tehnilised andmed
- Lisa 27. Rekonstrueeritava hoone energiamärgise arvutus
- Lisa 28. Rekonstrueeritava hoone energiamärgise arvutus kalkulaatori abil
- Lisa 29. Rekonstrueeritava hoone energiamärgise arvutus õhulekkearvu baasväärtuse  $q_{50}=4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  korral.
- Lisa 30. Veskitamme vkt 5 rekonstrueerimisprojekt

#### GRAAFILINE OSA

- Joonis 1 OLEMASOLEVA HOONE 1. KORRUSE PÕHIPLAAN
- Joonis 2 OLEMASOLEVA HOONE 2. KORRUSE PÕHIPLAAN
- Joonis 3 OLEMASOLEVA HOONE KELDRI PLAAN
- Joonis 4 OLEMASOLEVA HOONE LÕIGE 1-1
- Joonis 5 OLEMASOLEVA HOONE KATUSEPLAAN
- Joonis 6 OLEMASOLEVA HOONE VAATED

## SISSEJUHATUS

Tööstusajastul, kus ehitised kerkivaid kiiremini kui eales varem ning uusi, nutikaid ja paljuski isemõtlevaid lahendusi hoone sisekliima reguleerimiseks leiab rohkelt, on kerge leida lahendusi uute hoonete tõeliselt energiasäästlikuks muutmiseks. Kipume aga unustama, et uue hoone ehitamise ja kõigi vajaminevate ressursside ära kasutamise asemel on olemas palju vana hooned, mis korda tehes võivad uueväärilised olla. On ju olemas juba toimiv ehitised, mis lihtsalt oma igapäevase energiakuluga ei ole ehk nii säästlik kui päris uued hooned.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on koostada rekonstrueerimisprojekt Veskitamme vkt 5 väikeelamule. Selleks tuleb teostada energiaarvutused olemasolevale väikeelamule, leida lahendused nii selle sisekliima parandamiseks kui ka elamu energiatõhusamaks muutmiseks ning pakkuda optimaalseim võimalik lahendus hoone renoveerimiseks lähtudes liginullenergiahoone nõuetest.

Eesmärk lähtuda liginullenergiahoone energiatõhususe nõuetest tuleneb uuest määrusest, mis hakkas kehtima 2019. aasta 1. jaanuarist ning mis sätestab, et kõik uued või oluliselt rekonstrueeritavad hooned peavad olema liginullenergiahoone energiatõhususe piirmääradele vastama. Tõsi, väikeelamutele on nõuded siiski pisut leebemad, kuid võrreldes varasemaga peab uus hoone olema oluliselt energiatõhusam.

Antud töös uuritav elamu on ehitatud 1987. aastal suvilaks. Olemas on küll hoone algne projekt, millega taotleti ehitusluba, kuid reaalsuses tegelikult täpselt järgi ehitatud ei ole. Oma ajast tulenevalt ei tekkinud sellest ka mingit probleemi ning uue riigi tulekuga ununesid säärasead asjad üldse. Aastatel 2000 kuni 2010 on hoone ümber ehitatud aastaringseks kasutamiseks elumajana. Seda kõike on tehtud aga suuresti n-ö oma teadmistega ning renoveerimise juures ei ole kasutatud professionaalide abi ega teadmisi. Seetõttu tehti ümberehituse käigus mitmeid ehituslikke vigu, mis ei ole määravaks hoone konstruktiivsele püsivusele, küll aga mõjutavad negatiivselt nii sisekliimat kui ka energiakulu.

Teema on oluline, sest üha enam peame leidma viise, kuidas kõikide olemasolevate ressurssidega säästvalt ringi käia. Alati ei pruugi olla arukas vana hävitada ning uut asemele ehitada, lihtsalt sellepärast, et nii on kergem. Nähes pisut rohkem vaeva hoone projekteerimise faasis, on võimalik ka vanast elamust teha uus ja moodne.

Töö jaotub kolmeks suuremaks osaks. Esimeses osas tutvustab autor Tartumaal Vissi külas, Veskitamme vkt 5 asuvat eramut, hoone paigutust ilmakaarte suhtes, selle konstruktsioone ja tehnilist lahendust ning annab ülevaate senistest energiakuludest. Hoones viiakse läbi õhulekkeuuring ning teostatakse termograafia, mida samuti antud osas analüüsitakse.

Teises osas kirjeldab autor energiatõhususega seotud piirnorme ja nõudeid, määrab uuritava hoone energiamärgise nii arvutuslike kui ka uuringust saadud tulemuste alusel ning hindab väikeelamu energiaklassi.

Kolmandas osas annab autor ülevaate võimalikest lahendustest, analüüsib lahenduste kasumlikkust lähtudes arvutuslikust energiasäästust ning pakub välja omapoolsed lahendused, mida kasutada hoone rekonstrueerimisprojekti.

Töö tulemusena valmib hoone rekonstrueerimisprojekt eelprojekti staadiumis.

Magistritöö tulemusena valmiva projekti koostamise käigus on kasutatud valdavalt eestikeelset kirjandust, Eesti norme ja standardeid ning uuringuid. Hoone energiatõhususe näitajad saadi nii arvutuslikul kui ka mõõtmiste teel. Saadud tulemusi analüüsiti ning selle põhjal koostati rekonstrueerimisprojekt lahendustega, mis autori hinnangul olid kõige optimaalsemad ning sobisid ka hoone elanikele.

# **1. VESKITAMME 5 ASUKOHT, KIRJELDUS JA HETKEOLUKORRA ANALÜÜS**

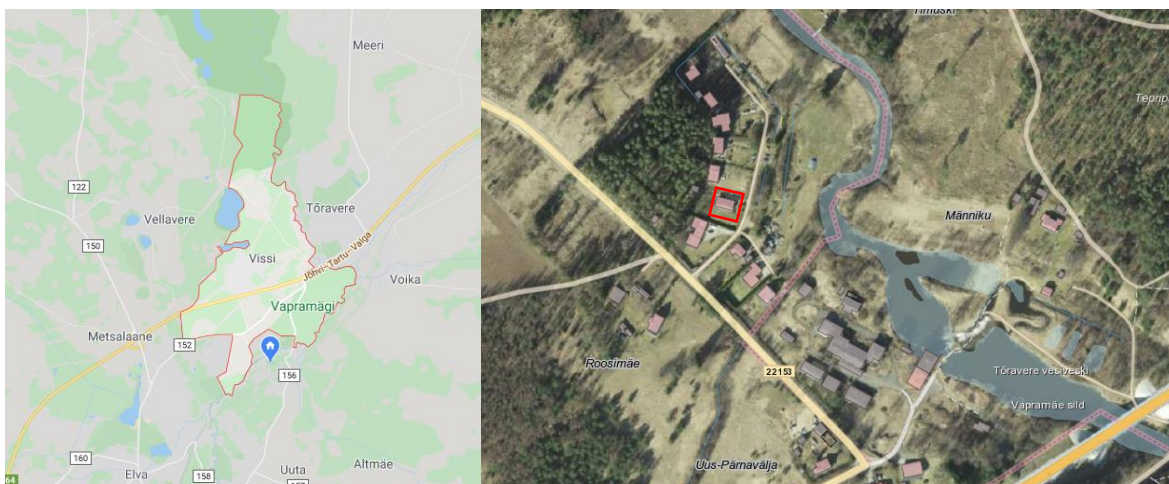
Käesoleva magistritöö eesmärk on koostada rekonstrueerimisprojekt eramule Veskitamme vkt 5, Vissi külas ning leida parimad võimalikud lahendused hoone rekonstrueerimiseks selliselt, et pärast tööde teostamist vastaks hoone A-energiaklassi nõuetele. Eesmärgi saavutamiseks on töö jaotatud järgnevateks etappideks:

- teostada olemasoleva hoone mõõtmised, välja selgitada kasutatud materjalid ja ehituslikud lahendused. Läbi viia õhulekkeuring ning termograafia;
- koostöös elanikega selgitada välja põhilised murekohad, mis puudutavad hoone sisekliimat ja energiakulu;
- analüüsida hetkeolukorda, sisekliimat ja energiakulu, seejuures määrata olemasoleva hoone energiamärgis arvutuslike tulemuste alusel ning hinnata väikeelamu energiaklassi;
- pakkuda välja erinevaid võimalikke lahendusi hoone energiasäästlikumaks muutmiseks, analüüsida lahenduste mõju energiasäästule;
- koostada hoone rekonstrueerimisprojekt eelprojektina. Seejuures järgida kõiki SA Kredex-i poolt esitatavaid nõudeid rekonstrueerimistöodele, et oleks võimalik taotleda nende poolt pakutavat väikeelamute rekonstrueerimistoetust.

Hoone energiatõhususe näitajad saadi nii arvutuslikul kui ka mõõtmiste teel. Saadud tulemusi analüüsiti ning selle põhjal koostati rekonstrueerimisprojekt lahendustega, mis autori hinnangul olid kõige optimaalsemad ning sobisid ka hoone elanikele.

Tegemist on üsna tüüpilise olukorraga, kus aastaringseks elamiseks mitte mõeldud hoone rekonstrueeritakse ja võetakse kasutusse aastaringse elamuna. Seejuures tuleb aga arvestada tänaste energiatõhususe nõuetega. Nii sellepärast, et vältida ebamõistlikke kulusi kui ka parandamiseks elanike soojuslikku mugavust.

## 1.1 Objekti asukoht ja kirjeldus



**Joonis 1.1** Vissi küla ja Veskitamme 5 asukoht

Uuritav hoone asub Tartumaal, Nõo vallas, Vissi külas (Joonis 1.1). Kinnistu asub Tartu kesklinnast 20 km ning Elvast 5 km kaugusel. Veskitamme väikekohta on suurest Vissi külast eraldatud, jäädest sellest linnulennult 1 km kirdesse. Nõukogude ajal rajati Vissi külasse aianduskooperatiivid, mille suvemajadest hinnanguliselt 2/3 on tänaseks ümber ehitatud ning aastaringsesse kasutusse võetud. Veskitamme väikekohas asuvast 11 eramust on aastaringsesse kasutuses 7.

Töös käsitletav eramu on ehitatud 1987. aastal suvilaks, millel on üks elukorrus, keldrikorrus ning pööning. Hiljem, aastatel 2000 - 2010 on hoone renoveeritud ning ümber ehitatud aastaringseks kasutatavaks eluhooneks, samuti on pööning välja ehitatud elamiskõlblikuks poolkorruseks. Hoone köetav pindala 116 m<sup>2</sup>.



**Joonis 1.2** Veskitamme 5, vaated idast ja läänest

Hoones on algselt kavandatud loomulik ventilatsioon, väljatõmme peaks toimima köögi ning sauna pesuruumi kaudu. Vanale hoonele omaselt toimub suur osa nii õhu juurde-

kui ka äravoolust läbi akende ja piirdetarindite, mis on tingitud ennekõike nende puudulikust tihedusest. Põhiline murekoht ongi, et ventilatsioon toimib „liiga hästi“ ehk kütteperioodil on hoone energiakulu kardetavasti õhulekete tõttu väga suur. Selle tõttu viidi läbi õhulekkeuuring, mille tulemused on täpsemalt kirjeldatud peatükis 0.

Hoone kütmiseks on kaks varianti: vesikeskküte, mille keldris asuvat katelt köetakse puudega ning puupliit koos soojamüüriga, mis asub köögis. Suurem osa kütteperioodist kasutatakse vaid esimest, kuid suuremate talvekülmadega läheb elamiskõlbliku temperatuuri saavutamiseks ja hoidmiseks vaja mõlemat küttelahendust. Hoone omanike sõnul tellitakse igal suvel 35 ruumimeetrit (rm) kuivi küttepuid, enamasti kas kuusk või mänd, mis ka üldiselt kõik ära kulub. Soojemate talvedega jääb küll ca 4 või 5 rm puid üle, kuid külmemal talvel kulub see lisa jällegi ära.

Hoones kasutatavat elektrienergiat kulub lisaks seadmeteleja valgustusele ka tarbevee soojendamiseks. Keldris asuv 150-liitrine, 2,2 kW võimsusega veeboiler ongi kõige suurem hoone elektrienergia tarbija üldse. Kütteperioodil läheb boilerisse küll akupaagis eelsoojendatud vesi ehk vee soojendamiseks kasutatakse ära ka küttesüsteemi, kuid suvel see võimalus puudub ning kogu tarbitav soe vesi saadakse seda elektriga soojendades. Tabelis 1.1 on toodud viimase 3 aasta elektrienergia tarbimine koos maksumusega ajal, mil majas elas pidevalt 2 inimest.

**Tabel 1.1** Veskitamme 5 elektritarbimine 2017-2019

	2017				2018				2019			
	Päevatariif kWh	Öötariif kWh	Tarbimine kokku	Maksumus €	Päevatariif kWh	Öötariif kWh	Tarbimine kokku	Maksumus €	Päevatariif kWh	Öötariif kWh	Tarbimine kokku	Maksumus €
jaan	230	195	425	50,97	237	186	423	52,33	184	151	335	51,12
veeb	203	183	386	47,39	174	171	345	45,89	183	155	338	47,77
märts	238	184	422	49,35	166	188	354	47,32	170	193	363	46,89
apr.	190	223	413	47,49	163	236	399	49,05	120	206	326	42,41
mai	181	187	368	42,87	149	202	351	42,93	109	170	279	36,79
juuni	175	160	335	39,82	148	181	329	45,82	109	170	279	37,87
juuli	160	137	297	37,78	150	129	279	42,57	163	112	275	41,14
aug	167	151	318	40,52	151	129	280	42,82	163	146	309	44,87
sept	141	210	351	43,08	129	178	307	43,47	124	181	305	42,77
okt	172	225	397	46,40	171	178	349	47,34	158	205	363	49,46
nov	224	174	398	48,85	216	159	375	54,48	174	175	349	47,91
dets	219	217	436	51,00	179	165	344	50,24	206	166	372	48,10
<b>Kokku</b>			<b>4546</b>	<b>545</b>			<b>4135</b>	<b>564</b>			<b>3893</b>	<b>537</b>



## 1.2 Piirdetarindite kirjeldus

Järgnevalt on ära toodud kõik hoone piirdetarindid kihtide kaupa. Kahjuks ei ole säilinud täpsed andmed remondi käigus kasutatud materjalide kohta, seega on mõned kihtide paksused, mida ei saanud ligipääsetavuse puudumise tõttu mõõta, omanike ütluste järgi paika pandud.

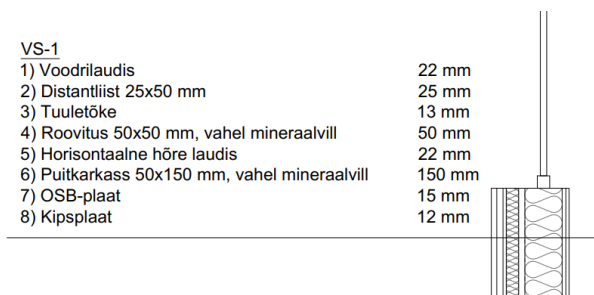
### 1.2.1 Välissein VS-1

**Tabel 1.2** Välisseina materjalide kihid ja paksused

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm
1.	Voodrilaudis	22
2.	Distantliist 25x50 mm	25
3.	Tuuletõke	13
4.	Roovitus 50x50 mm, vahel mineraalvill	50
5.	Horisontaalne hõre laudis	22
6.	Puitkarkass, vahel mineraalvill	150
7.	OSB - plaat	15
8.	Kipsplaat	13

Piirdetarind ise on põhimõtteliselt õigesti ehitatud. Tänapäeva standardite järgi on ehk soojustust liiga vähe, kokku 200 mm. Ei ole harv, et näiteks poorbetoonplokkist tehtud hoonel on samamoodi 200 mm sojuskiht, kuid poorbetoonist plokk on ise küllaltki heade soojuslike näitajatega, lisaks on sellisel juhul tegemist homogeensete piirdetarindi kihtidega, kus külmasillad puuduvad.

Küsimusi tekitab aga konstruktsiooni õhupidavus. OSB, kui puitlaastplaat on iseeneset tihe ja jäik materjal, kuid on teada, et plaatide liitekohti eraldi õhupidavaks tehtud ehk teibitud ei ole, lisaks on plaadi paksus ka vaid 15 mm.



Oluliselt vähendab välisseina soojapidavust ka see, et aknad asuvad karkassi keskel. Olukord on näidatud joonisel 1.3. Tegelikult peaks aken paiknema välimise soojustuskihis, et vältida külmasilla teket.

**Joonis 1.3** Akna paiknemine välisseinas

## 1.2.2 Katus K-1

Tabelis 1.3 on toodud katuse materjalid väljast-sisse.

**Tabel 1.3** Katuse materjalide kihid

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm
1.	Eterniit	6
2.	Roovitus 32x100 mm	32
3.	Aluskate (mittehingav)	1
4.	Sarikad 50x200 mm, vahel mineraalvill	200
5.	OSB-plaat	15

Kõige murettekitavam on roovituse all distantssliistu puudumine, mis tagaks tuulutuse. Autori hinnangul on tuulutust vähe. Lisaks sellele puudub täielikult tuuletõke.

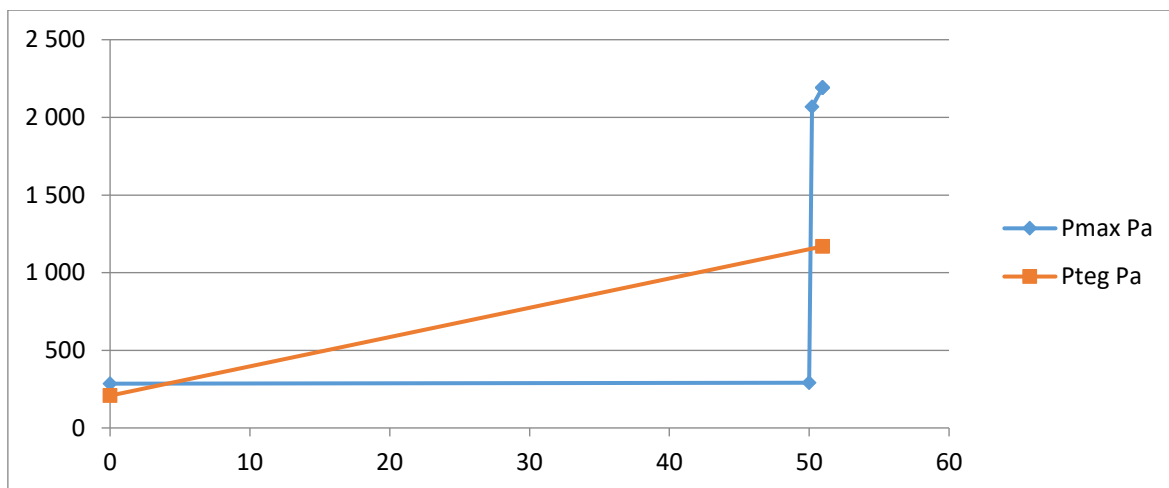
Ka omanikud on kurtnud, et soojustus sarikate vahel kipub siit-sealt aeg ajalt märjaks ja niiskeks muutuma, mis võib tähendada üht kahest. Üks variant on, et katusekate lekib läbi ning katkise aluskatte tõttu jõuab vesi ka kandva konstruktsioonini.

Teine võimalus on aga see, et talvisel ajal liigub soe toaõhk läbi OSB-plaadi tarindisse ning kondenseerub soojustuskihis. Läbi mittehingava aluskatte ei ole sellel isegi võimalust näiteks suvisel perioodil ka välja kuivada. Sellele viitab ka Glaseri meetodil tehtud kontroll. Meetodit on täpsemalt kirjeldatud töö lisades (Lisa 18).

Kui küllastuskõver  $P_{max}$  ei puutu kokku tegeliku veeauru osarõhu sirgega  $P_{teg}$ , siis konstruktsioonis ei teki kondensatsioonivett. Kui kõver ja sirge aga omavahel kokku puutuvad, siis tekib antud punktis või tasandil kondensatsioonivesi. [1], lk 8

**Tabel 1.4** Välisseina niiskustehnilise toimivuse arvutustabel - Glaseri meetod

							välis.	siset.					
							-10	20					
										$P_{max}$			
										Pa	$\Sigma S_d$		
Tarindi osa	Kihi paksus m	$\lambda$ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	%R	$\Delta t$	-10	välisõhk	$\mu$	$S_d$	$P_{teg}$ Pa	260		
Välispind			0,13	3,5	1,0	-8,96	välispind			208	285	0	
aluskate	0,001	0,04	0,03	0,7	0,2	-8,75		50000	50		290	50	
mineraalvill	0,2	0,06	3,33	89,3	26,8	18,03		1	0,2		2 068	50,2	
OSB-plaat	0,015	0,13	0,12	3,1	0,9	18,96		50	0,8		2 191	50,95	
	0	1	0,00	0,0	0,0	18,96		0	0		2 191	50,95	
	0	1	0,00	0,0	0,0	18,96		0	0		2 191	50,95	
	0	1	0,00	0,0	0,0	18,96		0	0		2 191	50,95	
	0	1	0,00	0,0	0,0	18,96		0	0		2 191	50,95	
Sisepind			0,13	3,5	1,0	20,00	sisepind			1169	2 338		
		R, (m <sup>2</sup> K)/W	3,73	100,00		kontroll	sisepind		51				
		U, W/m <sup>2</sup> K	0,27										
								veeauru osarõhud sees ja väljas					
								2 338	260				
								50	80				
								1169,1	208	961			



**Joonis 1.4** Olemasoleva katuse difusioonigraafik

Kuna soojustus on OSB-ga üle löödud, et villatolm ei ringleks (tegemist on pidevalt kasutatava eluruumiga), siis tulevad lekked ka pahatihti alles siis välja, kui märjaks on jõudnud saada juba märkimisväärne osa soojustusest.

### 1.2.3 Sokkel S-1

Tabelis 1.5 on toodud sokli materjalide kihid väljast sisse. Sokkel ning kogu vundament on säilinud sellisena juba hoone esmasest ehitusest ning renoveerimise käigus midagi ei muudetud ega ümber ei tehtud.

**Tabel 1.5** Sokli materjalide kihid

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm
1.	Tsementkrohv	5
2.	Vundamendiplokk (raudbetoon)	300

Sokli puuduvast soojustusest tuleb oluline osa hoone soojuskadudest. Sokli kõrgus kogu hoone perimeetri ulatuses on ca 80 cm. Suurus võib kõikuda 1-2 cm võrra.

Energiamärgise arvutuses kajastub soojustuse puudumine joonkülmasilla kaudu tekkiva soojuskaoga. Kuigi tarind ei ole eluruumide piire, on selle soojustuse puudumisel oluline roll sisekliima ja energiakasutuse halvendamisel.

### 1.2.4 Põrand P-1

Tabelid 1.6 on toodud põranda materjalide kihid.

**Tabel 1.6** Põranda materjalide kihid

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm
1.	Parkett	14
2.	Alusvaip	1
3.	OSB-plaat	13
4.	Põrandalaagid 50x150 mm, vahel mineraalvill	150
5.	Õõnespaneel	220

Teoreetiliselt ei ole antud tarindi puhul midagi otseselt valesti. Tegemist on üsna tüüpilise piirdetarindi lahendusega. Aja jooksul on mõnes kohas, eriti aga just toa välisseinas asuvates nurkades hakanud parkett palju nagisema ning peale astudes üles-alla liikuma. Ilmselt on põhjuseks suur õhuleke ning sellest tingitud suured temperatuuri kõikumised tarindi pinnal.

## 1.3 Konstruktiivsete sõlmede kirjeldus ja analüüs

Selles peatükis on uuritud hoone konstruktiivseid sõlmi programmi Therm abiga, mis võimaldab luua sõlmest 2D mudeli ning simuleerib soojusvoo uuritavas sõlmes. Eelkõige on see vajalik leidmaks hoone soojuskaod läbi külmasildade.

### 1.3.1 Joonsoojusläbivused ja temperatuuri mõju külmasillas

Kasutades programmiga läbi viidud simulatsioone saab leida edasiste arvutuste tarbeks hoone joonsoojusläbivused. Joonsoojusläbivuse abil kirjeldatakse joonkülmasilla mõju hoone soojusvoole tervikuna.

Joonsoojusläbivuse saame leida valemiga (1.1) [2], lk 34:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j, \frac{W}{mK} \quad (1.1)$$

,kus

$\Psi$  – piirdetarindite liitekohta joonsoojusläbivus, W/mK;

$L_{2D}$  – soojuserikadu, mis on määratud kahte vaadeldavat keskkonda eraldava komponendi 2D arvutuse põhjal, W/mK;

$U_j$  – kahte vaadeldavat keskkonda eraldava 1D komponendi j soojusläbivus, W/m<sup>2</sup>K;

$l_j$  – 2D geomeetrilise mudeli lõigu pikkus, mille ulatuses väärtus  $U_j$  kehtib, m;

$N_j$  – 1D komponentide arv, tk.

Soojaerikadu  $L_{2D}$  on leitav valemiga (1.2) [2], lk 34:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D}, \frac{W}{mK} \quad (1.2)$$

,kus

$L_{2D}$  – soojuserikadu, mis on määratud kahte vaadeldavat keskkonda eraldava komponendi 2D arvutuse põhjal, W/mK;

$U_{2D}$  – kogu vaadeldava mudeli soojusläbivus, W/m<sup>2</sup>K;

$l_{2D}$  – 2D geomeetrilise mudeli kogupikkus, mille ulatuses kehtib väärtus  $U_{2D}$ , m.

Arvutused on leitavad töö lisades (Lisa 3, Lisa 4 ja Lisa 5). Tabelis 1.7 on esitatud tulemused.

**Tabel 1.7** Olemasoleva hoone piirdetarindite liitekohtade joonsoojusläbivused

Piirdetarindite liitekoht	Joonsoojusläbivus $\Psi$ , W/mK
Välissein – põrand	0,14
Välissein – katus	0,055
Välissein – välissein	0,327

Simulatsioonide abil saame leida ka temperatuuri liitekoha nurgas ning temperatuuriindeksi  $f_{Rsi}$ . Temperatuuriindeks  $f_{Rsi}$ , aitab kirjeldada temperatuuri mõju külmasillas. Eelkõige on see tarvilik selleks, et näha kas liiga madal temperatuur külmasilla kohas võib osutada ohtlikuks, näiteks soodustada hallituse teket või kondenseerumist. Temperatuuriindeksit saab leida valemiga (1.3). [3], lk 7,24

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} \quad (1.3)$$

,kus

$f_{Rsi}$  – temperatuuriindeks

$t_{si}$  – minimaalne sisepinnatemperatuur, °C

$t_i$  – sisetemperatuur, °C

$t_e$  – välistemperatuur, °C

Tabelis 1.8 on standardis EVS\_EN ISO 13788:2012 toodud temperatuuriindeksite piirsuurused soojusliku kvaliteedi hindamisel [4], lk 51.

**Tabel 1.8** Temperatuuriindeksite piirsuurused Eestis hoonete projekteerimisel ja soojusliku kvaliteedi hindamisel

Niiskusklass	Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{Rsi,min}$	
	Uued hooned ja rekonstrueeritud hooned	Enne 2000. aastat ehitatud või rekonstrueeritud hooned olemasoleva olukorra hindamiseks
3	$\geq 0,8$	$\geq 0,8$
$\leq 2$	$\geq 0,8$	$\geq 0,65$

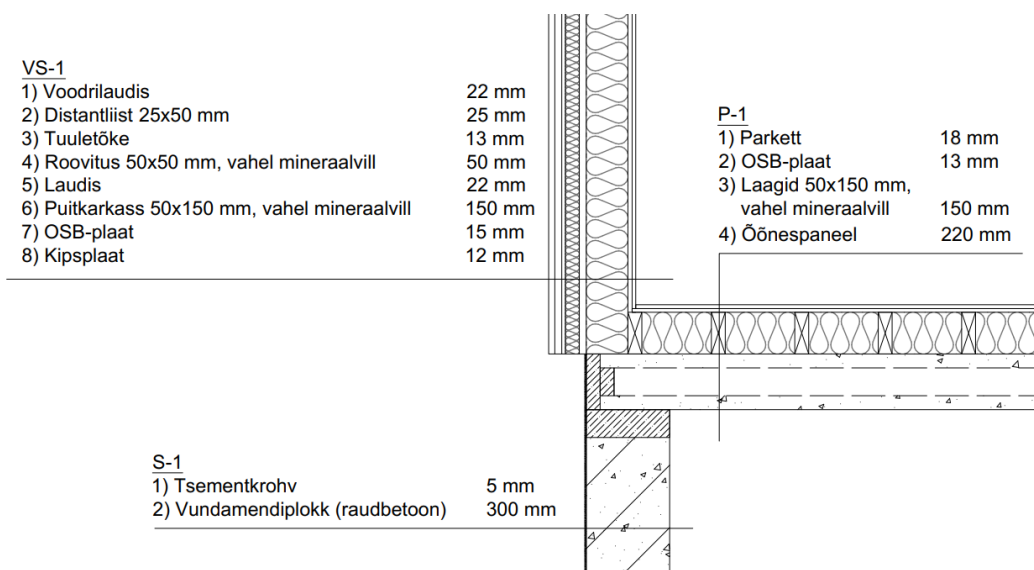
Tabelis 1.9 on toodud vaadeldud sõlmede temperatuuriindeksid, mis on leitud kasutades valemit (1.3).

**Tabel 1.9** Olemasoleva hoone külmasildade temperatuuriindeksid

Piirdetarindi liitekoht	Temperatuuriindeks $f_{Rsi}$
Välissein – põrand	0,85
Välissein – katus	0,93
Välissein – välissein	0,81

Standardist lähtuvalt ei ole ühegi liitekoha puhul tegemist kriitilise ühendusega ehk hallituse tekke või kondenseerumise ohtu ei ole. Seda näitab ka tegelikult reaalne kogemus, sest hoone välisseintes ei ole liigsele niiskusele omaseid probleeme (niisked seinad, hallitus pindadel, kooruv värv) täheldatud. Seda ilmselt „tänu“ suurele õhulekkele ehk liigne niiskus saab välja kuivada.

### 1.3.2 Sokkel-välissein-põrand

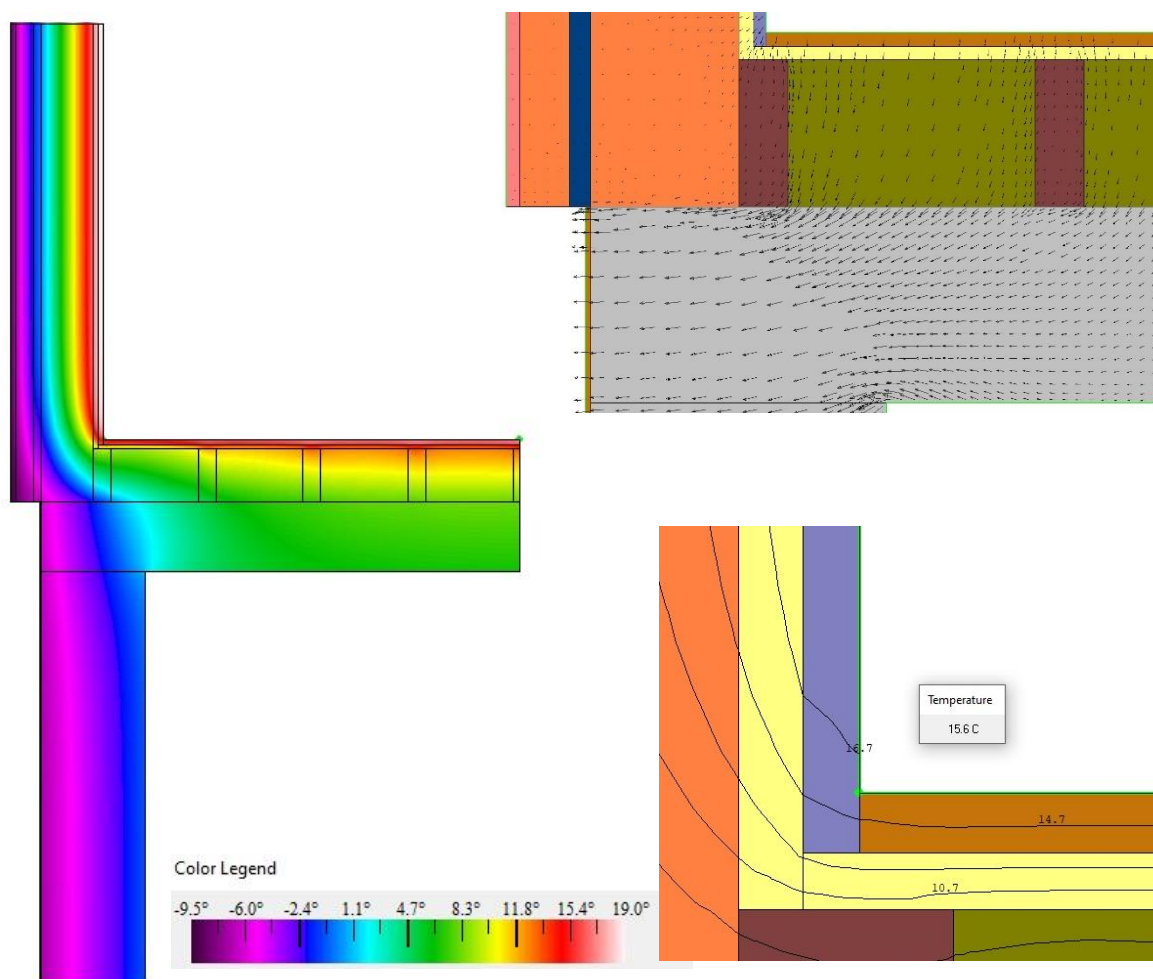


**Joonis 1.5** Sokli ja välisseina ühendussõlm

Kindlasti on oma osa kogu hoone soojuskadudes just soojustamata soklil. Sokli osa suhteliselt suur, ulatudes 80 cm maapinnast kõrgemale. Välisseina soojustamise efekt väheneb, sest soojustus ei jätku soklis.

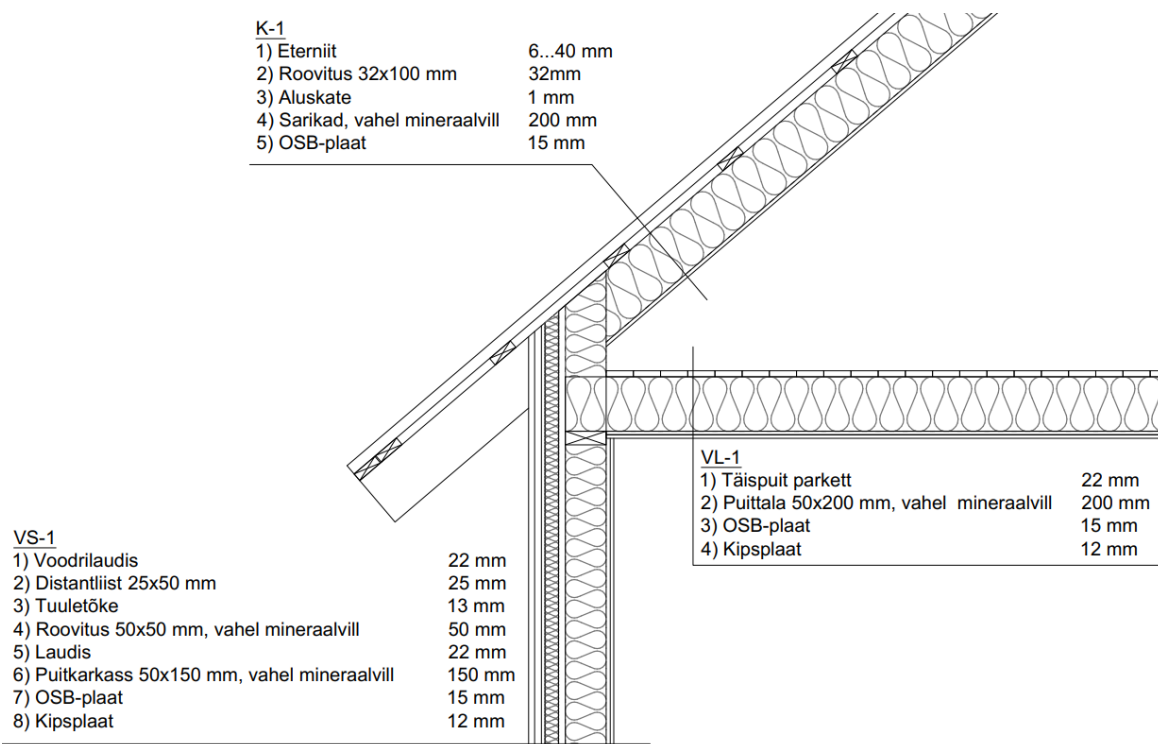
Joonisel Joonis 1.6 on Thermiga tehtud antud sõlme simulatsioon olukorras, kus toas saavutatakse 20 °C ning väljas on -10 °C. Vaskpoolsel joonisel on näidatud kogu simulatsiooni temperatuuride jaotumine. Eriti hästi tuleb sellelt välja see, kuidas miinustemperatuurid ulatuvad eluruumi põranda alla välja. Kui uurida soojusvoo liikumist, siis on parempoolselt jooniselt näha, kus on soojuse liikumine tähistatud

vektoritega, et märkimisväärne soojusvoog käib just läbi põranda aluse õõnespaneeli ja vundamendiploki. Sisepinna madalaim temperatuur on siseruumi nurgas 15,6 °C.



**Joonis 1.6** Välisseina, põranda ja sokli ühendussõlme simulatsioon.

### 1.3.3 Katus – välissein



**Joonis 1.7** Katuse ja välisseina ühendussõlm.

Katuse ja välisseina ühendussõlm on teoreetiliselt õigesti lahendatud. Välisseina soojustus jätkub katuse omaga ning puudub ilmselge külmasild (Joonis 1.7). Ka joonisel 1.8 näidatud simulatsioonis on näha, kuidas temperatuur langeb seestpoolt väljapoole liikudes ühtlaselt. Samuti on soojusvoog kogu tarindite ühenduskohas ühtlane. Küll tekitab muret aga see, kui kiiresti temperatuur langeb, olles juba pärast katuse alust OSB-plaati umbes 14-kraadi juures. Madalaim sisepinna temperatuur on ühenduskoha nurgas 17,9 °C.

Siinkohal aitaks energiatõhusust parandada lihtsalt soojustuskihi suurendamine. Võimalikud lahendused selle teostamiseks on ära toodud töö kolmandas osas ning lõplik lahendus ka rekonstrueerimisprojektis. Kindlasti tuleb ka soojustuskihi suurenamisel ning uue lahenduse välja pakkumisel kontrollida uue piirde niiskustehnilist toimivust, eriti kuna varasemalt on just katuse puhul olnud probleeme liigse niiskusega. Seda on tehtud töö peatükkides 3.1.1 ja 3.1.3.



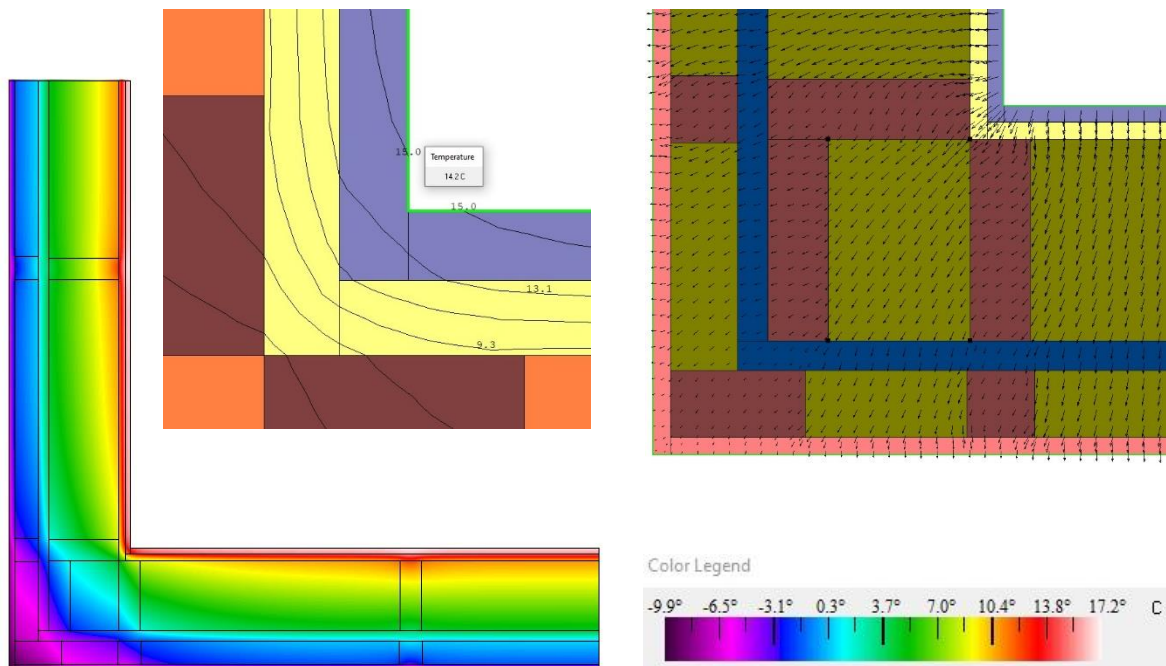


**Joonis 1.8** Katuse ja välisseina ühendussõlme simulatsioon.

### 1.3.4 Välissein – välissein

Edasisi arvutusi silmas pidades on koostatud arvutused ka välisseina välisnurgale. Kuna antud programmiga on hea võimalus vaadelda seina karkassina, siis seda on ka tehtud.

Soojusvood on antud seinatüübile ehk puitkarkass-seinale omased ehk soojusvoog toimub paremini läbi karkassipostide ning vahepealne soojustus juhib soojust kehvemini. Minimaalne sisepinna temperatuur on 14,2 °C.



**Joonis 1.9** Välisseina välisnurga simulatsioon

## 1.4 Hoonepiirete õhulekke määramine ventilaatoriga survestamise meetodil

Kvaliteetse rekonstrueerimise aluseks on olemasoleva olukorra võimalikult täpne tundmine. Seetõttu on lisaks visuaalsele vaatlusele otsustatud läbi viia hoones ka õhulekkeuuring, et oleks selgem ülevaade probleemsetest kohtadest.

Hoone piirdetarindite ja selle osade õhulekkeid saab määrata ventilaatoriga survestamise meetodil. Seda võib kasutada näiteks:

- hoone või selle osa õhulekke mõõtmiseks, võrdluseks ehitusprojekti kindlaksmääratud väärtusega;
- mitme sarnase hoone või hoone osa õhulekke võrdlemiseks;
- olemasolevas hoones või hoone osas renoveerimistöde käigus õhulekke vähendamiseks rakendatud meetmete tulemuslikkuse määramiseks. [5], lk 7

Ventilaatoriga survestamise meetod ei mõõda hoone infiltratsiooni õhuvoolu hulka, vaid saadud tulemusi kasutatakse infiltratsiooni õhuvoolu hulga ja sellest tuleneva soojuskao hindamiseks arvutuste teel. Õhuvooluhulga otseseks mõõtmiseks võib soovi korral kasutada näiteks märkegaasi meetodit. Ventilaatoriga survestamise meetod on

kasutatav läbi hoone piirdetarindite hoonesse liikuvate õhuvoolu hulkade mõõtmiseks väljast sisse ja vastupidi. [5], lk 7

Uuemad seadmed ja tarkvarad arvutavad muidugi õhuvooluhulga juba ise välja ning katse läbiviijale jääb vaid analüüsi tegemine.

Ideaalseteks tingimusteks õhulekke määramiseks ventilaatoriga survestamise meetodil on väikesed temperatuurierinevused ja väike tuule kiirus. Seega oleks ideaalne teha katsed hiliskevadel või suve alguses, mil välis- ja siseõhutemperatuurid on suhteliselt sarnased. [5], lk 7

### **1.4.1 Mõõtmismeetod**

Hoonepiirete õhulekke mõõtmiseks on kaks võimalust: hoones või selle osas tekitatakse kas alarõhk ehk hoone sees on õhurõhk väikesem kui väljas või ülerõhk, mis on täpselt vastupidine olukord. Kumba nimetatud meetoditest kasutatakse, pole oluline. Mõõtmistäpsus sõltub suuresti kasutatavatest seadmetest ning keskkonnatingimustest mõõtmise ajal. [5], lk 11

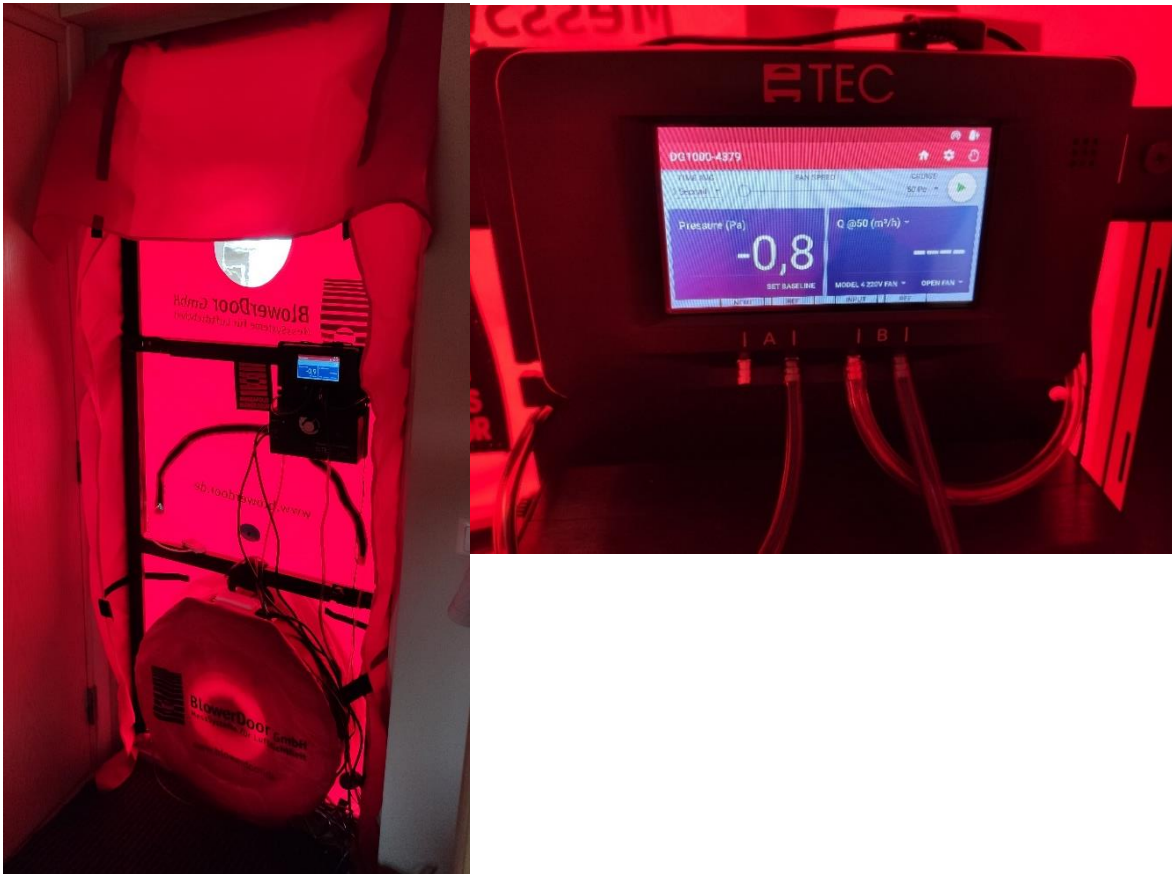
Mõõdetava hoone või selle osa ulatus oleneb katse eesmärgist ning on määratletud erinevate olukordade kaudu. Antud töö kontekstis hõlmab mõõdetav hoone kõiki sisekliima tagamisega ruume ehk ruume, mida on ette nähtud kas otseselt või kaudselt kütta, jahutada ja ventileerida. Hea tava kohaselt tuleks mõõta tekitatud rõhku ka külgnevates ruumides (pööningud, keldrid jne.), kuna antud katsemeetod võib tekitada õhuvoolu ka nendest ruumidest või neist välja. [5], lk 11-12

### **1.4.2 Katse kirjeldus**

Veskitamme vkt 5 väikeelamu õhulekke määramise test viidi läbi 12. mail 2020. aastal. Välisõhu temperatuur oli 10 °C ning keskmine tuulekiirus 1,3 m/s. Esialgelt oli plaanis läbi viia nii üle- kui ka alarõhutest, kuid pärast alarõhutesti läbi viimist oli hoone olukord tegelikult teada ning ülerõhutesti ei peetud katse läbi viijate pool enam vajalikuks. Katse protokoll on leitav töö lisadest (Lisa 1).

Enne katse läbi viimist kaeti kinni kõik ventilatsiooniavad ja ahjuüksed, mille kaudu õhk tavaolukorras ongi mõeldud välja või sisse liikuma. Kõik hoone piirdetarindite aknad, uksed ja luugid suleti. Katse läbi viimise kohaks valiti hoone välisuks ehk see suleti ajutiselt õhutihedalt (Joonis 1.10). Seejärel seati üles katseseadmed. Kasutatud seadmed olid:

- Õhuvoolu tekitamise seade: BlowerDoor GmbH Model 4 (seeria number CE6209)
- Õhurõhu erinevuse ja õhuvooluhulga mõõteseade: BlowerDoor GmbH DG1000 (seeria numer 4379)
- Katseks kasutatud tarkvara: TECTITE Express 5.1



**Joonis 1.10** Õhulekke uurimise seadmed: õhuvoolu tekitamise seade ehk ventilaator (vasakul) ja õhurõhu ning õhuvoolu hulga mõõtmisseade (paremal).

Esmalt korrigeeriti katse alustamiseks rõhumõõteseade nullnäitu (tulemused tabelis 1.10). Selleks suleti ajutiselt ventilaatori ava ning mõõdeti loomulike sise- ja välisrõhu vahe 30 sekundi jooksul ja arvutatakse järgmised suurused:

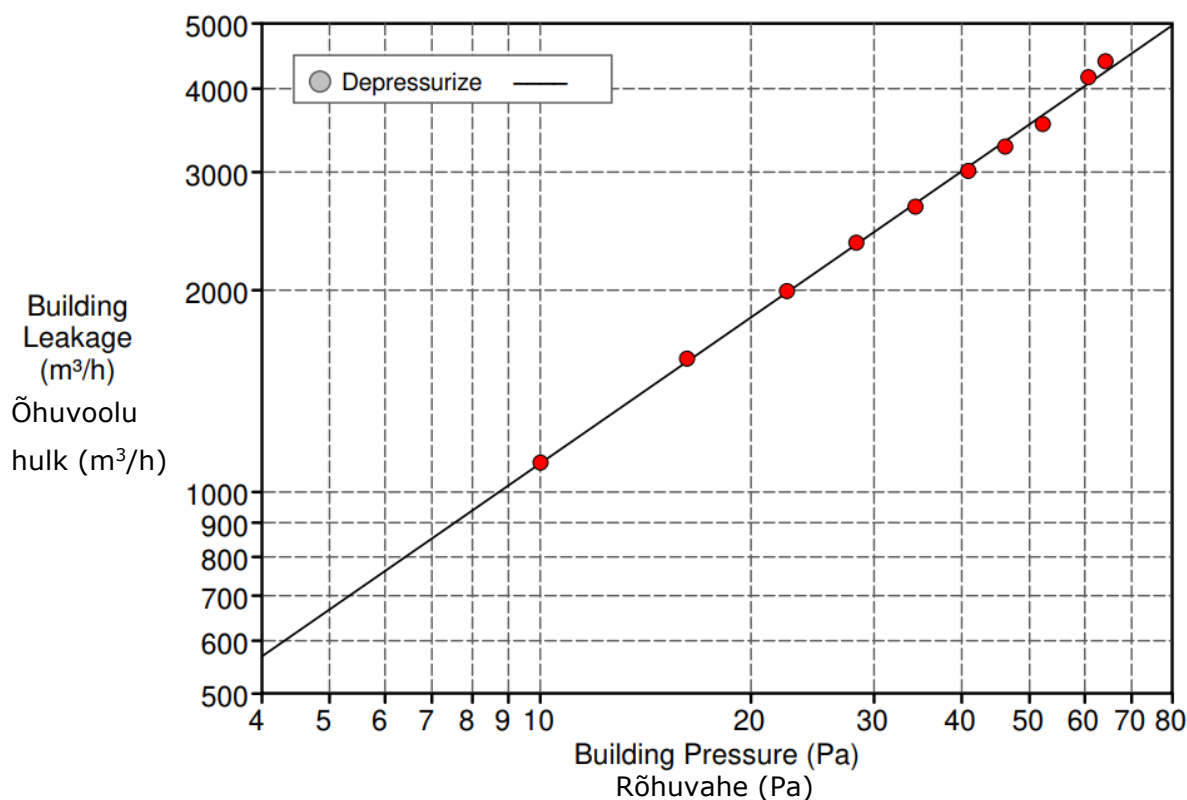
- loomuliku rõhuvahe positiivsete väärtuste keskmine,  $\Delta p_{01+}$ ;
- loomuliku rõhuvahe negatiivsete väärtuste keskmine,  $\Delta p_{01-}$ ;
- loomuliku rõhuvahe kõikide väärtuste keskmine,  $\Delta p_{01}$ . [5], lk 13

**Tabel 1.10** Loomulikud õhurõhuvahed enne testi algust

$\Delta p_{01-}$	$\Delta p_{01+}$	$\Delta p_{01}$
-1,5	0,0	-1,5

Seejärel eemaldati ventilaatorilt ajutine kate ja käivitati katse. Esimene mõõtmine tehti 10 Pa rõhuvahe juures ning järgmised mõõtmised toimusid umbes iga 5-10 Pa rõhuvahe

suurenemise juures. Joonisel on tehtud mõõtmised näidatud punaste punktidenä ning nendel abil välja joonistuv õhulekke graafik.



**Joonis 1.11** Õhulekke graafik

Pärast katse lõppemist kaeti ventilaator uuesti ning kontrolliti, et loomulik sise- ja välisrõhu vahe jääks lubatud piiridesse, et katse saaks standardile vastavaks lugeda. Ükski eelnimetatud loomuliku rõhuvahe suuruste absoluutväärtustest ei tohi olla suurem kui 5 MPa. [5], lk 13 Saadud tulemused on tabelis 1.11.

**Tabel 1.11** Loomulikud õhurõhuvahed pärast testi lõppemist

$\Delta p_{02-}$	$\Delta p_{02+}$	$\Delta p_{02}$
-1,0	0,0	-1,0

### 1.4.3 Katse analüüs

Katses tuli välja üks kõige olulisem näitaja – õhulekkevooluhulk referentsrõhul 50 Pa.  $q_{50} = 3539 \text{ m}^3/\text{h}$ . Hoone välispiirete pindala arvesse võttes saame õhulekkearu, mis on  $q_{50} = 3539/320 = 11,06 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ .

Hetkel kehtiv määrus „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded“, sätestab, et kui välispiirde õhuleket ei ole mõõdetud või muul viisil tõendatud, tehakse energiaarvutus tabelis 1.12 toodud hoone õhulekkearu baasväärtusega. [6], § 9

**Tabel 1.12** Hoone õhulekkearvu baasväärtused välispiirde ruutmeetri kohta

Kasutusotstarve	Õhulekkearvu baasväärtus m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	
	Uus hoone, oluline rekonstrueerimine	Rekonstrueerimine, olemasolev hoone
Väikeelamu	4	6
Muu hoone	2,5	4

Veskitamme vkt 5 hoone kohta kehtiks seega õhulekkearvu baasväärtusena  $q_{50} = 6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . See on üle 1,8 korra väiksem, kui tegelik saadud tulemus. See näitab selgelt, kui oluline on tegelik uuring läbi viia. Kasutades energiaarvutustest määruses etteantud baasväärtust, tuleks hoone õhulekkest tulenev soojakadu  $H_{\delta l} = 26,77 \text{ W/K}$  (arvutus töö lisades: Lisa 12). Reaalse õhulekke korral aga on sama väärtus  $H_{\delta l} = 49,45 \text{ W/K}$  (arvutus pt. 2.3.3). Seega on hoone reaalsest õhulekkest tulenev soojakadu samuti üle 1,8 korra suurem.

#### 1.4.4 Lekkekohtade tuvastamine

Suuremate õhulekkekohtade tuvastamiseks kasutati kaht meetodit:

- lekkekohtade tuvastamine märkesuitsuga
- lekkekohtade tuvastamine infapunakaameraga.

Infrapunakaameraga õhulekkekohtade tuvastamist on täpsemalt kirjeldatud töö järgmises peatükis 1.4.5.

Märkesuitsuga lekkekohtade tuvastamiseks käivitati taaskord ventilaator ning tekitati suitsumasinaga suitsu nende hoone liitekohtade juures, kus suuremat leket kahtlustati.

Üht tõeliselt suurt lekkekohta välja ei tulnudki, kuigi seda eeldati. Samas oli eelnevalt leitud õhulekkearv suhteliselt suur. Sellest järeldati, et õhk lekib suuresti läbi piirdetarindi üldiselt, mitte ainult tarindite liitekohtadest ja seda eriti teisel korrusel. Selle järelduse kasuks räägib ka fakt, et teise korruse seinu katab ainult teipimata liitekohtadega 13 mm paksune OSB-plaat, millele järgneb kohe katusesarikas koos villaga.



Mõned märkimisväärsamad lekkekohad siiski tuvastati. Eelkõige oli näha suuremat õhu liikumist läbi piirdetarindi katuslael, just katusekatte katkestuste kohtadel nagu korstnate läbiviigid ja katuseaknad ning lisaks näiteks katuse harjatala toetava posti juures.



**Joonis 1.12** Märkesuitsuga lekkekohtade leidmine – korstna läbiviik katusest



**Joonis 1.13** Märkesuitsuga lekkekohtade leidmine – katuse harjatala toetuspost

Üldtuntud füüsikaline tõde on, et soe õhk liigub ülesse. Fakt, et suuremad lekkekohad avastati just teisel korrusel, näitab hästi, miks hoone sisekliima ja eriti sisetemperatuur on väga kõikumavad. Talvisel ajal jahtub hoone väga kiiresti maha, külmemal päeval võib tekkida vajadus päevas kaks korda kütta. Sellest saabki järeldada, et nii üldise suure õhulekkearvu kui ka katuses suuremate lekkekohtade olemasolu on suuresti maja kütteenergia kulu põhjustajad.

### 1.4.5 Lekkekohtade tuvastamine infrapunakaameraga ja termograafia

Teise õhulekkekohtade tuvastamise moodusena kasutati koos rõhkude erinevuse tekitamisega ka infrapunakaamerat. Üles pildistati nii arvatavad lekkekohad kui ka juba eelnevalt märkesuitsuga avastatud kohad. Lisaks oli võimalik infapunakaameraga ka külmasildasid tuvastada. Termograafia protokoll on leitav töö lisades (Lisa 2).

Esmalt pildistati juba märkesuitsuga tuvastatud lekkekohti. Joonisel Joonis 1.14 on näha sama korstna läbiviik nagu ka joonisel Joonis 1.12. On selgelt näha, et tegemist on lekkekohaga, madalaim temperatuur on selles piirkonnas 13,4 °C. Termopildil on kõrval toodud ühtlase, ilma õhuleketeta tarindi piirkond, selle keskmine temperatuur on 16,1 °C.



Joonis 1.14 Korstna läbiviigu termopilt

Märkesuitsuga ei saanud tuvastada aga külmasildasid piirdetarindites ja väiksemaid õhulekkekohti. Termokaameraga olid aga hästi näha näiteks külmasillad akende ümbruses. Näitena on joonisel Joonis 1.16 toodud pilt köögi aknast. Kõige külmem punkt akna ümbruses oli 11,8 °C, ilma külmasillata välisseina keskmine temperatuur oli aga 17,8 °C. Siinkohal on hea leida külmasilla temperatuuriindeks valemiga (1.3).

$$f_{Rsi} = \frac{11,8 - 10}{20 - 10} = 0,18$$

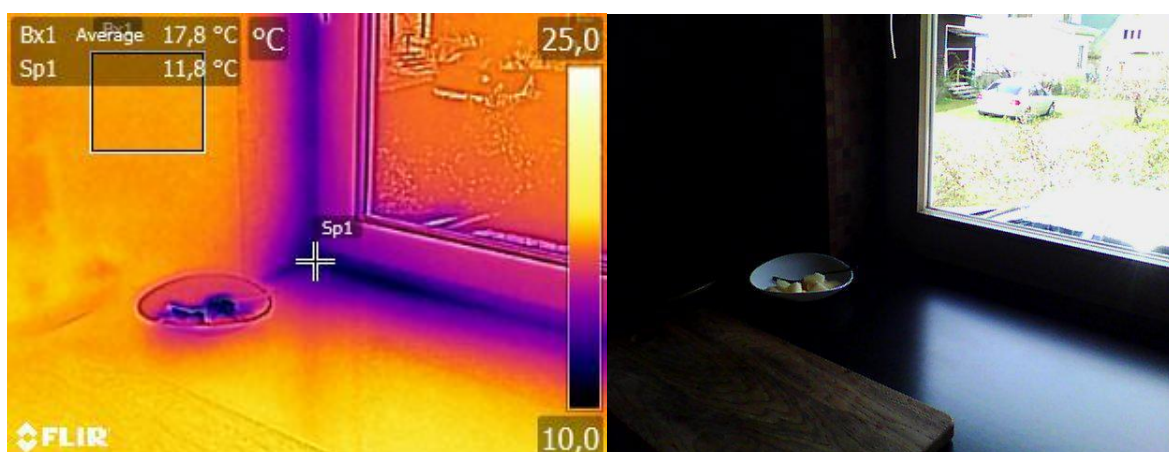
Standardis EVS\_EN ISO 13788:2012 on toodud temperatuuriindeksite piirsuurused aknaraamile veeauru kondenseerumise näiteks. Need on näidatud tabelis 1.13 [7], lk 51



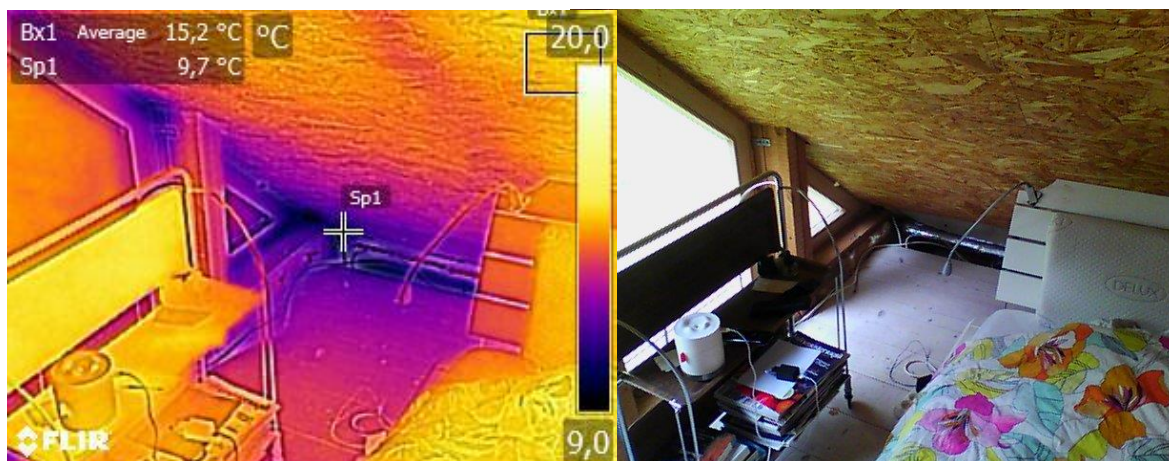
**Tabel 1.13** Temperatuuriindeksite piirsuurused Eestis hoonete projekteerimisel aknaraamile veeauru kondenseerumise vältimiseks

Niiskusklass	Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{Rsi}$ , min
3	$\geq 0,7$
$\leq 2$	$\geq 0,55$

On selge, et temperatuuriindeks on liiga väike ehk pinna kondenseerumise oht on olemas. Ei ole harv, kui külmematel talvapäevadel võib aknaraamilt näiteks hommikuti leida niiskust. Põhjus ongi suures külmasillas, mis põhjustab vee kondenseerumise.



**Joonis 1.16** Akna ja välissein ühendussõlme termopilt



**Joonis 1.15** Välisseina välisnurga ja katuse ühendussõlme termopilt

Üks suurimaid külmasildasid tuli välja teisel korrusel (Joonis 1.15). Tegemist on välisseina välisnurga ja katuse ühenduskohaga. Seal oli piirdetarindi sisepinna temperatuur võrdne välisõhu temperatuuriga. Lisaks on jooniselt hästi näha ka lekkekoht kahe OSB-plaadi ühenduskoha vahel.

Termograafiast tuli hästi välja, et lisaks suurele õhulekkearvule on hoones hulgaliselt külmasildu. Enamus neist olid muidugi ka aimatavad, kuid töö autor pidas neid enne termograafia tegemist oluliselt vähem tähtsaks ehk ei arvanud, et need nii suured on.

Hoones esineb ka suurele õhulekkele omaseid probleeme nagu näiteks tuuletõmbus hoones sees, külmad põrandad ja õhkavad pistikupesad. Nii õhulekkeuuring kui ka termograafia kinnitavad fakti, et soovi korral hoone korralikult rekonstrueerida, tuleks kõik vanad piirdetarindite osad (v.a. kandev konstruktsioon) eemaldada ning täiesti uuesti teha.

Algne soov oli säilitada kõik konstruktsiooni kihid karkassist ja sarikast sissepoole ning hoone uuesti soojustada vaid väljast. Sellega oleks aga tekkinud olukord, kus siseõhk oleks saanud endiselt läbi tarindite saanud välja liikuda ning siis uue ja paksema soojustuskihi sisse „kinni jäänud“ ning see oleks oluliselt suurendanud veeauru kondenseerumise riski piirdetarindis.

## 2. VÄIKEELAMU ENERGIAKLASS

Antud lõputöö osas annab autor ülevaate hetkel Eesti Vabariigis kehtivatest hoone energiatõhususe nõuetest ning määrab olemasolevale hoonetele energiatõhususarvu ETA ja kaalutud energiakasutusel KEK põhineva energiamärgise. Osa lõpus analüüsib autor saadud tulemust.

Energiatõhususarv leitakse nii majandusministeeriumi poolt ette antud kalkulaatori abil kui ka arvutatakse vastavalt määruses ja standardites toodud valemitega. Põhiline põhjus on selleks asjaolu, et kalkulaator on eelkõige mõeldud uute hoonete ja oluliseks rekonstrueeritavate hoonete projekti järgi arvutamiseks ning ei pruugi anda konkreetse hoone puhul piisavalt ülevaatliku tulemust. Kuna tegemist on juba olemasoleva hoonega, on vaja põhjalik arvutus läbi teha selleks, et täpselt kaardistada murekohad ning teada saada, mida ja mil määral üldse muuta.

Madalenergiahoone kavandamisel tuleb jälgida nelja põhilist aspekti:

- hoone välispiirete soojuserikadu köetava pinna kohta peab olema väike;
- vabasoojust kasutatakse otstarbekalt;
- hoone tehnosüsteemid peavad olema energiatõhusad;
- hoone primaarenergiakasutus peab olema väike ehk hoonesse tarnitaks vähem ja väikseima keskkonnamõjuga energiat. [8], lk 5

Siiski ei ole madalenergiahoone veel liginullenergiahoone. Lisaks eelpool toodule peab liginullenergiahoone nõuete täitmiseks tootma energiat hoone krundil või läbiümbruses taastuvatest allikatest. Samas tasub märkida, et liginullenergia mõiste all ei peeta silmas hoonet, mis ei tarbiks üldse krundivälisest energiat. Hoone on siiski ühendatud energiavõrkudega, näiteks elektri- või gaasivõrk. [8], lk 5

Ehitise energiatõhususe nõuete eesmärk on tagada hoonete keskkonnasäästlikkus ja hea sisekliima majanduslikult tõhusal viisil. Kusjuures, energiat ei tohi säästa sisekliima arvelt ehk madal- ja liginullenergiahoones peab olema tagatud hea ja tervislik sisekliima vaatamata väikesele energiakulule. [8]. lk 6

### 2.1 Hoone energiatõhususe miinimumnõuded

Hetkel kehtivad energiatõhususe miinimumnõuded on vastu võetud 11.12.2018 ning jõustunud 01.01.2019, hetkel kehtiv redaktsioon on jõustunud 25.08.2019. Energiatõhususe miinimumnõuded on hoonete summaarse energiatarbimise

piirmäärad, millele vastavust hinnatakse ehitusprojekti alusel juba hoone projekteerimisel. Nõudeid tuleb järgida nii uue hoone püstitamisel kui ka olulisel rekonstrueerimisel. Energiatõhususe nõuded kehtestatakse hoonele tervikuna. Hoone koosseisu arvatakse energiatõhususarvu arvutamisel lisaks piiretele ja tehnosüsteemidele hoonesse või kinnistule paigaldatud hoonet teenindav lokaalse energiatootmise süsteem. [9]

Energiatõhususarv kehtiva määruse tähenduses on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone kätava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel [9]. Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ei tohi ületada määruse lisas esitatud piirväärtusi, mis on toodud tabelis 2.1.

**Tabel 2.1** Oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususarvude piirväärtused

Hoone		kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
1)	väikeelamu kätava pinnaga < 120 m <sup>2</sup>	185
2)	väikeelamu kätava pinnaga 120 – 220 m <sup>2</sup> ja ridaelamu	160
3)	väikeelamu kätava pinnaga > 220 m <sup>2</sup>	140
4)	...	

Kuigi määrus sätestab, et liginullenergiahoone nõuet ei kohaldata väikeelamule kätava pinnaga kuni 220 ruutmeetrit, on see siiski antud rekonstrueerimise eesmärgiks võetud. Seda eelkõige sellepärast, et hoone omanikud ise seda soovivad ning sellisel juhul on võimalik taotleda hoone rekonstrueerimiseks SA Kredexi toetust. Tabelis 2.2 on toodud määruuses sätestatud liginullenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused.

**Tabel 2.2** Liginullenergiahoonete energiatõhususarvude piirväärtused

Hoone		kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
1)	väikeelamu kätava pinnaga < 120 m <sup>2</sup>	145
2)	väikeelamu kätava pinnaga 120 – 220 m <sup>2</sup> ja ridaelamu	120
3)	väikeelamu kätava pinnaga > 220 m <sup>2</sup>	100
4)	...	

## 2.2 Kaalutud energiakasutuse ja energiatõhususarvu klassi määramine

Eestis mõõdetakse hoonete energiatõhusust energiatõhususarvu ETA ja kaalutud energiakasutuse KEK abil. ETA ja KEK tähendavad sama asja, summaarset kaalutud energiakasutust köetava pinna ruutmeetri kohta, ainukese erinevusena on ETA arvutuslik uute hoonete projekteerimisel ja energiamärgisel ning KEK tarbimisandmetel põhinev olemasolevate hoonete energiamärgisel. [10], lk 9

Hoone energiamärgis põhineb väikeelamu puhul energiatõhususe miinimumnõuete määruuses sätestatud energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamise lihtsustatud meetodil. Projekteeritavale või oluliselt rekonstrueeritavale hoonele antakse energiaarvutusel või väikeelamu puhul energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamise lihtsustatud meetodil põhinev energiamärgis. [11]

Hoone kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klassi skaala valitakse hoone kasutamise otstarbe alusel. Olemasoleva hoone kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klass määratakse kindlaks lähtuvalt hoone kaalutud energiaerikasutusest, mis on määratud kindlaks hetkel kehtiva määruse „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele“ § 14 alusel. [11] Skaalad on ära toodud määruse lisas nr 3 ning antud töö kontekstis oluline skaala on näidatud tabelis 2.3

**Tabel 2.3** Väikeelamu köetava pinnaga < 120 m<sup>2</sup> energiatõhususarv (ETA) või kaalutud energiakasutuse (KEK) klassi skaala

ETA või KEK, kWh/m <sup>2</sup> a	Klass
ETA või KEK ≤ 145	A
146 ≤ ETA või KEK ≤ 165	B
166 ≤ ETA või KEK ≤ 185	C
186 ≤ ETA või KEK ≤ 235	D
236 ≤ ETA või KEK ≤ 285	E
286 ≤ ETA või KEK ≤ 350	F
351 ≤ ETA või KEK ≤ 420	G
ETA või KEK ≤ 421	H

Veskitamme 5 elamu puhul koostab autor arvutused nii energiatõhususarvule (ETA) kui ka kaalutud energiakasutuse (KEK) kohta ning võrdleb saadud tulemusi. Mõlemate saadud tulemuste põhjal pakub autor välja ka lahendused hoone energiasäästlikumaks muutmisel.

## 2.3 Hoone soojuskaod

Põhiliselt kandub hoonest soojust väliskeskkonda neljal viisil:

- Soojusjuhtivuse teel läbi piirdetarindite;
- Ventilatsiooniõhuga kontrollimatu konvektsiooni läbi;
- Konvektsiooni teel koos kanalisatsiooni juhitud sooja veega,
- Soojuskiirguse teel läbi akende. [12], lk 26

Antud töös on Veskitamme 5 hoone puhul uuritud kolme eeltoodud neljast punktist. Välja on jäetud soojuskadu läbi kanalisatsiooni juhitud sooja vee. Kuna antud arvutuseks on vajalik teada vee tarbimist, siis ei saa seda lihtsalt leida, sest vesi tuleb hoonesse õue peal olevast kaevust ning kanalisatsioon on lahendatud imbväljakuna. Seega puudub hoone elanikel ülevaade reaalsest tarbitava vee hulgast.

Lisaks, kuigi sooja vee kanalisatsiooni laskmisest tulenevat soojuskadu on küll võimalik soojavaheti või – pumba abil vähendada, siis väikese eramaja puhul ei oleks võit märkimisväärne. Pigem muutub see tasuvaks hoonetes, kus sooja vee tarbimine on suur, näiteks ujulates või kortermajades. [12], lk 38

### 2.3.1 Piirdetarindite soojuserikaod

Hoone kõige suuremad soojakaod on juhtivuse teel läbi piirdetarindite ehk seinade, akende, lagede ja põrandate. Piirdetarindite soojuskadusid ongi vaja teada selleks, et hinnata hoone energiatõhusust ja projekteerida hoone kütte- ja ventilatsioonisüsteeme. [3], lk 4

Hoone soojuskadu läbi piirdetarindite sõltub piirde pindalast, tarindi soojuslähivusest, eraldatavate keskkondade temperatuuride vahest ja ajast. Lisaks mõjutavad hoone soojuskadusid tarindite õhupidavus ja külmasildade olemasolu, samuti antud aasta ilmastik ja päikesepaiste hulk. Sellest tulenevalt on soojuskadude arvutused paratamatult ligikaudsed. [13], lk 161

Jättes välja inimesest sõltumatud komponendid, on neist kolm põhilist, mida muutes saame oluliselt parandada ka hoone soojapidavust. Soojakadusid on võimalik vähendada, kui välispiirdetarindid on piisavalt soojustatud, minimaalsete külmasildadega ning õhuleketega. [8], lk 14

Kogu hoone soojuserikao leidmiseks tuleb kokku liita hoone piirdetarindite ja ventilatsiooni soojuserikad [14], lk 7:

$$H = H_j + H_{ks} + H_{\delta l} + H_{vent} \quad (2.1)$$

, kus

$H_j$  – piirdetarindite juhtivuslikud soojuserikad, W/K;

$H_{ks}$  – piirdetarindite külmasildade soojuserikad, W/K;

$H_{\delta l}$  – hoone õhulekkest tulenev soojuserikadu, W/K;

$H_{vent}$  – hoone ventilatsioonist tulenev soojuserikadu, W/K;

$H$  – soojuserikad kokku.

Piirete soojusläbivuse arvutusmeetodil on kolm põhimõtet:

- arvutatakse piirdetaringi iga soojuslikult homogeense kihi soojustakistus;
- määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus;
- arvutatakse piirde soojusläbivus, mida korrigeeritakse, arvestades mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katusele, soojustuse õhuerijuhtivuse ja külmasildade mõju. [8], lk 14

Soojusjuhtivuse leidmisel tuleb arvesse võtta ka tarindi soojuslikku homogeensust. Soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarindi soojusjuhtivuse leidmiseks võib kasutada valemist (2.2). [15], lk 16

$$U = \frac{1}{R_T}, W/(m^2K) \quad (2.2)$$

,kus

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

$U$  – piirde soojusjuhtivus,  $W/(m^2K)$

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus  $R_T$  saame leida valemiga (2.3). [15], lk 17

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2.3)$$

,kus:

$R_T$  – piirde kogusoojustakistus,  $m^2K/W$

$R_1, R_2$  – piirdetarindi iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus,  $m^2K/W$

$R_{si}$  – piirdetarindi sisepinna soojustakistus,  $m^2K/W$

$R_{se}$  – piirdetarindi välispinna soojustakistus,  $m^2K/W$

Piirdetarindi iga soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus leitakse valemiga (2.4). [15], lk 17

$$R_n = \frac{d}{\lambda_d} \quad (2.4)$$

,kus:

$R_n$  – piirdetarindi materjalikihi arvutuslik soojustakistus,  $m^2K/W$

$d$  – materjalikihi paksus, m

$\lambda_d$  – materjaliarvutuslik soojuserijuhtivus,  $W/(mK)$

Mittehomogeense piirdetarindi kogusoojutakistus [15], lk 18:

$$R_t = \frac{R'_t + R''_t}{2}, \frac{m^2K}{W} \quad (2.5)$$

,kus

$R_t$  - mittehomogeense piirdetarindi kogusoojustakistus;

$R'_t$  – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadetakse pinnaga risti olevaid seksioone);

$R''_t$  - mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadetakse pinnaga paralleelselt olevaid seksioone).

Mittehomogeense piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus [15], lk 19:

$$R'_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{ta}} + \frac{A_b}{R_{tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{tn}}}, \frac{m^2K}{W} \quad (2.6)$$

,kus

$A_a \dots A_n$  – piirdetarindi üksikute seksioonide pindala,  $m^2$

$R_{ta} \dots R_{tn}$  – piirdetarindi üksikute seksioonide soojustakistused, mis arvutatakse valemiga (2.4).

Mittehomogeense piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus [15], lk 20

$$R''_t = R_{si} + R_1 + R_x + \dots + R_n + R_{se}, \frac{m^2K}{W} \quad (2.7)$$

,kus

$R_{si}$  – piirdetarindi sisepinna soojustakistus (tabel 2.4)

$R_{se}$  – piirdetarindi välispinna soojustakistus (tabel 2.4)

$R_1 \dots R_n$  – iga kihi soojustakistus eraldi

Maksimaalne suhteline viga: [15], lk 21

$$e = \frac{R'_t - R''_t}{2R_t} * 100 \quad (2.8)$$

,kus

$R'_t$  – mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus;



$R_t''$  - mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus;

$R_t$  - piirde kogusoojustakistus.

Tabelis 2.4 on toodud piirdetarindite välis- ja sisepinna soojuskistused vastavalt soojavoolu suunale. [15], lk 22

**Tabel 2.4** Pinnakihtide soojatakistus  $m^2K/W$

Sisepind ( $R_{si}$ )			Välispind ( $R_{se}$ )		
Soojavoolu suund					
üles	rõhtne	alla	üles	rõhtne	alla
0,10	0,13	0,17	0,04	0,04	0,04

Akna soojusjuhtivuse  $U_a$  arvutatakse järgmise valemiga (2.9): [6], § 12

$$U_a = \frac{(U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k l_k)}{A_k + A_r + A_p} \quad (2.9)$$

,kus:

$U_a$  – Akna soojaläbivus,  $W/(m^2K)$

$U_k$  – klaasiosa soojusläbivus,  $W/(m^2K)$

$A_k$  – klaasiosa pindala,  $m^2$

$U_r$  – lengi- ja raamiosa soojusläbivus,  $W/(m^2K)$

$A_r$  – lengi- ja raamiosa pindala,  $m^2$

$U_p$  – läbipaistmatu kilbiosa soojusläbivus,  $W/(m^2K)$

$A_p$  – läbipaistmatu kilbiosa pindala,  $m^2$

$\Psi_k$  -klaasiserva joonkülmasilla lisajuhtivus,  $W/(mK)$

$l_k$  – klaasiserva perimeetri pikkus,  $m$

Hoonel on kogu ulatuses ka kütmata kelder, mis on nii tuulutamata kui ka soojustamata. Sellest tulenevalt arvutatakse põranda soojusjuhtivus teisiti, valemiga (2.10). [16], lk 28:

$$\frac{1}{U_{ub}} = \frac{1}{U_{f,sus}} + \frac{A}{(A * U_{fg;b}) + (z * P * U_{wg;b}) + (h * P * U_w) + (c_p * \rho * n * V)} \quad (2.10)$$

,kus

$U_{f,sus}$  – väliskeskkonna ja keldri vahelise põranda soojusläbivus,  $W/(m^2K)$ ;

$U_w$  – keldriseinte soojusläbivus maapinnast kõrgemal,  $W/(m^2K)$ ;

$h$  – keldriseinte kõrgus maapinnast kõrgemal,  $m$ ;

$c_p$  – õhu erisoojus konstantsel rõhul,  $Wh/kgK$

$\rho$  – õhu tihedus,  $kg/m^3$ ;

$n$  – keldri õhuvahetuskordus tunnis,  $h^{-1}$ , (täpsema info puudumisel  $n=0,3$ );

V – keldri sisemaht, m<sup>3</sup>;

z – põrandaaluse ruumi põhja sügavus maapinna suhtes, m.

Soojustamata või mõõdukalt soojustatud keldri põranda soojuslähivus  $U_{fg;b}$  leitakse valemiga (2.11) [16], lk 27:

$$U_{fg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi * B + d_f + 0,5z} * \ln\left(\frac{\pi B}{d_f + 0,5z} + 1\right) \quad (2.11)$$

,kus:

$U_{fg;b}$  – keldri põranda soojuslähivus; W/m<sup>2</sup>K;

$\lambda_g$  – pinnase soojusjuhtivus, W/mK;

B – põranda tunnusmõõtmed, m

$d_f$  – keldripõranda ekvivalentne kogupaksus

z – põrandaaluse ruumi põhja sügavus maapinna suhtes, m.

Keldriseinte soojustakistus leitakse valemiga (2.12) [16], lk 27:

$$U_{wg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi * z} * \left(1 + \frac{0,5d_f}{d_f + z}\right) * \ln\left(\frac{z}{d_f} + 1\right) \quad (2.12)$$

,kus:

$U_{wg;b}$  – keldri välisseina soojuslähivus, W/m<sup>2</sup>K;

$\lambda_g$  – pinnase soojuserijuhtivus, W/mK;

$d_f$  – keldripõranda ekvivalentne kogupaksus, m;

z – põrandaaluse ruumi põhja sügavus maapinna suhtes, m.

Põranda tunnusmõõtmed on leitavad valemiga (2.13) [16], lk 20:

$$B = \frac{A}{0,5P} \quad (2.13)$$

,kus:

B – põranda tunnusmõõt, m;

A – põranda pindala, m<sup>2</sup>;

P – siseruumi avatud põranda perimeeter, m.

Põranda kogupaksus leitakse valemiga [16], lk 21:

$$d_f = d_{w;e} + \lambda_g(R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) \quad (2.14)$$

,kus:

$d_f$  – põranda ekvivalentne kogupaksus m;

$d_{w;e}$  – välisseina või vundamendi seinaga kogupaksus koos kõigi kihtidega (välisseina sisepinna ja sokli välispinna vaheline kaugus), m;

$\lambda_g$  – pinnase soojuserijuhtivus, W/mK;

$R_{f,sog}$  – põrandaplaadi soojustakistus,  $m^2K/W$ ;

$R_{si}$  – sisepinna soojustakistus,  $m^2K/W$ ;

$R_{se}$  – välispinna soojustakistus,  $m^2K/W$ ;

### 2.3.2 Piirdetarindite külmasildade soojuserikaod

Külmasild on tarindi piirkond, mille soojusjuhtivus kogu tarindi teistest osadest on märkimisväärselt suurem. Külmasillad jagatakse:

- geomeetrilised külmasillad;
- konstruktsioonilised külmasillad;
- kohtkülmasillad (näiteks raudbetoonsillus kergplokkseinas, tarindit läbiv karkassipost jt.);
- joonkülmasillad (näiteks hoone välisnurgad, puitpostid sõrestikseinas, akende ja uste piida perimeeter jt.);
- punktkülmasillad (näiteks soojustust läbivad ankrud ja kinnitid, rõdude ja varikatuste kandetalad jt. ). [12], lk 34

Külmasildadega arvestamine on tähtis järgnevatel põhjustel:

- Külmasilla suurema soojusjuhtivuse tõttu on sisepinna temperatuur madalam ning sellest omakorda tingituna on suhteline niiskus kõrgem. See niiskus võib põhjustada tarindis või selle sisepinnal mikroorganismide kasvu, seina määrdumist või veeauru kondenseerumist pinnal;
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel tekitavad suuremat õhuliikumist ja ebasümmeetrilist kiirgust, mis vähendab soojuslikku mugavust;
- Hoone energiakulu suureneb külmasildade tõttu. [8], lk 17

Joonkülmasildadest tulenev soojuserikadu leitakse valemiga (2.15): [14], lk 9

$$H_{ks} = \sum \Psi_n * l_i, W/K \quad (2.15)$$

,kus

$\Psi_n$  – n-nda piirdetarindi liitekoha soojusläbivus,  $W/mK$

$l_n$  – n-nda liitekoha pikkus, m

Määrus sätestab, et tarindi liitekoha ja soojustuse katkestuse soojusläbivuse väärtus määratakse vastavalt ehitusprojekti ning materjali- või ehitustootja poolt esitatud andmetele. [6], § 12

Varasemad määruse „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika“ redaktsioonid sätestavad, milliseid väärtusi tuleks kasutada juhul, kui puuduvad täpsed andmed. Hetkel kehtiv redaktsioon seda ei tee. Küll aga viitab määrus standarditele EVS-EN ISO 10211, EVS-EN ISO 10077, EVS-EN ISO 14683, ISO 15099, millede nõuetest arvutamisel peab lähtuma.

Hoonel ei ole projekti. On küll olemas antud töö autori poolt tehtud joonised koos omaniku suusõnalise ütlusega, milliseid materjale kasutati, kuid seda ei saa võtta ehitusprojektina. Seega tugineb autor külmasildadest tuleneva soojuskao arvutustes nii standarditele ja seal esitatud väärtustele kui ka peatükis 1.3 leitud väärtustele.

### **2.3.3 Välispiirete õhuleketes ja ventilatsioonist tulenev soojuserikadu**

Veskitamme 5 hoone on algselt ehitatud loomuliku ventilatsiooniga. Enne hoone rekonstrueerimist oli hoones sees kuivkäimla ning väljatõmme toimus käimla kogumiskasti kaudu. See kadus, kui paigaldati veega WC. Lisaks on mõlemas korstnas eraldi ventilatsioonilõõr, mille väljatõmbe avased asuvad sauna pesuruumis ja köögis. Need on aga omanike poolt talvisel ajal kinni kaetud, sest siis liigub nende kaudu lausa kuuldavalt soe õhk välja. Suvisel ajal on ventilatsioonilõõrid avatud.

Lisaks ventileeritakse vajadusel lahtiste akendega, kuid siiski valdav enamus igapäevasest ventilatsioonist toimub välispiirete ebapiisava tiheduse kaudu. Elanike jaoks on eelkõige probleemiks „hõredatest“ välispiiretest tulenev suur küttevajadus, sest hoone ei „hoia sooja“ ehk jahtub suure õhulekke tõttu pärast kütmist kiiresti maha. Lisaks on põrandad külmad ning pistikupesadest õhkab talvisel ajal külma õhku, mis näitab samuti ebapiisavat välispiirete tihedust.

Hoone välispiirete õhupidavus ei ole aga probleem ainult energiatõhususe seisukohalt. See võib kaasa tuua ka rea teisi probleeme, näiteks niiskustehnilised probleemid, hallituse tekke, niiskuse kondenseerumise, piirdepindade alajahtumise, halva sisekliima, tuleohutuse vähenemise ja teisigi probleeme. [8], lk 21

Hoone õhulekke mõõtmiseks läbi piirdetarindite on teostatud kontrollmõõtmine. Lähemalt on läbi viidud katset kirjeldatud töö peatükis 0. Ventilatsioonist tulenevat soojuskadu eraldi mõõdetud ei ole.

Aasta keskmine infiltratsiooni ehk õhulekke õhuvoolumulk arvutatakse valemiga (2.7): [6], §13

$$q_i = \frac{q_{50}}{3600 * x} A, [l/s] \quad (2.16)$$

,kus

$q_i$  - aasta keskmine infiltratsiooni õhuvooluhulk  $q_i$ ,  $m^3/s$

$q_{50}$  - hoone välispiirde keskmine õhulekkearv,  $m^3/(hm^2)$

$A$  - hoone välispiirde (sealhulgas põranda) sisepindala,  $m^2$

$x$  - tegur, mis ühekorruselisele hoonele on 35, kahekorruselisele 24, ..., kusjuures korruse kõrgusena on arvestatud 3 meetrit ja korruselisuse määramisel arvestatakse üksnes maapealsete korrustega.

3600 - tegur, mis teisendab õhuvooluhulga  $m^3/h$  ühikust  $m^3/s$  ühikuks.

Hoone õhuleket on mõõdetud ning hoone keskmine õhulekkearv on  $q_{50} = 11,06 m^3/(hm^2)$ .

Õhuleketest põhjustatud soojuserikao saame leida all toodud valemiga (2.17): [14], lk 10

$$H_{\delta l} = q_i * c * \rho, [W/K] \quad (2.17)$$

,kus

$H_{\delta l}$  - hoone õhulekkest ja ventilatsioonist tulenev soojuserikadu,  $W/K$

$q_i$  - aasta keskmine infiltratsiooni õhuvooluhulk  $q_i$ ,  $m^3/s$

$c$  - õhu erisoojus,  $1005 J/kg * K$

$\rho$  - õhu tihedus,  $1,2 kg/m^3$

## 2.4 Hoone soojatulud

Põhiliselt saavad hooned soojuse oma küttesüsteemilt. Lisaks sellele võivad soojatuludele märkimisväärse panuse anda ka teised allikad, näiteks päikesekiirgus, inimesed hoones ning hoone elektriseadmed ja valgustid. Neid nimetatakse hoone vabasoojusteks. [12], 40

Veskitamme 5 olevas hoones on kombineeritud lahendusega vesikeskküte, kus köögis, esikus, sauna ees- ja pesuruumis ning WC-s on põrandaküte ja ülejäänud eluruumides radiaatorid. Keskkütte katel koos aku- ja paisupaagiga asub keldris. Lisaks on olemas ka kohtkütte lahendus, milleks on köögis asuv puupliit koos soojamüüriga.

### 2.4.1 Hoone soojatulud vabasoojusest

Vabasoojus on hoonesse sisenev päikesekiirgus, valgustuse ja seadme ning tehnosüsteemi soojuskadu ning inimeselt eralduv soojus. [9], §2

Vabasoojuse võrra ei pea ruumi nii palju kütma, sest osa soojusest tuleb n-ö vabalt kätte. Mida väikesem on hoone soojuserikadu, seda suurema osa soojuskaost kompenseerib vabasoojus ja seda vähem kulub energiat hoone kütmiseks. Samas peab projekteerimisel arvestama, et perioodil, mil kütmist ei toimu, tõstab vabasoojus liigselt ruumiõhu temperatuuri ja suurendab sellega vajadust ruumi jahutamisele. [8], lk 58

Hoone soojakaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini kaetakse vabasoojusega. Täiendavat soojust on vaja siis, kui välisõhu keskmine temperatuur on langenud alla hoone tasakaalutemperatuuri. [17], lk 22

Hoone kogu vabasoojust arvutatakse valemiga (2.18): [17], lk 22

$$\phi_{vs} = \phi_{in} + \phi_{el} + \phi_p, W \quad (2.18)$$

,kus

$\Phi_{vs}$  – hoone vabasoojused kokku

$\Phi_{in}$  – inimestes tulenev vabasoojus

$\Phi_{el}$  – valgustitest ja elektriseadmetest tulenev vabasoojus

$\Phi_p$  – päikesekiirgusest tulenev vabasoojus

**Inimestest ning valgustusest ja elektriseadmetest** tulenev vabasoojus on ära toodud määruse [6], § 6 ning antud töös tabelis 2.8.

**Tabel 2.5** Hoone tüüpiline kasutus ja sellele vastav suurim vabasoojus kõetava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Kasutusaeg			Kasutusaste	Soojuseraldus W/m <sup>2</sup>			Inimene m <sup>2</sup> /inim.
	kella-aeg	h/24h	d/7d		Valgustus	Seade	Inimene <sup>b</sup>	
Väikeelamu kõetava pinnaga <120 m <sup>2</sup>	00:00-00:00	24	7	0,6	6 <sup>c</sup>	3 <sup>d</sup>	3	28,3

Märkused tabeli kohta:

<sup>b</sup> inimese soojuseraldus sisaldab ainult ilmset soojust. Varjatud soojuse arvesse võtmiseks tuleb toodud väärtused jagada läbi teguriga 0,6.

<sup>c</sup> elamu valgustuse kasutusaste on 0,1.

<sup>d</sup> elamu seadme elektritarbimise saamiseks jagada soojuseraldus läbi teguriga 0,7.

Energiaarvutuse jaoks korrutatakse vabasoojuse leidmiseks suurim soojuseraldus kasutusastmega ehk kasutame selleks valemit (2.19): [6], § 6

$$\phi = kP, W/m^2 \quad (2.19)$$

,kus

$\Phi$  – vabasoojus,  $W/m^2$

k – kasutusaste

P – soojuseraldus,  $W/m^2$

Valguse, seadme või inimese aastane soojuseraldus leitakse valemiga (2.20): [6], § 6

$$Q = \phi \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000}, kWh/m^2a \quad (2.20)$$

,kus

$\Phi$  – vabasoojus,  $W/m^2$

$\tau_d$  – hoone kasutustundide arv ööpäevas, h

$\tau_w$  – hoone kasutuspäevade arv nädalas, d

8760 – tegur d ühiku teisendamiseks a ühikuks

1000 – tegur W ühiku teisendamiseks kW ühikuks

**Päikesekiirgus** on neljas vabasoojuse allikas. Kuigi Eesti on võrreldes lõunapoolsemate aladega suhteliselt päikesevaene, on horisontaalsele pinnale saadav kiirguse hulk küllaltki suur, ligi 1000 kWh/m<sup>2</sup>a. Vertikaalsed pinnad saavad sooja aga tunduvalt vähem ning nende saadav soojahulk sõltub suuresti sellest, millisesse ilmakaarde nad suunatud on. [12], lk 42

Kuigi teoreetiliselt on võimalik hoonet kütta ka ainult päikeseenergiaga, siis Eestis seda siiski teha ei saa. Päikesekiirgus ei jagune aasta jooksul ühtlaselt, suvekuudel saame sõltuvalt pinna suunast kätte 48...63 % kogu päikesekiirgusest. Samas just talvel, mil lisasoojust kõige rohkem vaja oleks, saame novembrist veebruarini kätte vaid 7...14 %. [12], lk 42

Päikesekiirguse vabasoojuskoormust saame arvutada valemiga (2.21): [6], § 6

$$\phi_p = \sum \phi_{ilmak} * e * K_{kl.osak} * K_{kard} * g * A_a, W \quad (2.21)$$

,kus

$\Phi_p$  – päikesekiirguse vabasoojuskoormus, W;

$\Phi_{ilmak}$  – päikese keskmine kiirgusvoog akna pinnale olenevalt ilmakaarest,  $W/m^2$ ;

e – varjutegur, 0,75;

$K_{kl.osak}$  – klaasipinna osakaal kogu aknast;

$K_{kard}$  – kardinat mõju akna valgusläbivusele, tinglikult 0,9;

$g$  – klaasiosa päikesekiirguse läbivustegur, oleneb klaaside omadusest;

$A_a$  – akna pindala koos raamiga,  $m^2$ .

Keskmine päikesekiirgusevoog horisontaalpinnale on 60,1 W/m<sup>2</sup> kohta. Kiirgusvoog aknale olenevalt ilmakaarest on toodud tabelis 2.10. [17], lk 22

**Tabel 2.6** Keskmine päikesekiirguse voog akna välispinnale olenevalt ilmakaarest

Ilmakaar	Põhi	Kirre	Ida	Kagu	Lõuna	Edel	Lääs	Loe
$\Phi_{ilmak.}$ W/m <sup>2</sup>	28,1	32,0	42,7	57,9	64,4	57,6	42,6	31,7

Kogu vabasoojust ei saa siiski ära kasutada. Hoones tekkiva vabasoojuse kasutamise hulk sõltub küttesüsteemi automatiseeritusest. Vabasoojus ei eraldu ajaliselt ega ruumiliselt ühtlaselt, seega peab küttesüsteem vabasoojuse ära kasutamiseks tekkivale vabasoojusele reageerima. Mida kiiremini süsteem seda teeb, seda efektiivsemalt vabasoojust ära kasutatakse. Termostaatventiiliga varustatud radiaatoritega majas on vabasoojuse kasustegur 0,70. [17], lk 23

Korrutades eelnevalt leitud hoone vabasoojuste summa 1,35 kW vabasoojuse kasuteguriga 0,7, saame, et kogu hoone ööpäeva vabasoojuskoormuseks 0,94 kW. Korrutades selle omakorda päevade arvuga aastas, saame, et Veskitamme 5 aastane vabasoojuskoormus on 343 kWh/a.

## 2.4.2 Netoenergiavajadus kütteks ja tasakaalutemperatuur

Hoone aastane summaarne energiakasutus on kogu hoone sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja hoone tüüpilises kasutuses sisalduvate elektriseadmete kasutamiseks vajalik tehnosüsteemide aastane elektri- ja soojusenergia kasutus kilovatt-tundides, millest on maha arvatud lokaalselt toodetud taastuvenergia. [9], §2

Kogu energiakasutus arvutatakse netoenergiavajadusest, võttes arvesse süsteemikaod ja kaod energia muundamisel. Tehnosüsteemi lõpp-punktis (üldjuhul liitumispunkt energiavõrguga) võrdub tehnosüsteemi energiakasutus tarnitud energia ja lokaalse taastuvenergia summaga. [11], §2

Netoenergiavajadus on sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ning valgustuse ja seadmete kasutamiseks vajalik soojus- ja elektrienergia ilma süsteemikadudeta ning energia muundamiseta. Netoenergiavajadus jaguneb:



netoenergiavajadus ruumide kütteks ja ruumide jahutamiseks. Netoenergiavajadus ruumi kütteks on ruumi või ruumide ruumitemperatuurini kütmiseks vajalik soojusenergia (soojushulk), arvestades vabasoojust, välispiirde soojuskadu, välispiirde ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevat soojuskadu ja ruumi sissepuhutava ventilatsiooniõhu soojenemist ruumitemperatuurini. Hoone netoenergiavajaduse arvutusmetoodika on toodud standardis EVS-EN ISO 52016-1:2017. [6], § 2

Küttesüsteemi arvutuse koosseisus arvutatakse ruumi kütte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamise energiakasutus. Energiakasutus (kWh/a) arvutatakse lähtudes vastavast netoenergiavajadusest. [6], § 14

Kuna hoones puudub mehaaniline ventilatsioon, siis puudub ka vajadus ventilatsiooniõhku soojendada. Seetõttu keskendub autor arvutustes vaid ruumi kütte ning tarbevee soojendamisest tulenevatele energiavajadustele.

Hoone netoenergiavajadust küttele saab leida valemiga (2.22): [18], lk 63

$$Q_k = H * S * 24 * 0,001, \text{ kWh/a} \quad (2.22)$$

,kus

$Q_k$  – kütte soojuskasutus, kWh

H – hoone soojuserikaad, W/K

S – hoone tasakaalutemperatuurile vastav kraadpäevade arv normaalaastas

24 – tundide arv ööpäevas

Nagu valemist näha, on hoone netoenergia vajaduse arvutamiseks vaja esmalt leida, tasakaalutemperatuur ning sellest tuleneva kraadpäevade arvu.

Hoone tasakaalutemperatuur on hoone siseõhu temperatuur Celsiuse skaala (°C) järgi, milleni tuleb ruumiõhku kütte- ja ventilatsioonisüsteemiga kütta arvestades, et õhu soojenemine tasakaalutemperatuurist ruumi vajaliku siseõhu temperatuurini toimub vabasoojuse arvelt. [11], § 2

Seega saame tasakaalutemperatuuri leida, kui lahutame hoone siseõhu temperatuurist vabasoojusest tingitud temperatuuri tõusu: [17], lk 22

$$t_B = t_{\bar{o}} - \Delta t_{vS}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.23)$$

,kus

$t_B$  – hoone keskmine tasakaalutemperatuur, °C

$t_{\bar{o}}$  – hoone keskmine siseõhutemperatuur, °C

$\Delta t_{vs}$  – vabasoojusest tingitud temperatuuri tõus, °C

Hoone temperatuuri tõusu vabasoojuse arvelt saame leida valemiga (2.24): [17], lk 22

$$\Delta t_{vs} = \frac{1000\phi_{vs}}{H}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.24)$$

,kus

$\Delta t_{vs}$  – vabasoojusest tingitud temperatuuri tõus, °C

$\Phi_{vs}$  – hoone keskmine vabasoojuskooormus, kW

H – hoone erisoojuskadu, W/K

Lihtsustatud, konstantse ruumitemperatuuriga arvutuse puhul kasutatakse ruumitemperatuuri seadearve ruumitemperatuurina (näiteks elamutes 21 °C kütmisel ja 27 °C jahutamisel). [6], § 5

Kraadpäev on hoone sisetemperatuuri ja välisõhu temperatuuri vahet iseloomustav näitaja, mille ühikuks on Celsiuse skaala (°C) järgi ühekraadine temperatuurierinevus arvestusliku sisetemperatuuri ja ööpäeva ehk 24-tunnise ajavahemiku keskmise välisõhu temperatuuri vahel. [11], § 2

Nagu eelneval täheldatud, koosneb kogu hoone netoenergiavajadus lisaks küttele veel ka energiavajadusest tarbevee soojendamiseks ning valgustuse ja elektriseadmete kasutamiseks.

Määruses on sooja tarbevee kulu toodud ära köetava pinna ruutmeetri kohta ja antud töö tabelise 2.12: [6], §7

**Tabel 2.7** Sooja tarbevee erikulu ja netoenergiavajadus köetava pinna ruutmeetri kohta

Hoone kasutusotstarve	Sooja vee erikulu, l/(m <sup>2</sup> a)	Netoenergiavajadus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
Väikeelamu köetava pinnaga < 120 m <sup>2</sup>	516	30
Väikeelamu köetava pinnaga 120 m <sup>2</sup> – 220 m <sup>2</sup> ja ridaelamu	430	25
Väikeelamu köetava pinnaga > 220 m <sup>2</sup>	344	20
...		

Kogu küttesüsteemi energiakasutus saadakse netoenergiavajaduse jagamisel küttesüsteemi kasuteguriga, mis saadakse soojusallika kasuteguri ja soojuste jaotamise ja väljastamise kasuteguri korrutisena. Tabelis 2.13 on toodud soojusallika kasutegurid ning tabelis 2.14 soojuste jaotamise ja väljastamise kasutegurid [6], § 14

**Tabel 2.8** Soojusallika kasutegur kütuse tarbimisaine alumise kütteväärtuse alusel

Soojusallikas	Kasutegur $k_s$
Kaugküte	0,9
Õli- või gaasikatel	0,85
Õli, kondensatsioonikatel	0,9
Gaas, kondensatsioonikatel	0,95
Pelletikatel	0,85
Muu tahkekütuse katel	0,75
Elektriküttega katel	1,0
Ahi	0,6

**Tabel 2.9** Väikeelamu soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine

Kütteviis	Kasutegur $k_k$	Veesüsteemi ringluspumba elektritarbimine $E_{vp}$ , kWh/(m <sup>2</sup> a)
Radiaator	0,97	1
Põrandaküte, plaat pinnasel või alt tuulutatav põrand	0,85	2
Põrandaküte vahelaes	1,0	2
Laeküte katuslaes	0,90	2
Laeküte vahelaes	1,0	2

Saame arvutada hoone küttele kuluva reaalse energiakulu valemiga (2.25).

$$E_{tar,k} = \sum \frac{E_k + E_{vp} * A_k}{k_s * k_k} \text{ , } \frac{kWh}{m^2 a} \quad (2.25)$$

,kus

$E_k$  – küttele kuluv energia, kWh/a;

$E_{vp}$  – veesüsteemi ringluspumba elektritarbimine, kWh/m<sup>2</sup>a;

$A_k$  – köetav pind, m<sup>2</sup>;

$k_s$  – soojusallika kasutegur;

$k_k$  – kütteviisi kasutegur.

## 2.5 Veskitamme 5 soojuskaod ja soojatulud

Peatükkides 2.3 ja 2.4 kirjeldatud meetoditel on leitud Veskitamme 5 hoone soojakaod, soojatulud ning netoenergiavajadus.

## 2.5.1 Veskitamme 5 soojuskaod

Tabelis 2.10 on toodud **piirdetarindite soojuserikaod**. Arvutuskäik on leitav lisades (Lisa 6 kuni Lisa 9). Arvutustes on kasutatud valemeid (2.1) kuni (2.14).

**Tabel 2.10** Hoone piirdetarindite soojajuhtivused ja soojuserikaod

Piirdetarind	$U_i$ W/m <sup>2</sup> K	$A_i$ m <sup>2</sup>	$H_{juhtivus}$ W/K
Välissein	0,22	115,57	25,43
Katus	0,29	126,21	36,60
Aknad	1,86	24,85	46,22
Põrand	0,22	80,1	17,62
Välisüksed	2,80	3,82	6,62
<b>Kokku:</b>			132,5

Veskitamme 5 **soojuserikaod läbi külmasildade** leiab tabelist 2.11. Arvutustes on kasutatud valemit (2.15) ning joonsoojuslähivuste väärtused on leitud peatükis 1.3. Akna liitumine välisseinaga joonsoojuslähivus on võetud hetkel kehtivast standardist EVS-EN ISO 14683:2017 [19], lk 24.

**Tabel 2.11** Veskitamme 5 joonkülmasildade suurused

	Joonsoojuslähivus $\Psi$ , W/mK	Joonkülmasilla pikkus, m	Külmasild H, W/K
Välisseina välisnurk	0,33	9,6	3,17
Katuse ja välisseina liitekoht	0,06	44,5	2,67
Alt tuulutatud põranda ja välisseina liitekoht	0,14	40,5	5,67
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruktsiooni kihis)*	0,10	106,0	10,6
<b>Kokku:</b>			22,11

\* Arvesse on võetud ka välisüksed.

Veskitamme 5 **soojakaod õhuleketest** on järgnevad. Hoone õhuleket on mõõdetud ning hoone keskmine õhulekkearv on  $q_{50} = 11,06 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ . Sellest tulenevalt aasta keskmine infiltratsioon on:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3600 * x} A = \frac{11,06}{3600 * 24} * 320 = 0,0410 \text{ m}^3/\text{s}$$

Õhulekkest ja ventilatsioonis põhjustatud soojuserikadu on:

$$H_{\text{õl}} = q_i + c * \rho = 0,041 * 1005 * 1,2 = 49,45 \text{ W/K}$$

Hoone **summaarse soojuserikao** leidmiseks on kasutatud valemit (2.1). Tabelis 2.12 on kokkuvõtlikult toodud hoone soojuserikad läbi piiretarindite ning leitud kogu hoone soojuserikadu.

**Tabel 2.12** Veskitamme 5 soojuserikad kokku

Soojuserikao põhjus	Soojuserikadu H, W/K
Piirdetarindite soojajuhtivus	132,5
Külmasillad piirdetarindis	22,1
Õhuleke ja ventilatsioon	49,5
<b>Kokku:</b>	<b>204,1 W/K</b>

## 2.5.2 Veskitamme 5 soojatulud

Tabelis 2.13 on arvatud elamu **valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojuse eraldamine** ruutmeetri kohta. Kusjuures inimese soojuseralduse puhul on arvestatud 4 inimesega. Kuigi reaalsuses elab Veskitamme 5 elamus vaid 2 inimest, siis tabelis 2.5 on märgitud ühe inimese kohta 28,3 m<sup>2</sup>, seega köetava pinna 116 m<sup>2</sup> juures mahuks majja elama 116/28,3 = 4 inimest

**Tabel 2.13** Elamu valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojuse eraldus ruutmeetri kohta

Vabasoojuse allikas	Kasutusaste k	Soojuseraldus P W/m <sup>2</sup>	Vabasoojus Φ W/m <sup>2</sup>
Valgustus	0,1	6	0,6
Seade	0,6	3	1,8
Inimene	0,6	3	4*1,8=7,2
<b>Kokku:</b>			<b>9,6</b>

Veskitamme 5 **vabasoojuskoormuse valgustuse, elektriseadmete ja inimeste pealt** saame, kui korrutame saadud vabasoojuse köetava pinna suurusega:

$$\phi_{in} + \phi_v + \phi_s = 9,6 * 116 = 1113 \text{ W}$$

Veskitamme 5 valgustuse, seadmete ja inimeste soojuseraldus aastas valemi (2.20) järgi on:

$$Q = \phi \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7 \cdot 1000} 8760 = 9,6 * \frac{24}{24} * \frac{7}{7} * \frac{8760}{1000} = 84,1 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$$

Veskitamme 5 päikesekiirgusest tulenev vabasoojus on toodud tabelis 2.14. Arvutamisel on kasutatud valemit (2.21).

**Tabel 2.14** Veskitamme vkt 5 päikesekiirgusest tulenev vabasoojus

Ilmakaar	Päikese keskmine kiirgusvoog $\Phi_{\text{ilmak.}}, W/m^2$	Varjutegur e	Kardinate mõju $K_{\text{kard}}$	Klaasi kiirguse läbivustegur g [12], lk 43	Akende kogupindala $A_a$	Päikesekiirguse soojuskoormus $\Phi_p, W$
Põhi	28,1	0,75	0,9	0,28	2,23	11,8
Lõuna	64,4	0,75	0,9	0,28	10,6	129,0
Ida	42,7	0,75	0,9	0,28	4,48	36,2
Lääs	42,6	0,75	0,9	0,28	7,54	60,7
<b>Kokku:</b>						<b>237,7</b>

Valemi (2.18) järgi arvutades on kogu Veskitamme 5 vabasoojused ühe ruutmeetri köetava pinna kohta:

$$\phi_{vs} = \phi_{in} + \phi_{el} + \phi_p = 1113 + 237,7 = 1350,7 W = 1,35 kW$$

Korrutades leitud hoone vabasoojuste summa 1,35 kW vabasoojuse kasuteguriga 0,7 (sest kogu vabasoojust ei saa ära kasutada), saame, et kogu hoone **ööpäeva vabasoojuskooormuseks 0,94 kW**. Korrutades selle omakorda päevade arvuga aastas, saame, et Veskitamme 5 aastane **vabasoojuskooormus on 343 kWh/a**.

### 2.5.3 Veskitamme 5 netoenergiavajadus

Veskitamme 5 temperatuuri tõus vabasoojuse arvelt on:

$$\Delta t_{vs} = \frac{1000\phi_{vs}}{H} = \frac{1000 * 0,94}{204,1} = 4,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Veskitamme 5 tasakaalu temperatuur on:

$$t_B = t_{\bar{o}} - \Delta t_{vs} = 21 - 4,61 = 16,39 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tasakaalutemperatuurile ning piirkonnale vastavad normaalaasta kraadpäevad on võimalik leida SA Kredex kodulehelt. Kusjuures, normaalaasta kraadpäevad on määratud 30 aastase perioodi (1975...2004) keskmised suurused. 17 °C tasakaalutemperatuurile vastavad kraadpäevad Tartu piirkonnas on 4295. [20]

Netoenergiavajadus hoone küttele võttes arvesse kogu hoone soojakadu (valem (2.22)):

$$Q_k = 204,1 * 4295 * 24 * 0,001 = 21038 \text{ kWh/a}$$

Veskitamme 5 netoenergiavajadus soojale veele on:

$$Q_v = 30 \frac{kWh}{m^2 a} * 116 m^2 = 3480 \frac{kWh}{a}$$

Kokku on netoenergiavajadus küttele ning soojale veele:

$$Q_k + Q_v = 21038 + 3480 = 24518 \frac{kWh}{a}$$

Veskitamme 5 hoones on kombineeritud pörandaküte ja kütmine radiaatoritega. Ruutmeetrite järgi jaotuvad need vastavalt 23,2 m<sup>2</sup> ja 92,8 m<sup>2</sup>. Protsentuaalselt tähendab see, et 25 % hoonest köetakse pörandaküttega ning 75 % radiaatoritega. Hoone küttele kulub 21038 kWh/a, pörandaküte katab sellest 5259,5 kWh/a ja radiaatorid 15778,5 kWh/a. Seega on kogu kütteks tarnitav energia vajadus hoonesse:

$$E_{tar,k} = \frac{5259,5 + 2 * 23,2}{0,75 * 0,85} + \frac{15778,5 + 1 * 92,8}{0,75 * 0,97} = 8323 + 21816 = 30139 \frac{kWh}{a}$$

## 2.6 Energiatõhususarv ETA

Energiatõhususarv on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tüüpilisel kasutusel. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta hoone tüüpilisel kasutamisel. Energiatõhususarvu ühikuks on kilovatt-tund hoone köetava pinna ruutmeetri kohta aastas. [9], § 2

Energiatõhususarv (ETA) arvutatakse, jagades summaarse kaalutud tarnitud energiakasutuse köetava pinna ruutmeetrite arvuga: [6], § 30

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} * f_i)}{A_{kõetav}}, \frac{kWh}{m^2 a} \quad (2.26)$$

,kus

ETA – energiatõhususarv, kWh/(m<sup>2</sup>a)

E<sub>tar, i</sub> – energiakandjaga i tarnitud energia, kWh/a

f<sub>i</sub> – energiakandja i kaalumistegur

A<sub>kõetav</sub> – hoone köetav pind, m<sup>2</sup>

Energiakandja kaalumistegur on tegur, millega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju. Energiakandjate kaalumistegurid on:

- taastuvtoormel põhinev kütus, puit ja puidupõhine kütus ning muu biokütus, välja arvatud turvas ja turbabrikett – 0,65;
- kaugküte – 0,9;
- tõhus kaugküte – 0,65;

- kaugjahutus – 0,4;
- tõhus kaugjahutus – 0,2;
- vedelkütus, kütteõli ja vedelgaas – 1,0;
- maagaas – 1,0;
- tahke fossiilkütus – 1,0;
- turvas ja turbabrikett – 1,0;
- elekter – 2,0. [9], § 9

Lisaks küttele ja sooja tarbevee saamisele kulub elektrienergiat ka hoone igapäevaseks toimimiseks. Selleks on arvestatud, et valgustusele kulub 7 kWh/(m<sup>2</sup>a) ning seadmetele 18 kWh/(m<sup>2</sup>a) ehk kokku 25 kWh/(m<sup>2</sup>a). [21], lk 8

Vastavalt sellele on Veskitamme 5 standardkasutusest tulenev elektritarbimine järgnev:

$$E_{tar,el} = 25 * 116 = 2900 \frac{kWh}{a}$$

Veskitamme 5 energiatõhususarv ETA vastavalt valemile (2.26) on:

$$ETA = \frac{\sum_i(E_{tar,i} * f_i)}{A_{kõetav}} = \frac{30139 * 0,65 + 3480 * 2 + 2900 * 2}{116} = \frac{19590 + 6960 + 5800}{116} = 279 \frac{kWh}{m^2a}$$

Hetkel kehtivate piirväärtuste järgi, mis on toodud tabelis Tabel 2.3, annab see Veskitamme 5 elamule energiamärgise klassi „E“. Tegemist ei ole kõige hullemaga tulemusega, olleks skaala keskosas, kuid energiatõhususe seisukohalt on tulemus siiski halb. Ilmselgelt on nii väikese kōetava pinnaga hoone kohta energiakulu liiga suur.

Lisaks on energiatõhusus leitud ka, kasutades Majandus- ja taristuministeeriumi pakutud kalkulaatorit (Lisa 13). Seal on saadud tulemuseks 237 kWh/m<sup>2</sup>a. Tegemist on märkimisväärselt parema tulemusega. Seejuures on hoone soojakaod suurusjärgult samad.

Arvude erinevus tuleb sisse sellest, et kalkulaator ei võimalda kasutada näiteks kombineeritud kütte lahendust (põrandaküte ja radiaatorid). Lisaks ei ole kalkulaatoris võimalik välja lülitada ventilatsiooni ehk see ei võimalda arvutada näiteks loomuliku ventilatsiooni korral, mis hoones tegelikult on. See on ka arusaadav, sest kalkulaator on mõeldud arvutamaks energiatõhusust uutele või oluliselt rekonstrueeritavatele hoonetele, kasutades projekti ning tänapäeval ei projekteerita enam hooneid loomuliku ventilatsiooniga. Kolmandaks ei ole kalkulaatoris võimalik täpsustada sooja tarbevee saamist, mis automaatse eelduse kohasel saadakse küttesüsteemi abiga. Eelnevas



arvutuses on aga arvestatud, et soe tarbevesi saadakse elektriga, mille kaalumistegur on 2. Seega ei saa seda rekonstrueerimistööl kalkulaatoriga saadud tulemust aluseks võtta.

## 2.7 Kaalutud energiakasutus KEK

Veskitamme 5 hoone on tegelikult juba suvilana üle 30 aasta vana ning elamuna aastaringses kasutuses olnud viimased 18 aastat. Olemasoleva hoone energiamärgise klassi määramiseks võib praegu kehtivate määruste järgi kasutada ka kaalutud energiakasutust KEK, mis põhineb reaalsel tarbimisandmetel.

Kaalutud energiakasutus on energiakandjate kaalumisteguritega korrutatud aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone köetava pinna ruutmeetri kohta kWh/(m<sup>2</sup>·a). [11], § 2

$$KEK = \frac{\sum_i (E_{tar,i} * f_i)}{A_{köetav}}, \frac{kWh}{m^2 a} \quad (2.27)$$

,kus

KEK – kaalutud energiakasutus, kWh/(m<sup>2</sup>a)

E<sub>tar, i</sub> – energiakandjaga i tarnitud energia, kWh/a

f<sub>i</sub> – energiakandja i kaalumistegur

A<sub>köetav</sub> – hoone köetav pind, m<sup>2</sup>

Tabeli 1.1 järgi saame, et Veskitamme 5 viimase 3 aasta keskmine aastane elektritarbimine on 4192 kWh/a. Sellesse arvestusse läheb nii sooja tarbevee saamine kui ka kogu ülejäänud elutegevuseks kuluv elektrienergia.

Kaalutud energiakasutuse leidmisel tuleb kütteenergia puhul arvesse võtta ka vaadeldavate aastate kraadipäevade arvu ning võrrelda seda normaalaasta omadega, sest aastate lõikes on temperatuurid ja küttevajadus erinevad. Kuna aga kütmiseks kasutatavate halgude kogus on teada vaid umbmääraselt ning kindlat arvestus selle üle ei peeta, ei ole aastate lõikes eraldi kütteenergia leidmine võimalik.

Aastas kulub umbes 35 ruumimeetrit küttepuid. Enamasti ostetakse kuiva kuuske või mändi. 1 ruumimeetri 20% niiskussisaldusega kuuse halgude energiasisaldus on 1295 kWh/rm [22], lk 32. Seega on aastane energiakulu 45325 kWh/a.

Valemiga (2.27) saame leida reaalsel energiatarbimisel põhineva KEK arvu. Kaalumistegurid energiakandjatele saame eelnevast alapunktist.

$$KEK = \frac{\sum_i(E_{tar,i} * f_i)}{A_{kõetav}} = \frac{45325 * 0,65 + 4192 * 2}{116} = \frac{37845}{116} = 326 \frac{kWh}{m^2a}$$

Hetkel kehtivate piirväärtuste järgi kuulub kaalutud energiakasutuse arvutuse kohaselt Veskitamme 5 hoone „F“ energiaklassi. ETA arvutuse järgi saadud energiaklass on isegi klassi võrra parem. Aastane energiakulu on KEK arvutuse järgi 47 kWh/m<sup>2</sup>a suurem.

Erinevus tuleb sisse tegelikus küttevajaduses. Reaalsuses on küttele kuluv energia oluliselt suurem kui arvutuslik. Selle põhjus võib olla näiteks elanike harjumused ehk millise sisetemperatuurini eluruume köetakse.

Samas elektrienergia tarbimine ligi 1/3 võrra väiksem. Siit tulebki välja ETA arvutusmetoodika kõige suurem kitsaskoht – see ei arvesta hoones reaalselt elavate inimestega. See tulebki eelkõige sellest, et ETA arvutusmeetodis tehakse eeldus, et hoones elab 4 inimest. Reaalselt elab hoones aga 2 inimest, kes ilmselgelt tarbivad vähem sooja vett ning üldist elektrienergiat kui seda teeks 4 inimest.

Kahjuks on muidugi iga-aastane kütteks kuluvate puude hulk suhteliselt ebamäärane. Töö autor kipub arvama, et tegelikult kulub puid siiski vähem ehk energiakulu oleks väiksem, kuid reaalselt seda kuidagi kontrollida ei saa.

Kogu energiaarvutustest ning õhulekkeuuringust selgub tõsiasi, et suurimaks energia „röövlis“ on ebapiisava tihedusega välispiirded. Seetõttu keskendub autor projekti koostamisel eelkõige piirete sooja- ja õhupidavusele. Sellest tulenevalt tuleb muidugi väga hästi läbi mõelda ka hoone ventilatsioon, et pärast hoone rekonstrueerimist paraneks ka hoone sisekliima. Lisaks tuleb kindlasti kontrollida ka projekteeritavate piirete niiskustehnilist toimivust, sest niiskustehniliselt valesti ehitatud piire võib eriti puitkonstruktsiooniga maja puhul eriti ohtlikuks osutada.

### 3. LAHENDUSED ENERGIATÕHUSUSE PARANDAMISEKS

Viimases töö osas pakub autor välja võimalused Veskitamme 5 energiatõhususe parandamiseks. Võimalikke lahendusi antud hoone energiatõhususe tõstmiseks on mitmeid. Kuna plaanis on ette võtta ulatuslik rekonstrueerimine, keskendub autor nii välispiirete soojapidavuse parandamisele kui ka uute tehnosüsteemide väljaehitamisele ja vanade uuendamisele.

Eelkõige juhindutakse SA Kredex-i väikeelamute rekonstrueerimistoetuse saamise tingimustest. Kuna antud tingimused on kooskõlas ka hetkel kehtivate määruste ja piirväärtustega, siis eraldi nendele ei keskenduta, kuid silmas tuleb pidada neidki. Toetuse saamise tingimustega on võimalik tutvuda Kredex-i koduleheküljel [23].

Lisaks, kuna omanike enda soov on, et hoone ei saaks pärast rekonstrueerimist lihtsalt madalenergiahooneks vaid oleks siiski liginullenergiahoone, juhindub autor lahenduste valikul ka Kredex-i poolt välja pakutud juhendmaterjalist liginullenergia väikeelamute ehitamiseks ja rekonstrueerimiseks. [21]

#### 3.1 Välispiirdetarindite soojusläbivus

Kredex-i tingimused välispiiretele on järgnevad:

- soojustatakse välisseinad soojusläbivusega  $U \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; koos välisseinaga soojustatavale soklile ja vundamendile soojusläbivuse nõue ei rakendu;
- soojustatakse katus, katus- või pööningulagi soojusläbivusega  $U \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- välisaknad vahetatakse akende vastu soojusläbivusega  $U \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  (vähemalt kolmekordne klaaspakett);
- esimese korruse põrand või kütmata ruumi kohal asuva põranda soojusläbivus on  $U \leq 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . [23]

Liginullenergiahoone juhendi järgi on soovitud välispiiretele veelgi karmimad:

- välissein  $U = 0,12 - 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
- aken  $U_w = 0,80 - 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$
- katuslagi  $U = 0,07 - 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- põrand pinnasel ja alt tuulutatav  $U = 0,10 - 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$
- põrand välisõhu kohal  $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
- külmasildade osakaal kogusoojuskaost 10 % [21], lk 18

### 3.1.1 Välissein VS-1

Olemasoleva hoone välisseina soojajuhtivus on  $U_{VS-1} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Põhiliselt annab seda parandada soojustuse lisamisega. Omanikud soovivad endiselt välisviimistluseks voodrilauda ning siseviimistlust ümber ei soovita samuti teha. Tabelis 3.1 on toodud autori poolt välja pakutud uus välisseina lahendus kihtide kaupa koos soojustakistustega. Töö lisa (Lisa 14) on toodud ka seina soojusjuhtivuse arvutus.

**Tabel 3.1** Välisseina tarindi osad ning soojustakistused

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm
1.	Voodrilaudis	22
2.	Horisontaalne distansliist 22x100 mm, sammuga 600 mm	22
3.	Vertikaalne distantliist 22x100 mm, sammuga 600 mm	22
4.	Tuuletõke Isover RKL Facade, ühenduskohad teipida	100
5.	Horisontaalne roovitus 50x50 mm sammuga 600mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	50
6.	Horisontaalne hõre laudis	22
7.	Puitkarkass 50x150 mm sammuga 600 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	150
8.	OSB-plaat, liitekohad teipida	22
9.	Kipsplaat	13

$$U = 0,11 \frac{W}{m^2K}$$

Välisseina soojuslähivus mahub etteantud SA Kredex-i poolt ette antud liginullenergia hoone piiridesse, olles selle paremas otsas. Rekonstrueerimistöde käigus peab eemaldama kõik vanad tarindi kihid, alles jääb vaid hoone kandev puitkarkass. Tööde käigus selgub, kas on vaja ka liigniiskuse tõttu kahjustada saanud karkassi osasid asendada või ei, kuid praeguste teadmistega hoone õhulekke kohta see vajalik ei peaks olema.

Küll tuleb aga kindlasti kontrollida uue, projekteeritava piirde niiskustehnilist toimivust. Seda saab teha kasutades standardis EVS-EN ISO 13788:2012 toodud meetodit, kus koostatakse aastane niiskusbilans ning arvutatakse tarindisisesse kondenseerumise tulemusena akumulereitud vee maksimaalne kogus. Meetod võimaldab võrrelda erinevaid konstruktsioone ja hinnata modifitseemise mõju. See on tuntud ka kui Glaseri meetod. [7], lk 15



tänapäeva nõuetele. Samuti saavad kinni laotud keldri neli akent, mis asuvad maja otstes. Keldri tuulutus tagatakse värskeõhuklappidega.

**Tabel 3.3** Vundamendi ja sokli tarindi osad ning soojustakistused

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm	Soojustakistu R [m <sup>2</sup> K/W]
1.	Krohv	5	0,005
2.	Styrofoam 250 SL-A-N	50	1,515
3.	Styrofoam 250 SL-A-N	120	3,429
4.	Hüdroisolatsioon	5	-
5.	Raudbetoonplokk	300	0,15
<b>Kokku:</b>			5,099

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{se}} = \frac{1}{0,04 + 5,099 + 0,13} = 0,189 \frac{W}{m^2K}$$

Soojustust ei olegi ehk nii palju vaja, sest kelder on ju kütmata ruum, kuid 170 mm soojustust sai eelkõige sellepärast, et välisseina ja sokli soojustused omavahel jätkuksid.

### 3.1.3 Katus K-1

Olemasoleva hoone katuse soojajuhtivus on  $U_{K-1} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sarnaselt välisseinaga tuleb antud juhul kindlasti suurendada soojustuse kihti. Lisaks tuleks siin tähelepanu pöörata katuse tuulutusele. Samuti soovivad omanikud katusele paigaldada kaht katuseakent loomuliku valguse ruumi pääsemiseks.

**Tabel 3.4** Katuse tarindi osad ning soojustakistused

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm
1.	Eterniitplaat Eternit Klassik	6...40
2.	Roovitus 50x50 mm	50
3.	Distantsliist 22x50 mm tuulutuseks	22
4.	Aluskate Masterfol	1,5
5.	Distantsliist 50x50 mm tuulutuseks	50
6.	Tuuletõke Isover RKL Facade, ühenduskohad teipida	75
7.	Sarikad 50x200 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	200
8.	Õhutõkkemembraan	1

9.	Roovitus 50x100 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	50
10.	OSB-plaat	15
11.	Kipsplaat	13

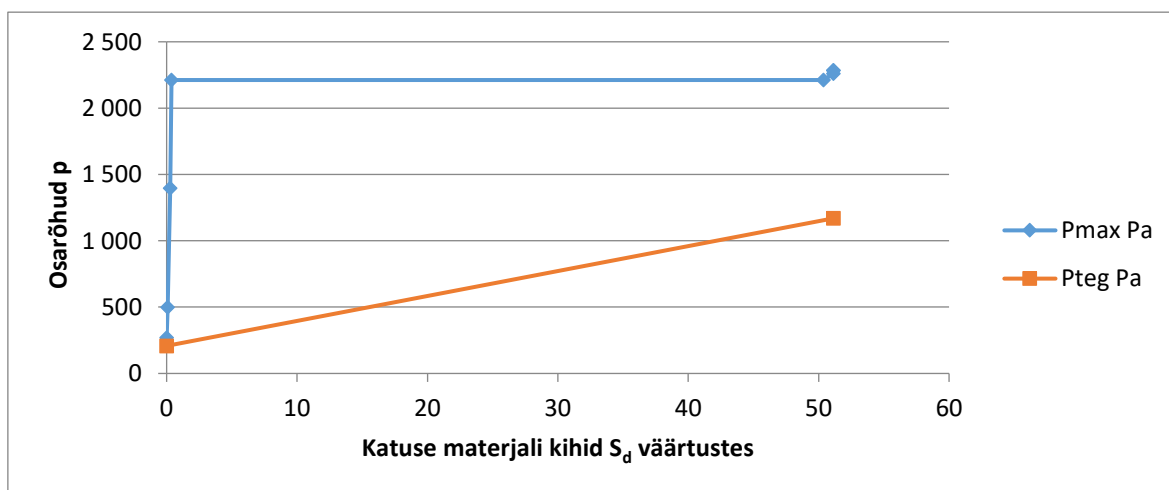
Töö lisades (Lisa 16) on toodud pikem tarindi soojusjuhtivuse arvutus.

$$U = 0,11 \frac{W}{m^2K}$$

Sarnaselt välisseinaga tuleb ka katuse puhul kindlasti kontrollida, et niiskus tarindi sees ei tekiks või kui tekib, siis kihis, kus see saab välja kuivada. Jällegi on kasutatud Glaseri meetodit.

**Tabel 3.5** Katuse niiskustehnilise toimivuse arvutustabel

					välist.	siset.						
					-10	20						
										P <sub>max</sub> Pa	Σ S <sub>d</sub>	
Tarindi osa	Kihi paksus m	λ W/mK	R m <sup>2</sup> K/W	%R	Δt	-10	välisõhk	μ	S <sub>d</sub>	P <sub>teg</sub> Pa	260	
Välispind			0,13	1,3	0,4	-9,62	välispind			208	269	0
tuuletõke	0,075	0,031	2,42	23,8	7,1	-2,47		1	0,1		498	0,075
mineraalvill	0,2	0,041	4,87	47,9	14,4	11,91		1	0,2		1 396	0,275
mineraalvill	0,1	0,041	2,43	24,0	7,2	19,10		1	0,1		2 212	0,375
õhu- ja aurut	0,001	1	0,00	0,0	0,0	19,11		50000	50		2 212	50,38
OSB-plaat	0,015	0,13	0,12	1,1	0,3	19,45		50	0,8		2 260	51,13
Kipsplaat	0,013	0,228	0,06	0,6	0,2	19,62		0	0		2 283	51,13
		0	0,00	0,0	0,0	19,62		0	0		2 283	51,13
Sisepind			0,13	1,3	0,4	20,00	sisepind			1169	2 338	
		R <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> K)/W	10,15	100,00			kontroll		51			
		U, W/m <sup>2</sup> K	0,10									
								veeauru osarõhud sees ja väljas				
								2 338	260			
								50	80			
								1169,1	208	961		



**Joonis 3.2** Katuse piirdetarindi difusioonigraafik

Sarnaselt välisseinaga, ei puutu ka katusekonstruktsiooni difusioonigraafikul küllastuskõver osarõhu sirgega kokku ehk puudub kondensatsioonioht.

### 3.1.4 Põrand P-1

Olemasoleva põranda U-arv on  $U = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tulemuse parandamiseks soojustatakse sokkel, tehakse uus hüdroisolatsioon ning keldris tagatakse tuulutus värskeõhuklappidega. Siiski vajab põranda tarind ise ka lisasoojustus. Et põrandapind ei tõuseks, otsustati vanad laagid lihtsalt välja vahetada ja vahelt uue mineraalvillaga täita ning lisasoojustus paigutatakse hoopis õõnespaneeli alla.

**Tabel 3.6** Põranda tarindi osad ning soojustakistused

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm	Soojuseri- juhtivus $\lambda$
1.	Parkett	14 mm	0,13
2.	Alusvaip	1 mm	-
3	Veekindel vineer	15 mm	0,13
4.	Põrandalaagid 50x150 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	150 mm	-
5.	Õõnespaneel	220 mm	2
6.	EPS 60	200 mm	0,039

Töö lisades (Lisa 17) on toodud pikem arvutuskäik põranda soojusläbivuse leidmiseks.

$$U = 0,17 \frac{W}{m^2K}$$

Kuigi soojusläbivus mahub Kredexi toetuse etteantud piiridesse, siis liginullenergia piirmäär see ei täida. Siiski otsustati rohkem soojustust põranda tarindile mitte lisada, sest kindlasti ei taheta põrandapinda tõsta ning õõnespaneeli alt soojustades jääks keldri lagi jällegi liiga madalaks. Kuna kelder on tehno ruumina pidevalt kasutuses, peab seal olema võimalik liikuda.

### 3.1.5 Aknad ja välisüksed

Samuti tuleb hoones välja vahetada kõik aknad. Kuigi ka praegused aknad on pakettaknad, siis ei vasta need enam hetkel kehtivatele nõuetele. Lisaks tuleb aknad paigaldada välimisse soojustuse kihti, et külmasild oleks minimaalne.

Sobivad aknad on näiteks kolmekordse klaaspaketiga (kaks selektiivklaasi ja argoontäide: 4sel-16ar-4-16ar-4sel) puitaluminiiumaknad. Sellise akna soojapidavus on  $U_w = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Täpsemad andmed töö lisades (Lisa 19Lisa 18). Kindlad andmed saab teada juba siis, kui aknapakkuja on leitud.



Lisaks tuleb vahetada ka kindlasti välisüksed. Neid on hoonel kaks. Kuigi välisustele ei ole ette antud kindlaid tingimusi, mis piirväärtustesse peaks välisukse soojusjuhtivus jääma, juhindutakse akende parameetritest.

### 3.1.6 Piirdetarindite külmasildade soojuserikaod

Uuesti tuleb leida ka piirdetarindite külmasildadest tulenevad soojuserikaod. Arvutusteks on vajalik teada joonsoojusläbivusi ja külmasilla pikkuseid.

Uute piirdetarindite joonsoojusläbivused on leitud töö lisades (Lisa 20 ja Lisa 21) ning tulemused esitatud tabelis 3.7. Akende ja uste ühenduskohtade joonsoojusläbivused on saadud hetkel kehtivast standardist EVS-EN ISO 14683:2017 [19], lk 24. (Lisa 10)

**Tabel 3.7** Rekonstrueeritava hoone külmasildade joonsoojusläbivused ja pikkused

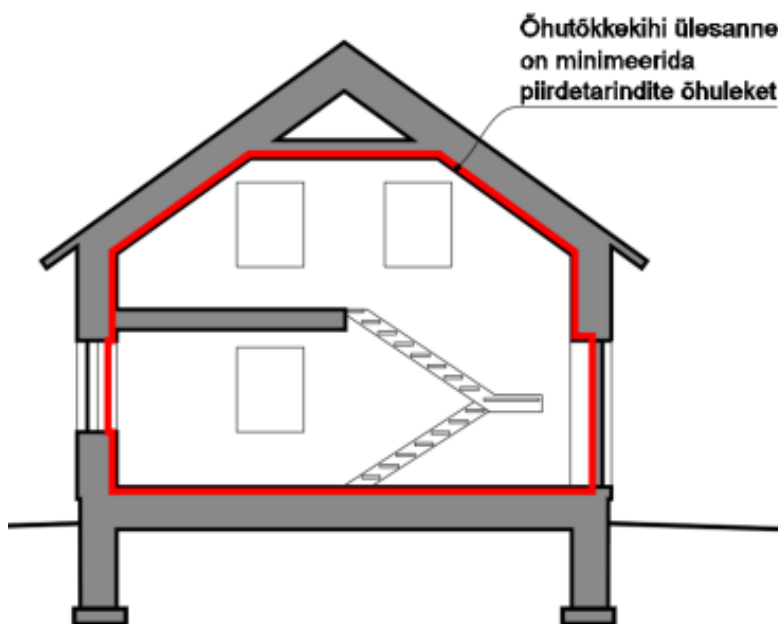
Külmasild	Joonsoojusläbivus $\Psi_k$ , W/mK	Külmasilla pikkus $l_k$ , m
Välisseina välisnurk	0,01	9,6
Välissein – põrand	0,06	40,5
Välissein – katuslagi	0,04	44,5
Akna – seinakinnitus	0,02	83,9
Ukse – seinakinnitus	0,02	12,4

### 3.1.7 Soojuskaod õhuleketest

Olemasolevas hoones läbi viidud õhulekke uuringust selgust hoone suur õhulekke. Rekonstrueerimistöde käigus tuleks kindlasti suurt tähelepanu pöörata ka just selle vähendamisele. Peab silmas pidama, et õhutõkkeks projekteeritakse ainult üks õhutihe kiht, kaks õhutihedusele lähedast kihti ei taga piirdetarindi õhupidavust [21], lk 28.

Nagu eelnevalt mainitud, kasutab autor seekord energiatõhususarvu leidmiseks Majandus- ja taristuministeriumi poolt välja pakutud kalkulaatorit. Õhulekkest tuleneva soojuskao leidmiseks on tarvis teada hoone projekteeritavat välispiirde keskmist õhulekkearvu. Määrus sätestab, et hoone ehitusloa taotlemiseks või ehitusteatise esitamiseks tehtavas energiatõhususarvutuses kasutatakse:

- õhulekkearvu väärtust 1,5 kuupmeetrit tunnis ruutmeetri kohta, kui hoone ehitamisel kavandatakse viia läbi õhulekkearvu mõõtmine;
- deklareerimismeetodiga määratud õhulekkearvu väärtust. [6], §9



**Joonis 3.3** Õhutõkke kihi projekteerimise põhimõte

Allikas: SA Kredex juhendmaterjal „Liginullenergia eluhooned: Väikemajad“ [21], lk 28

Deklareeritud õhulekkearv on teatud hoonetüübile hoone tarnija poolt õhupidavuse tõendamismeetodi abil deklareeritud õhulekkearv [24], lk 63. Kuna antud juhul ei ole tegemist kindla hoonetüübiga (nt. element- või moodulmaja), millega sarnaseid hooneid ning lahendusi on varasemalt uuritud, ei saa antud projekti puhul deklareeritud väärtusi kasutada. Seega tuleb arvutustes kasutada õhulekkearvu  $q_{50} = 1,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$  ning enne siseviimistluse tegemist läbi viia hoones uus õhulekkeuuring.

Määrus sätestab ka muidugi võimaluse, juhul kui välispiirde õhuleket ei ole mõõdetud või muul viisil tõendatud, tehakse energiaarvutused tabelis (Tabel 1.12) toodud baasväärtuste järgi [6], §9. Antud juhul peaks selleks valima baasväärtuse  $q_{50} = 4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ , kuid see muudaks juba oluliselt energiatõhususarvu halvema poole. Töö lisades (Lisa 28 ja Lisa 29) on toodud arvutused mõlema väärtusega ning baasväärtuse korral oleks energiatõhususarv  $\text{ETA} = 146 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , mis on  $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  halvem tulemus, kui kavandatud mõõdistusega kasutatud õhulekke väärtuse  $1,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  puhul. See tähendaks kogu hoonele aastas  $10 \cdot 116 \text{ m}^2 = 1160 \text{ kWh}$  suuremat energiakulu. Kuna projekteeritud õhutõkkekihi ning korraliku tööde teostamise puhul

on õhulekkearv  $1,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$  saavutatav, otsustatakse arvutustest just seda väärtust kasutada.

Hoone õhutõkkekihi projekteerimisel tuleb silmas pidada järgmisi punkte:

- Tuleb määrata tarindikihid, mis tagavad piirete õhupidavuse ning need peavad jätkuma kogu hoones;
- Sama hoone juures tuleb vältida liiga paljude erinevate tarinditüüpide kasutamist, et vältida probleeme tarindi liitekohtade kasutamise juures;
- Ehitamise ja tarindikihtide paigaldamise järjekord tuleb läbi mõelda;
- Õhutõkkes ja soojustuses olevad läbiviigud tuleb viia miinimumini, sest need on potentsiaalsed lekkekohad.;
- Piirdetarindid, nende liitekohad ja õhutõkkest läbiviigud tuleb projekteerida nii, et nende õhupidavus ajas ei halveneks. [24], lk 72

Antud hoone puhul saab õhutõkkekihiks saada välisseintes OSB-plaat, katuslael roovituse ja sarikate vahel olev õhutõkkemembraan ning põrandal õõnespaneel. Et tegemist oleks siiski õhutõkkekihiga, tuleb kõik OSB-plaatide liitekohad kindlasti teipida aurutõkketeibiga. Lisaks on oluline teipida ka avatäited ning OSB-plaadi kinnituseks kasutatavate kinnitusvahendite pead. Alljärgnevatel joonisel (Joonis 3.4) on näidatud korrektselt teibitud õhutõkkekihi liitekohad ning avatäited.



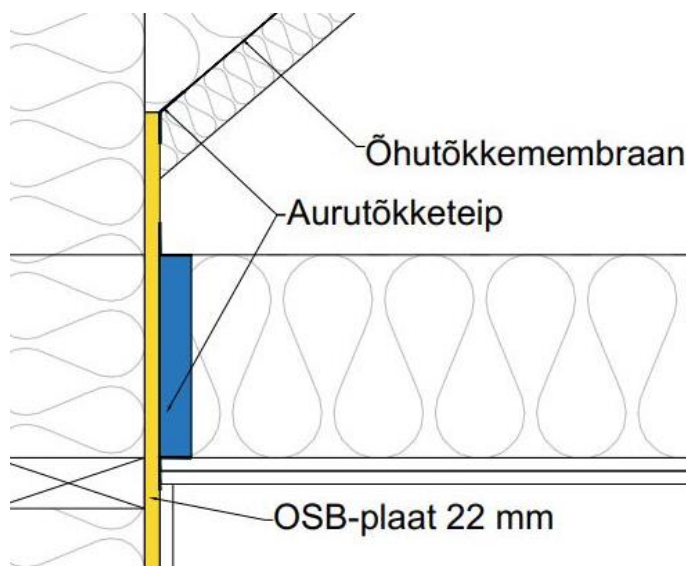
**Joonis 3.4** Õhutõkkekihi liitekohtade teipimine

Allikas: J. Halliku esitlus „Õhulekkearvu deklareerimisväärtus Sense näitel“ Teadmistepõhine ehitus 2019 konverentsil [32], lk 14-15

Veskitamme 5 hoone puhul on õhutiheduse tagamisel kaks keerukat kohta. Üks neist on korstna läbiviik katuslaest, sest läbiviik peab üheaegselt olema õhutihe, samas vastama päästeameti nõuetele. Päästeameti nõuete järgi lubatakse läbiviigu pikkusega 200 – 400 mm paigaldada müritiskorstna välispinna vastu põlevmaterjalist voodri või

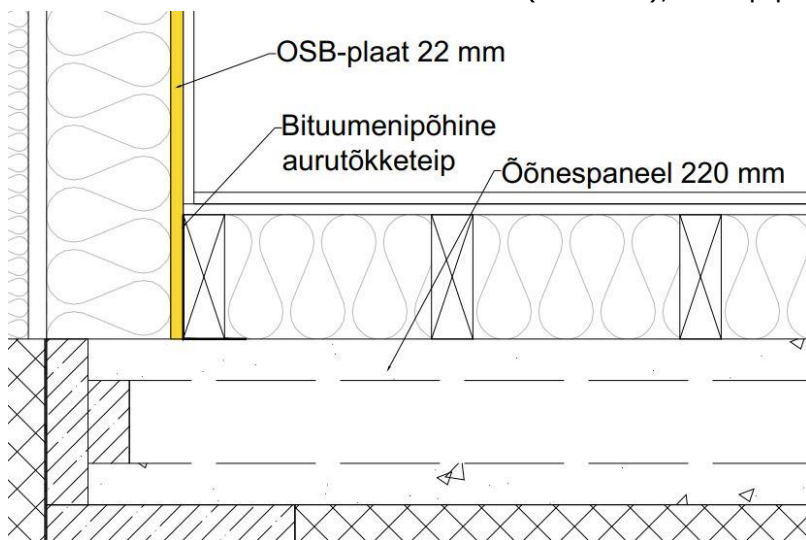
laudise (põrandalaudis, seinavooder), mille paksus on kuni 30 mm [25], lk 13. Seega lahenduse puhul, kus õhutõkkekiht tekitatakse membraaniga, mis kinnitub korstna külge sobiva aurutõkketeibiga ning selle peal on 15 mm OSB ja 12 mm kipsplaat, on lahendus nõuetele vastav. Sobiv aurutõkketeip on näiteks Contega PV (Lisa 23), mille üks äär kinnitub membraani külge ning teine krohvitakse korstna külge.

Teine keerukas koht on kindlasti õhutõkkekihi jätkamine vahelae juures. Selle otsustas autor lahendada nii, et esimese korruse OSB-plaat jätkub laetalade vahele ning kuni katuse õhutõkkemembraanini. Vahelae-talade ümbert teibitakse kõik õhutõkketeibiga, samuti teibitakse membraan OSB-plaadi külge. Sõlm on näha joonisel Joonis 3.5.



**Joonis 3.5** Õhutõkkekihi jätkamine vahelae juures

Põranda puhul on õhupidavaks kihiks õõnespaneel (Joonis 3.6). Välisseina OSB-plaadi ja betooni liitekoht teibitakse betoonile sobiva, bituumenipõhise teibiga. Enne teipimist tuleb betoon kindlasti ette valmistada (kruntida), et teip piisavalt nakuks.



**Joonis 3.6** Õhutõkkekihi jätkamine põrandas

Lisaks õhulekkearvule on energiatõhususe arvutustes vaja teada hoone välispiirde (sealhulgas põranda) sisepindala  $A = 333,5 \text{ m}^2$  ning korruste arvu, milleks on 2.

## 3.2 Uute konstruktiivsete sõlmede analüüs

Sarnaselt eelnevaga, on ka uute sõlmlahenduste juures leitud külmasildade joonsoojusläbivused ning temperatuuriindeksid. Kasutatud on valemeid (1.1) kuni (1.3). Pikemad arvutuskäigud on toodud töö lisades.

**Tabel 3.8** Projekteeritava hoone külmasildade joonsoojusjuhtivused

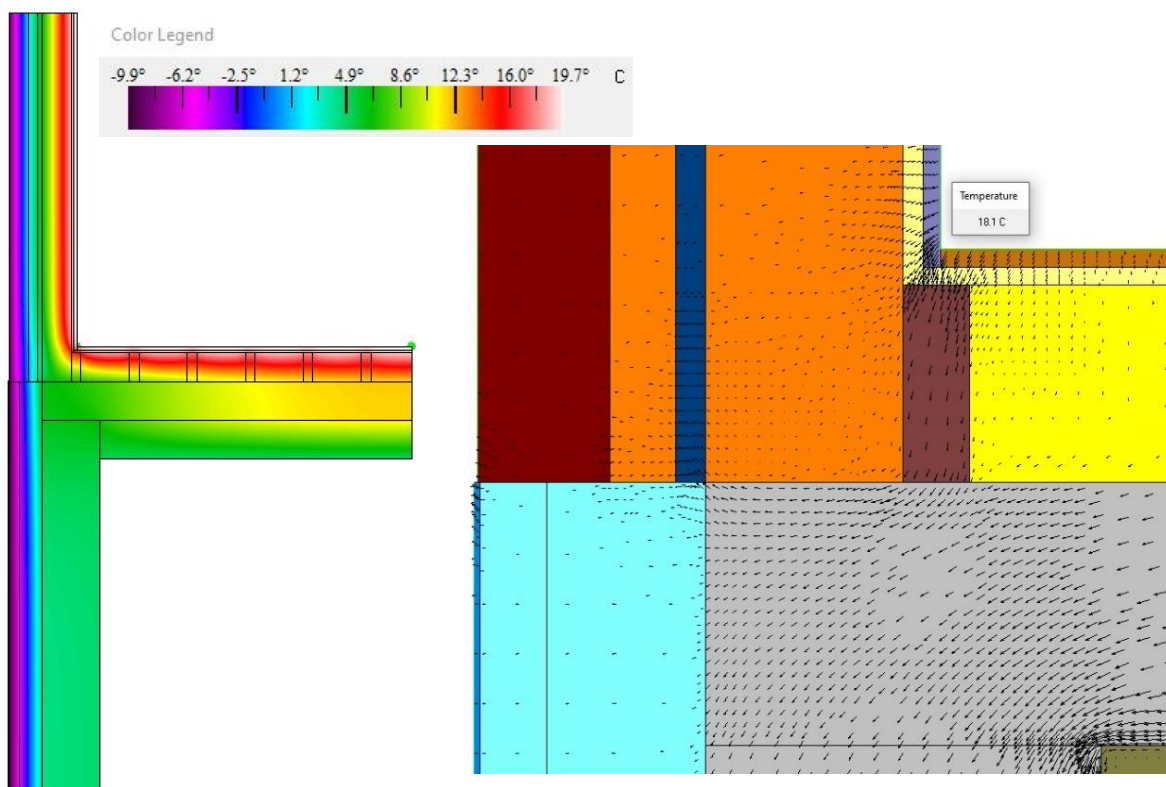
<b>Piirdetarindi liitekoht</b>	<b>Joonsoojusläbivus <math>\Psi_k</math>, W/mK</b>
Välissein – pörand	0,06
Välissein – katus	0,04
Välissein – välissein	0,01

**Tabel 3.9** Projekteeritava hoone külmasildade temperatuuriindeksid

<b>Piirdetarindi liitekoht</b>	<b>Temperatuuriindeks <math>f_{Rsi}</math></b>
Välissein – pörand	0,94
Välissein – katus	0,96
Välissein – välissein	0,92

Standardist lähtuvalt (Tabel 1.8) ei ole ühegi projekteeritava liitekoha puhul tegemist kriitilise ühendusega ehk hallituse tekke või kondenseerumise ohtu ei ole.

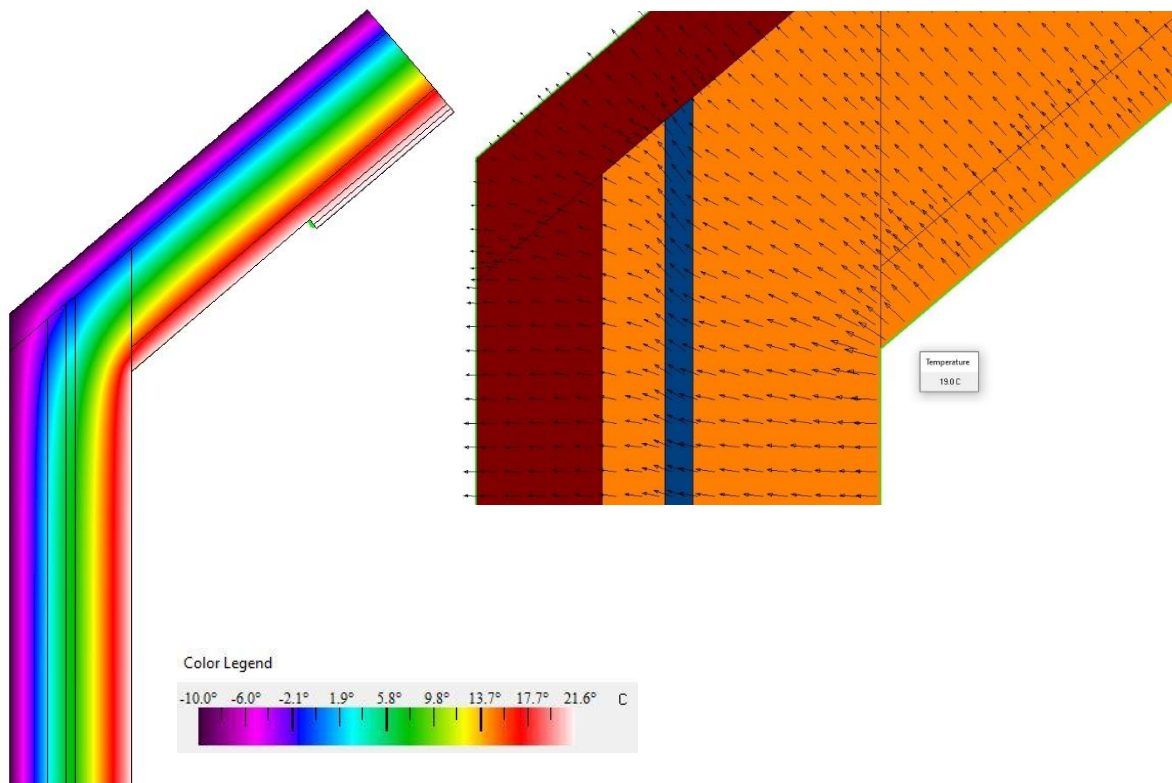
### 3.2.1 Vundament – välissein – põrand ühendussõlm



**Joonis 3.7** Välisseina, sokli ja põranda ühendussõlme simulatsioon

Võrreldes eelneva olukorraga on soojapidavus oluliselt paranenud. Eelkõige tuleb see soojustatud soklist, sest välisseina soojustus saab kenasti soklis jätkuda. Lisaks aitab temperatuuride jaotumist ühtlustada ka keldri laes olev soojustus. Ka soojusvoogude puhul on näha, et soojustus soklis vähendab soojuse seest välja liikumist oluliselt. Minimaalne pinnatemperatuur on 18,1 °C ehk 2,5 kraadi võrra parem, kui eelnev (15,6 °C) .

### 3.2.2 Välissein – katus ühendussõlm



**Joonis 3.8** Katuse ja välisseina ühendussõlme simulatsioon

Võrreldes eelneva olukorraga on näha olulist paremist katuse soojapidavuses. Kuigi ka enne oli räästasõlme põhimõtteline lahendus õige, siis nüüd on see tänu paksemale soojustuskihile soojusvood väiksemad. Minimaalne sisepinna temperatuur on 19 °C, mis on võrreldes varasemaga 1,1 kraadi parem (17,9 °C)

Soojustuskihi suurendamise vajalikkusele oli lisaks väga oluline ka tagada katusekatte piisav tuulutus ning takistada niiskuse ja vee pääsemist kandva konstruktsioonini. See on uues konstruktsioonis tagatud ning uue lahendusega ei tohiks vesi enam sarikate ligi pääseda.

## 3.3 Tehnosüsteemid

### 3.3.1 Ventilatsioon

Hea ventilatsioon hoones on oluline mitmel põhjusel. Sellel on üks olulisemaid rolle hea sisekliima saavutamisel, sest ventilatsioon tagab puhta õhu ja liigniiskuse välja ventileerimise. Seejuures ei tohi sissepuhke õhujoad põhjustada inimestele ebamugavast tuuletõmbuse ja ruumi pindade liigse jahutamise näol. Liginullenergia

majades on vältimatu vajalik soojustagastusega ventilatsioon, mis võimaldab üheaegselt tagada nii hea sisekliima kui ka energiatõhususe. [21], lk 33

Ventilatsioon peab olema kogu hoone ulatuses tasakaalus ehk summaarne sissepuhkeõhu vooluhulk peab võrduma väljatõmbeõhu vooluhulgaga. Tasakaal peab säilima ka eriolukordades – pliidikubu, kesktolmuimeja kasutamise või kamina kütmise ajal. Õhupidavas liginullenergiamaajas on see võimalik ainult ventilatsiooniseadme lülitusega vastavasse režiimi, mis suurendab sissepuhet ja vähendab väljatõmmet. [21], lk 33

Kuigi ventilatsioon lahendatakse eraldi ventilatsiooniprojektiga, mis tuleb tellida, on üldised ventilatsiooni kavandamise põhimõtted järgnevad. Ventilatsiooni projekteerimine algab ventilatsioonisüsteemi põhimõttelise skeemi paika panekuga. Veskitamme 5 hoones on 2 magamistuba, 1 magamistuba-kontor, elutuba avatud köögiga, sauna eesruum, pesuruum, leiliruum ja WC. Selle arvestuse järgi on hoonesse vaja 4 sissepuhet ning 4 väljatõmmet.

Seejärel on vaja välja selgitada vajalikud õhuvooluhulgad. Kui puuduvad muud saasteallikad, peab ühe inimese kohta ruumis olema vooluhulk vähemalt 7 l/s. Tabelis 3.10 on toodud elu- ja abiruumide õhuvooluhulkade projekteerimisväärtused ja õhu liikumiskiirused. [26], lk 3

**Tabel 3.10** Elu- ja abiruumide õhuvooluhulkade projekteerimisväärtused ja müra tasemed

Ruumi kasutusotstarve	Siseõhu temperatuur °C	Välisõhu hulk (s)=siirdeõhk m <sup>2</sup> *(l/s)	Väljatõmbeõhu hulk l/s	Müra tase dB
Elutuba	21	0,5		30
Magamistuba	21	0,7*		30
Esik	19	(s)		35
Köök	21	(s)	20**	35
Söögituba	21	0,5		30
Vannituba, pesuruum	22	(s)	15	40
WC	21	(s)	10	35
Sauna leiliruum	22	3	3/m <sup>2</sup>	35

\* Magamistoas arvestada välisõhuhulgaks inimese kohta 7 l/s.

\*\* Normatiiv, kui köögis pliidi kohal on kubu, kui ei ole, on väljatõmme 50 l/s.



Järgnevalt tuleb kindlaks määrata ventilatsiooniseadme paiknemise koht koos õhuvõtu ja heitõhu avadega. On juba teada, et ventilatsiooniagregaat tuleb keldrisse, mis on ühtlasi ka hoone tehnoruumiks.

Pärast seda saab kindlalt paika panna lõppelemendid ja ventilatsioonitorustike paiknemise. Esimese korruse ventilatsiooniga on lihtne, torud saavad joosta vahelaes ning kõik plafoonid saab paigaldada lakke. Teise korrusega on küll pisut keerulisem, kuid ka seal saavad torud tegelikult joosta vahelaes ning kasutada saab ka näiteks seinapeale paigaldatavaid plafoone.

Seejärel tuleb kogu süsteemi elemendid dimensioneerida ja määrata neile vajalik isolatsioon. Kindlasti peab torud korralikult isoleerima keldris, et vältida sissepuhke õhu maha jahtumist ja kondensaadi tekkimist enne eluruumidesse jõudmist. Eluruumides sees ei ole ilmselt vaja torusid eraldi isoleerida, sest neid ümbritseb vahelaes mineraalvill. Ainus hetk, mis tuleb veel eraldi läbi mõelda on see, kas isolatsiooni on tarvis näiteks müra vähendamiseks.

Siis tuleb ventilatsioonisüsteem tasakaalustada ja arvutada rõhulang. Seejärel saab ventilatsiooniseadme lõpliku valiku teha ning teostada müraarvutuse lähtuvalt ventilatsiooniseadmest ja süsteemi seadistustest.

Energiatõhususarvule avaldab ventilatsioonisüsteem eelkõige mõju elektrienergia tarbega, mis kulub ventilaatorite tööks ja välisõhu soojendamiseks. Hoonesse külma õhu sissepuhumise vältimiseks varustatakse ventilatsiooniseade üldjuhul soojustagasti ja järelküttekalorifeeriga. Soojustagasti soojendab ruumist väljatõmmatava õhu soojuse arvelt sisse tõmmatavat välisõhku. Eestis ei ole meie kliima tõttu võimalik ainult soojustagasti abil välisõhku piisavalt soojaks kütta, kompenseerib vahe järelküttekalorifeer, mis soojendab õhku elektri või veega. [21], lk 36

Ventilatsiooniseadme soojustagastuse tõhusust iseloomustavad kaks näitajat: temperatuuri suhtarv  $\eta$  ja energia tagastamise kasutegur. Liginullenergiahoonetes peab väljatõmbeõhu jääsoojus olema kasutatud maksimaalselt ehk seadme soojustagasti temperatuuri suhtarv peaks olema  $\eta \geq 0,8$ . Lisaks mängib elamu ventilatsiooniseadme energiakasutuses ka olulist rolli soojustagasti jäätumisvastane kaitse. [21], lk 37

Väikeelamutes kasutatakse enamasti kahte tüüpi soojustagasteid: rootor- ja plaatsoojustagastid. Energiasäästu seisukohalt tuleks kindlasti eelistada rootorsoojustagastit, sest keskmise 120 m<sup>2</sup> suuruse väikeemalu puhul võib õhu järelkütteks tarbitav energia hulk olla plaatsoojustagasti puhul ligi kaks korda suurem. [21], lk 38

Ventilatsiooniseadme elektrikasutuse efektiivsust näitab ventilatsioonisüsteemi elektri erivõimsus SPF. Mida väiksem see arv on, seda madalam ka elektri tarbimine. Üldjuhul võib ventilatsioonisüsteemi kavandamisel lähtuda eesmärgist  $SPF \leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

Et teostada rekonstrueeritavale hoonele energiamärgise arvutust, on vaja teada ventilatsiooniseadme soojustagasti tüüpi, selle temperatuuri suhtarvu, järelkalorifeeritüüpi ning ventilatsiooniseadme erivõimsust.

Et sobivat seadet leida, on vaja leida hoones vajalikud õhuvooluhulk. Vajalikud õhuvooluhulgad on toodud tabelis 3.11 ning nende leidmiseks on kasutatud tabelit 3.10.

**Tabel 3.11** Veskitamme 5 õhuvooluhulgad

Ruum	Pindala, m <sup>2</sup>	Õhuvooluhulk, l/s	
		Sissepuhe	Väljatõmme
1. korrus			
Magamistuba 1*	13,6	7	7
Magamistuba 2*	11	7	7
Elutuba-köök	38,9	19,45	20
Esik	2,8	(s)	
Pesuruum*	3,2	15	15
WC	1,3		10
Sauna eesruum	1,4	(s)	
Leiliruum	2,4	7,2	1,25
2. korrus			
Magamistuba-kontor	28,3	7	
Kokku:		62,65	60,25

\* Kõrge lävepakuga uks. Ruum vajab nii sissepuhet kui ka väljatõmmet.

Kuna hoone ventilatsioonisüsteem peab olema tasakaalus ehk sissepuhe peab võrduma väljatõmbega, juhindume kõrgemast arvvärtusest ning saame Veskitamme 5 vajalikuks õhuvooluhulgaks 70 l/s. Sellest tulenevalt valis töö autor välja tootja Renson rootorsoojustagastiga ventilatsiooniseadme Endura Delta 330. Seadme temperatuuri suhtarv on  $\eta = 0,84$ , välisõhu kütmine toimub elektrikalorifeeriga ning seadme erivõimsus on  $SPF = 2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Täpsemad seadme andmed on töö lisades (Lisa 23).

Ventilatsiooni juures on paslik ka märkida, et kindlasti tuleb kinni katta hoone vana, loomulik ventilatsioon. Tasub uurida, kuidas ja kas saab ära kasutada köögis ja

pesuruumis olemasolevaid ventilatsioonilõõre. Kui nende kasutamine võimalik ei ole, tuleb need lihtsalt õhutihedalt sulgeda.

### **3.3.2 Küte**

Hoone küttesüsteeme ei ole plaanis muuta. Olemasolev küttesüsteem jääb sisse, sest toimib veel hästi ning niigi ulatuslike rekonstrueerimistööde juures ei taheta veel üht lisakulutust teha. Lisaks on liginullenergia seisukohalt tegemist kõige parema kaalumisteguriga (0,65) küttelehendusega, sest põhineb taastuvtoormel.

### **3.3.3 Lokaalne taastuenergia**

Lokaalse taastuenergia all mõtleme eelkõige päikeseenergiat. Päikesest saadavat energiat saab väikeelamutes kasutada kolmel põhimõttel:

- läbi akende ruumi tuleva päikeseenergia (vabasoojus) kütab kütteperioodil ruume;
- päikesekollektorid, mis toodavad soojust;
- päikesepaneelid, mis toodavad elektrit ehk nn. PV-paneelid. [21], lk 50

### **3.3.4 Päikesekollektorid**

Soojust tootvad päikesekollektorid jagunevad lame- ja vaakumkollektoriteks, väikeelamutel võib kasutada mõlemat tüüpi. Väikeelamu küttevajadus ja kollektorile tulev päikesekiirgus on aasta arvestuses üksteisega vastuolus - talvel on suur soojavajadus, aga päikesekiirgust vähe, suvel vastupidi. Seetõttu ei saa Eesti kliimas kasutada päikesekollektoreid väikeelamu kütteallikana, küll aga sobivad need näiteks sooja tarbevee valmistamiseks. Õigesti ja optimaalselt paigaldatud süsteemiga katta ligikaudu 50% kogu sooja tarbevee küttevajadusest. [21], lk 50

Veskitamme 5 hoones on kindlasti plaanis sooja tarbevee saamise süsteem ümber teha. Hetkel olev elektriboiler kasutab enim elektrienergiat just suvel, mil boilerisse minev vesi ei ole küttesüsteemi poolt eelsoendatud ning kogu soe tarbevesi saadakse elektriga küttes. Seega on päikesekollektorid parim lahendus hoonesse sooja tarbevee saamiseks.

Päikesekollektorist saadav soojus ei ole pidevalt ühtlane, vaid ajas muutuv. Põhiliselt sõltub see atmosfääri pilvisusest, aastaajast ja kellaaajast. Samas ei sõltu see hoone soojuse kasutusest, sest sooja vett läheb vaja ka pimedal ajal. Seetõttu on päikesekollektorite süsteemis vaja kindlasti sooja vee salvestuspaaki, mis salvestab

päikeselt saadud energia, tänapäeval on selleks nn. kihtide kaupa laaditav salvestuspaak. [21], lk 50

Päikesekollektorid paigaldatakse üldjuhul hoone katusele ning asukoha valikul tuleks pidada silmas, et kollektorite pinnale ei tekiks ka talvekuudel varjusid (nt. naaberhoonetest, puudest, elamu konstruktsioonidest jne.) ja need tuleks suunata lõunasse maapinna suhtes 40...45° nurga all. [21], lk 51

Veskitamme 5 hoone katus täidab need tingimused ideaalselt. Viilkatuse kalded „vaatavad“ täpselt põhja ja lõunasse ja katuse kaldenurk on 40°. Lisaks sellele puuduvad kõikvõimalikud varje tekitavad asjaolud, suuremad puud krundil asuvad piisavalt palju eemal, idas ja läänes puuduvad naaberhooned ning lõunas asuv naabermaja on ühekorruseline ja oluliselt madalam.

Kollektorite kavandamisel on võib lähtuda kahest ligikaudsest näitajast:

- ühe elaniku kohta on vaja ca 1,5-2 m<sup>2</sup> päikesekollektorite pindala;
- ühe elaniku kohta on va ca 80-100 l akumulatsioonipaagi mahtu. [21], lk 51

Veskitamme 5 hoones elab aastaringelt 2 inimest. Seega plaanitakse paigaldada päikesekollektoreid kasuliku pindalaga kuni 4 m<sup>2</sup>. Hetkel olemasolevat 150 l suurust elektri boilerit saab ära kasutada akumulatsioonipaagina, juurde tuleb osta eraldi paisupaak. Sobiv kollektor on tootja Viessmann vaakumkollektor Vitosol 200-T. Plaanitakse paigaldada üks kollektor, mille brutopindala on 4,62 m<sup>2</sup> ning kasulik pindala 3,03 m<sup>2</sup>. Täpsemad toote tehnilised andmed on leitavad töö lisades (Lisa 25).

Kollektorist saadav sooja tarbevee soojuse arvutamiseks kasutatakse valemit (3.1): [6], § 27

$$Q_{kol} = 945 * A_{kol} * k_{soojus} * k_{suund} * \frac{kWh}{a} \quad (3.1)$$

,kus

$Q_{kol}$  – päikesekollektorist saadav aastane soojatarbevee soojus kWh/a

945 - horisontaalpinnale tulev aastane päikesekiirgus kWh/m<sup>2</sup>a

$A_{kol}$  – kollektori aktiivpindala (m<sup>2</sup>), millele ei teki varje

$k_{soojus}$  – aasta keskmine kollektoriga toodetud soojuse kogukasutegur, mis arvestab kollektori optilisi omadusi ja jahtumiskadusid (valitud tootel tehniliste andmete põhjal 0,81)

$k_{suund}$  – suunategur, mis arvestab kollektori paiknemist ilmakaare ja horisondi suhtes

Kollektori suunateguri leiab määrustest ning antud töös tabelist 3.12. Tabelis puuduvate nurkade ja ilmakaarte korral tuleb kasutada interpoleerimist.

**Tabel 3.12** Kollektori suunategur

Kaldenurk horisondi suhtes, °	Ilmakaar	
	Lõuna, 180°	Edel, 225°
40°	1,22	1,13



**Joonis 3.9** Veskitamme 5 hoone ilmakaarte suhtes

Interpoleerides saame, et kollektori suunategur on 1,252. Valemi (3.1) järgi arvutades saame, et kollektorist saadav sooja tarbevee energiahulk on  $Q_{kol} = 2903 \text{ kWh/a}$ .

Arvestades, et hetkel köetakse kogu soe vesi elektriga ning aastane elektritarbimine on umbes 4000 – 4500 kWh, on tegemist väga suure võiduga. Siin tuleb muidugi arvesse võtta, et osa potentsiaalsest sooja tarbevee jaoks vajaminevast energiast läheb raisku, sest suur osa sellest toodetakse suvel. Samas püsib sooja tarbevee vajadus aasta lõikes enam-vähem sama, seega talvel on endiselt vajalik elektriga juured kütta. Väga sooja suve puhul on aga potentsiaali saada kogu soe tarbevesi köetud päikeseenergiaga.

Samas tuleb arvestada, et lisaks energia tootmisele antud süsteem ka siiski kulutab energiat ringluspumba tegutsemise näol. Kollektori ringluspumba elektrikasutuse saame arvutada valemiga (3.2): [6], § 27

$$E_{kol,pump} = (50 + 5A_{kol}) * \frac{t_{kol,pump}}{1000}, \frac{kWh}{a} \quad (3.2)$$

,kus

$E_{kol, pump}$  – päikesekollektori ringluspumba aastane elektrikasutus kWh/a

$A_{kol}$  – kollektori aktiivpindala (m<sup>2</sup>), millele ei teki varje

$t_{kol,pump}$  – kollektori ringluspumba töötundide arv aastas h (2000 h/a)

Valemi (3.2) põhjal saame, et kollektori ringluspumba aastane elektritarbimine on  $E_{kol,pump} = 130,3 \text{ kWh/a}$ .

Kui toodetud energiast lahutada kulutatud energia, saame kollektori aastaseks tootlikuseks 2772,7 kWh/a. Tulemus on kahtlemata väga hea, kuid kindlasti ei saa seda täiel määral ära kasutada. See, kui suurel määral aga reaalsuses saab hakata

päikeseenergiat ära kasutama, tuleb lahendada aga konstruktiivses projektis konsulteerides eriala spetsialistidega.

### 3.3.5 Päikesepaneelid ehk PV-paneelid

Lisaks sooja tarbevee saamiseks soovitakse kindlasti ka ülejäänud elektrikulus osa kompenseerida päikeseenergiaga. Selleks on tarvis paigaldada päikesepaneelid. Sarnaselt kollektoriga paigaldatakse need samuti katusele, hoone lõuna suunalisse külge.

PV-paneelidel on kasutegur, mis näitab kui suur osa pinnale langenud päikeseenergiast muundatakse elektriks, see jääb 15-20 % vahele. Õige orientatsiooniga paigaldatud paneeli ühe ruutmeetrisest pindalast saab Eestis oludes umbes 100-150 kWh/a energiat. Päikesepaneelide paigaldusel tuleb järgida samu põhimõtteid nagu ka kollektorite paigaldamisel. [21], lk 53

Tuleb meeles pidada, et paneelid toodavad suvel oluliselt rohkem elektrit kui talvel, millest tulenevalt jääb talvel toodetud energiast väheks ning suvel toodetakse seda jällegi liiga palju. [21], lk 53 Liigselt toodetud energia on aga võimalik nõrku tagasi müüa.

Päikesepaneelid toodavad alalisvoolu, elektrivõrk kasutab aga vahelduvvoolu. Seepärast on võrguga ühendamiseks vaja voolu muundurit ehk inverterit. Selle nominaalne võimsus ehk kui palju toodetud energiast saab muuta vahelduvvoolu elektrienergiaks, sõltub päikesepaneelide nominaalsest võimsusest ning katuse suunast. [21], lk 54

Päikesepaneelidega toodetud aastane elektrienergia arvutatakse valemiga (3.3): [6], § 28

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} * P_{max} * k_{kas}}{I_{ref}}, \frac{kWh}{a} \quad (3.3)$$

,kus

$E_{pan}$  – päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia kWh/a

$Q_{päike}$  – päikesepaneeli pinnale, millele ei teki varje, tulev aastane päikeseenergia, kWh/m<sup>2</sup>a

$P_{max}$  – päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel, kW

$k_{kas}$  – tegur, mis arvestab päikesepaneeli kasutustingimusi

$I_{ref}$  – standardkiirgus 1 kW/m<sup>2</sup>.

Päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia leitakse valemiga (3.4): [6], § 28

$$Q_{\text{päike}} = 945 * k_{\text{suund}} \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \quad (3.4)$$

,kus

$Q_{\text{päike}}$  – päikesepaneeli pinnale, millele ei teki varje, tulev aastane päikeseenergia, kWh/a

945 – horisontaalpinnale tulev aastane päikesekiirgus kWh/m<sup>2</sup>a

$k_{\text{suund}}$  – suunategur, mis arvestab päikesepaneeli suunatust ilmakaare ja horisondi suhtes.

Päikesepaneeli kasutegur sõltub paneeli paigaldusviisist, tuulutusest on see näitaja 0,7, mõõduka tuulutusega 0,75 ja intensiivse tuulutusega 0,8. [6], § 28 Veskitamme 5 katusele tulevad tuulutusest päikesepaneelid.

Valituks osutusid Winaico poolt toodetud monokristall päikesepaneelid WST-325M6 PERC 325 W. Päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel 325 W = 0,325 kW. Ühe paneeli kasulik pindala on 1,56 m<sup>2</sup>. Paneele on kavas paigaldada 3 tükki, täpselt kõrvuti, et need üksteise peale ei hakkaks varjusid tekitama. Täpsemad tehnilised andmed on toodud töö lisades (Lisa 26).

Päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia on valemi (3.4) järgi  $Q_{\text{päike}} = 1183,1$  kWh/m<sup>2</sup>a ning ühe päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia on  $E_{\text{pan}} = 269,1$  kWh/a. Soovitakse paigaldada kolm paneeli, mis tähendab, et elektrienergia paneelidest on  $E_{\text{pan}} = 807,3$  kWh/a.

Oluline märkus nii päikesepaneelide kui ka -kollektorite kohta on, et kindlasti peab eelnevalt läbi arvutama, kas katuse kandekonstruktsioonid on võimelised nendest tulevat lisakoormust vastu võtma ning vajadusel peab konstruktsioone tugevdama. See osa lahendatakse põhiprojektiga.

### 3.4 Rekonstrueeritud hoone ETA

Seekord kasutab autor ETA leidmisel Majandusministeeriumi poolt välja pakutud väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaatorit. Ehitusloa taotlemisel tulebki andmed esitada antud kalkulaatori väljavõtteks. [27] Kalkulaatori väljavõtte on toodud ära töö lisades (Lisa 28).

Rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv pärast tööde teostamist on arvutuslikult 136 kWh/m<sup>2</sup>a, ilma PV-paneelide ja kollektorita 141 kWh/m<sup>2</sup>a. See on hea tulemus,

mahtudes nii rekonstrueeritavate hoonete kui ka liginullenergiahoonele etteantud piirmääradesse. Energiaklass on seega hoonel pärast tööde lõppu „A“.

Tulemus on tegelikult suhteliselt piiripealne. Autori hinnangul paistab kõige suurem kadu tulema põranda suuremast soojusjuhtivusest. Selle muutmiseks aga mõistlikku lahendust ei ole, sest põranda pinda tõsta ei saa ning keldri lage samuti rohkem alla tuua, et soojustust rohkem mahuks.

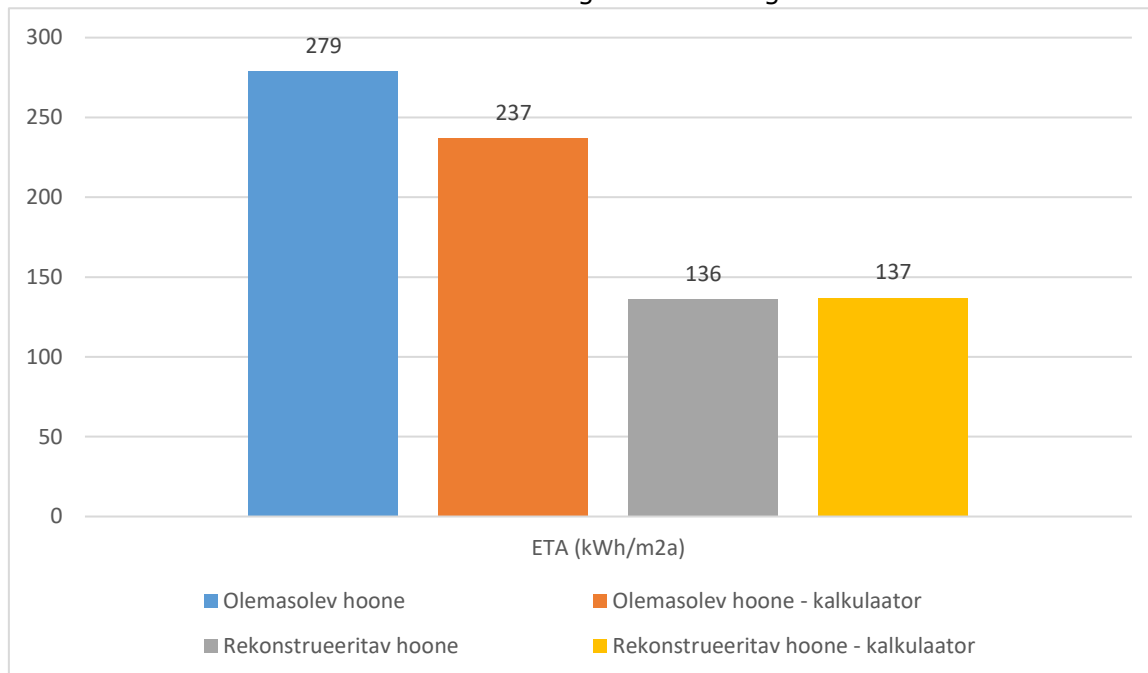
Tegelikult on reaalsuses energiakasutus isegi väikesem, sest nagu juba eelnevalt energiatõhususarvu leides selgeks sai, peitub kalkulatsiooni kitsaskoht selles, et arvutus ei arvesta reaalselt hoones elavate inimeste arvu, vaid teeb järelduse köetava pinna pealt.

Töö lisades on võrdluseks leitud ETA ka arvutused ükshaaval läbi tehes, sest nagu olemasoleva hoone ETA arvutuse puhul selgus, ei saa kalkulaatorit kalkulaator alati usaldusväärset tulemust. Sel juhul saadi tulemuseks 137 kWh/m<sup>2</sup>a. Tegemist on praktiliselt samaväärse tulemusega, kui kalkulaatoriga arvutades. Seda eelkõige sellepärast, et nüüd on kalkulaatoriga arvutamiseks olemas kõik vajalikud näitajad ehk suuresti ventilatsioonisüsteemi olemasolu ning selle näitajad.



### 3.5 Järeldused

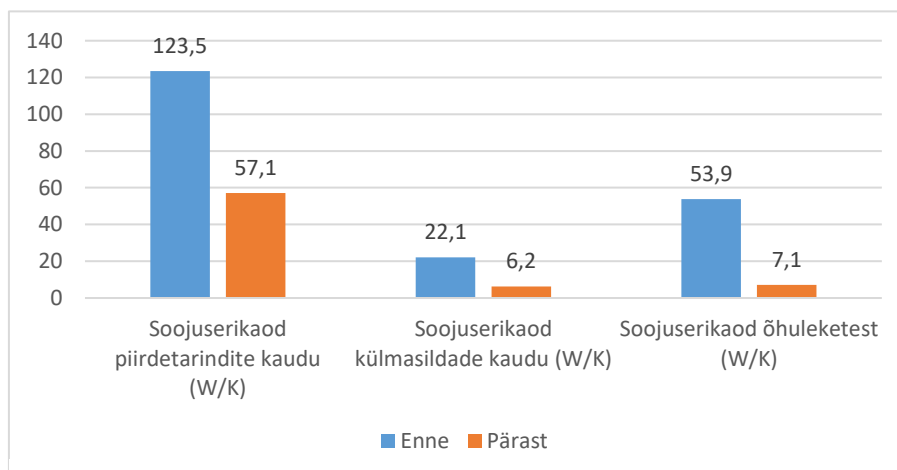
Joonisel 3.10 on toodud kõikide meetoditega leitud energiatõhususarvud.



Joonis 3.10 Veskitamme 5 ETA väärtused

Hoone energiakasutuses on näha väga selget paranemist. Kuna hoone küttesüsteem jäi samaks, tuli parem tulemus välispiirete õhu- ja soojapidavuse parandamisest. Oma osa andis ka juurde ka päikeseenergia ära kasutamine sooja tarbevee ja elektri saamisel, kuid see muutis rekonstrueeritava hoone puhul vaid 5 kWh/m<sup>2</sup>a, seega võib järeldada, et kõige olulisem roll hoone energiatõhusaks muutmisel on just välispiirete sooja- ja õhupidavusel.

Joonisel 3.11 on näidatud graafiliselt, kui suured olid paranemised soojuskadudes nii välispiirete, joonkülmasildade kui ka õhulekete osas. Arvuliselt kõige suurem muutus toimus välispiirete osas, mis on ka loogiline, sest välispiirete kaudu toimubki kõige



Joonis 3.11 Soojuserikaod enne ja pärast rekonstrueerimist

suurem soojuse liikumine. Protsentuaalselt oli aga kõige suure paranemine just õhulekkest tulenevast soojuserikaost, olles varasemast 86,8 % parem.

Siit tuleb hästi välja, kuidas õhulekkest tulenevat soojuskadu ei tohiks alahinnata. Olemasoleva hoone puhul moodustab õhulekkest tulenev soojuskadu pisut üle veerandi kogu hoone soojuskadudets. Seega, kui näiteks välispiirete uuesti soojustamine ära jätta ning tegeleda ainult hoone õhupidavaks saamisega, oleks energiakulu võit juba neljandik.

Siinkohal peab autor aga oluliseks mainida, et kõigist neljast energiatõhususe arvutusest järeldub, et ETA-s kajastub tegelikult vaid pool tõde. Arvutus ise annab küll ülevaate, kus peituvad hoone suuremad energiakaod, kuid lõplik suurus ning sellest tulenevalt ka energiaklass, on suuresti manipuleeritav. Nimelt on võimalik ilma hoone soojapidavust parandamata energiamärgist oluliselt parandada näiteks küttesüsteemi välja vahetamisega. Paigaldades hoonesse, mille algne küttesüsteem toimib elektriga (kaalumistegur 2,0) näiteks halukatla (kaalumistegur 0,65), paraneb hoone ETA arv ca 30% võrra. Reaalsuses aga soojuslik mugavus kuidagi ei paranenud.

## KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli teostada energiatõhusus arvutused ning viia läbi õhulekkeuuring Veskitamme vkt 5 hoonele, et kaardistada selged kitsaskohad hoone energiakasutuses. Sellest lähtuvalt pakuti välja lahendused hoone energiatõhususe parandamiseks. Töö tulemuste väljundiks oli valminud rekonstrueerimisprojekt hoonele.

Autori algne eesmärk oli, et hoone energiatõhususe parandamiseks säiliks hetkel olemasolevast hoonest nii palju kui võimalik. Paraku selgus nii teostatud õhulekkeuuringust kui ka termograafiast, et soovitud määral vana säilitada ei saa ning lammutamisele läheb praktiliselt kõik peale kandvate konstruktsioonide. Rohkema säilitamine võib tulevikus päädida uue ning veel ulatuslikuma vajadusega rekonstrueerida ning siis läheks tõenäoliselt välja vahetamisele ka osa kandvaid konstruktsioone.

Töö tulemusena valminud projekt „läheb töösse“ plaanide kohaselt juba käesoleva ehk 2020 aasta suvel, seda muidugi eeldusel, et tööde teostamiseks saadakse kõik vajalikud load.

Eesmärk, et rekonstrueeritav hoone vastaks liginullenergiahoone nõuetele, sai täidetud. Hoone aastane energiakasutus sai hetkeolukorrast 279 kWh/m<sup>2</sup>a viidud oluliselt energiasäästlikuma 136 kWh/m<sup>2</sup>a. Kõige rohkem parandas energiakasutust tegelikult välispiirete soojustamine ja õhutihedaks muutmine. Autori üllatuseks sõltus oluliselt vähem näiteks päikeseenergia ära kasutamisest hoone energiatarbimises, kuid kahtlemata on oma osa sellelgi.

Magistritöö koostamise kõige suuremaks väljakutseks osutus tegelikult puuduv ajakohane materjal. Kuna kehtima hakkavad määrused on suhteliselt uued, siis osutus väga raskeks orienteeruda kättesaadavates teatmikes, aruannetes ja juhendmaterjalides. Palju teemakohast kirjandust on küll põhimõttelt kõik õige, kuid koostatud vanade määruste ja standardite järgi, mis tähendab, et erinesid nii arvanded kui ka lausa osa arvutamise meetodikast.

Autori hinnangul on rekonstrueerimisprojektis kasutatud lahendused optimaalsed ning energiatõhususe paranemine märkimisväärne. Elamu energiakasutus peaks pärast rekonstrueerimist langema arvutuslikult 51 %, mis on, arvestades järjest tõusvaid energiahindasid, kindlasti suur võit ka rahalises mõistes.

Koostatud magistritöö võib kasulikuks osutada eelkõige teistele sarnaste hoonete omanikele. Selliseid suvilaks ehitatud maju on Eestis palju. Magistritöö saab abiks olla vajalike uuringute ja arvutuste näidisena. Eriti kasulikuks peab töö autor läbiviidud õhulekkeuuringut, mille tegemata jätmisel oleks autor nii mõnedki lahendused teisiti esitanud ning mis kokkuvõttena oleksid olukorda hoopis halvemuse poole viinud. Lisaks sai kummutatud inimeste ekslik arvamus, et selliste suvilate renoveerimisel ning üldiselt hoone energiatõhusaks ehitamisel on kindlasti vaja päikesepaneele. Ka ilma päikeseenergiat ära kasutamata on võimalik hoone energiatõhusaks muuta. Siinkohal ongi tarvilik selge ja korralikult läbimõeldud projektlahendus.

## SUMMARY

The aim of the thesis was to calculate the energy efficiency of Veskitamme 5 building and to carry out a study of the building's air permeability. This was done in order to clearly mark the shortcomings of buildings energy usage. The outcome of the thesis was a reconstruction project for Veskitamme 5 building which conforms to the standard of a near zero energy building.

Author's initial purpose for the reconstruction project was to preserve as much as possible of the existing building's constructions while still improving the energy efficiency. After analysing the air permeability study, it was clear that most of the structures must be stripped down almost completely, leaving only the bearing part of the structures as is. Trying to preserve any more of the constructions may lead to a new and even bigger need for a reconstruction in the future.

The target for the new reconstructed building to be a near zero energy building, was met. Buildings yearly energy usage was brought down from existing 279 kWh/m<sup>2</sup>y to much more energy efficient 136 kWh/m<sup>2</sup>y. The biggest impact on improving the buildings energy performance was made through adding more insulation to the external walls and roof and lowering the air leakage rate. It came as a surprise to the author that the planned use of thermal energy from the sun made a much smaller impact on the energy efficiency as was expected.

The biggest challenge during the research was lack of up to date studies and guide materials for reconstructing such a building which meets today's requirements of energy efficiency. A lot of the available materials' principles were still correct but as they were written at a time, when older regulations were in use, the calculations values and sometimes even methods were outdated.

By author's opinion the solutions for reconstruction of the building and its' energy efficiency improving were optimal and the improvement of the building's energy usage notable. The energy usage should decrease by 51% after the reconstruction is finished.

This thesis may be helpful for people with similar houses as there are a lot of this type of buildings in Estonia. By author's opinion, the air leakage study is especially beneficial as it shows how one may underestimate the importance of thinking through every solution in reconstructing a building.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] A. Piirfeld. „Soojustatud välisseina hingamine ja selle arvutusmetoodika“. 2018. <http://www.tarmatrade.ee/wp-content/uploads/2017/04/FASSAADIDE-HINGAMISE-ARVUTUS.pdf>.
- [2] „EVS-EN ISO 10211:2017. "Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused.". Eesti Standardikeskus. 2017.
- [3] „Liginullenergia eluhooned: piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivuse arvutus“. 2017. [https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Piirdetarindite\\_liitekohtade\\_joonsoojuslabivuse\\_arvutus.pdf](https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Piirdetarindite_liitekohtade_joonsoojuslabivuse_arvutus.pdf).
- [4] „EVS-EN ISO 13788:2012. "Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid". Eesti Standardikeskus. 2013.
- [5] „EVS-EN ISO 9972:2015. "Hoonete soojuslik toimivus: Hoonepiirete õhulekke määramine, Ventilaatoriga survestamise meetod". Eesti Standardikeskus. 2015.
- [6] „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika. Vabariigi valitsuse määrus nr 58 RT I, 09.06.2015. <https://www.riigiteataja.ee/akt/109062015021?leiaKehtiv>.
- [7] „EVS-EN ISO 13788:2012. "Hoone elementide ja piirdetarindite soojus- ja niiskustehniline toimivus." Eesti Standardikeskus. 2012.
- [8] T. Kalamees ja T. Tark. „Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine: juhend väikeelamute projekteerijale, ehitajale ja tellijale“. Tallinn. 2012.
- [9] „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi valituses määrus nr. 63 (2018). RT I, 22.08.2019, 2. <https://www.riigiteataja.ee/akt/122082019002>
- [10] J. Kurnitski. „Liginullenergiahoonete ehitamine läheneb suure kiirusega,“ *Liginullenergiahooned täna ja homme: artiklite kogum*. pp. 9-14 , 2015.
- [11] „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele. Vabariigi valituses määrus nr. 36 (2015) RT I, 22.08.2019, 2. <https://www.riigiteataja.ee/akt/106052015002?leiaKehtiv>
- [12] T. Masso. Ehitusfüüsika ABC: soojus, niiskus, müra. Tallinn: EHITAME. 2012.
- [13] Ehituskonstruktori käsiraamat. 3. parandatud ja täiendatud trükk. Tallinn: EHITAME. 2012.
- [14] A. Hambrug. „Eluhoone lihtsustatud energiatõhususe tõestamine ja kütte netoenergiakulu leidmine kraadipäevade järgi,“. Tallinna Tehnikaülikool: Tallinn. 2012.

- [15] „EVS-EN ISO 6946:2017 "Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetodid". Eesti Standardikeskus. 2017.
- [16] „EVS-EN ISO 13370:2017 "Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid". Eesti Standardikeskus. 2017.
- [17] *ISO 14683:2017 "Thermal bridges in building construction - Linear thermal transmittance - Simplified methods and default values"*. Eesti Standardikeskus. 2017.
- [18] T.Jõesaar, A.Hamburg. „Korterelamute energiaauditite koostamise juhend,“. Tallinn. 2015.
- [19] T-A. Kõiv; A. Rant. "Hoonete küte". Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 2013.
- [20] „Tööriistad energiatõhususe mõõtmiseks: Kraadpäevad,“ SA Kredex, 2020. <https://www.kredex.ee/et/suurendame-teadlikkust-energiatohususest/tooriistad-energiatohususe-mootmiseks>. [Kasutatud 17.04.2020].
- [21] „Liginullenergia eluhooned: väikemajad“. 2017. [https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia\\_eluhooned\\_Vaikemaja\\_juhend.pdf](https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Vaikemaja_juhend.pdf).
- [22] „Puidukütusest“. Tallinna Tehnikaülikool. [http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120\\_files/Puitku%CC%88tusest.pdf](http://staff.ttu.ee/~akonist/sti/MST0120_files/Puitku%CC%88tusest.pdf). [Kasutatud 17.04.2020].
- [23] „Väikeelamute rekonstrueerimistoetus“. <https://www.kredex.ee/et/teenused/elamistingimuste-parandamiseks/vaikeelamute-rekonstrueerimistoetus>. [Kasutatud 18.04.2020].
- [24] T.Kalamees; K.Loorits, „Uurimistöo "Elamute õhulekkearvu baasväärtuse väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise meetodika väljatöötamine" raport,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2008.
- [25] „Küttesüsteemide tuleohutus,“ <https://www.rescue.ee/files/2018-10/kuttetesusteemide-tuleohutus-04.04.2018.pdf>.
- [26] Eesti kütte ja ventilatsiooni ühind. „Eluruumide sisekeskkonna ja ventilatsiooni normatiivarvud“. <http://www.ekvy.ee/attachments/article/27/normatiivid%20vent%20systeemide%20projekteerimisel.pdf>. [Kasutatud 19.04.2020].
- [27] „Energiatõhususe miinimumnõuded,“.

- <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/ehitus-ja-elamumajandus/hoonete-energiatohusus>. [Kasutatud 19.04.2020].
- [28] „EVS-EN ISO 10456:2008 "EHITUSMATERJALID ja -TOOTED. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arutusväärtuste määramise meetodid". Eesti Standardikeskus. 2008.
- [29] „EVS-EN ISO 10077-1:2017 "Akende, uste ja luukide soojuslik toimivus. Soojuslähivuse arvutus. Osa 1: Üldosa. (parandatud väljaanne 03.2020)". Eesti Standardikeskus.
- [30] F. Angelstock, „Ventilatsiooni alused,“ 2006.  
[http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/17329/Ventilatsiooni\\_alused.pdf](http://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/17329/Ventilatsiooni_alused.pdf).  
[Kasutatud 15 04 2020].
- [31] A.Mikola, A.Hamburg, J.Kurnitski, T.Kalamees, „Rekonstrueeritud korterelamute sisekliima ja energiakasutuse analüüs,“ 2017.  
[https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Rekonstrueeritud\\_korterelamute\\_sisekliima\\_ja\\_energiakasutuse\\_analuus.pdf](https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Rekonstrueeritud_korterelamute_sisekliima_ja_energiakasutuse_analuus.pdf).
- [32] J. Hallik, „Õhulekkearvu deklareerimisväärtus Sense näitel,“ 23.04.2019.  
<file:///C:/Users/kasutaja/Downloads/Jaanus%20Hallik%20%C3%95hulekkearvu%20deklareerimisv%C3%A4%C3%A4rtus%20Sense%20TE2019.pdf>.



**LISAD**

# Lisa 1. Õhulekkeuringu protokoll



## BUILDING LEAKAGE TEST

Tallinna Tehnikaülikool  
Tartu Kolledž

Date of Test: 12.05.2020 Test File: Veskitamme\_õige

Technician: Kristo Kalbe & Triinu Bergmann

Project Number:

Customer:

Building Address: Veskitamme vkt 5, Vissi küla

### Test Results at 50 Pascals:

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Airflow)	3539 (+/- 1.9 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Air Change Rate)	11.38
qF <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Floor Area)	32.77
qE <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Envelope Area)	11.06

### Leakage Areas:

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.1079 (+/- 1.9 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0009987
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0003371

### Building Leakage Curve:

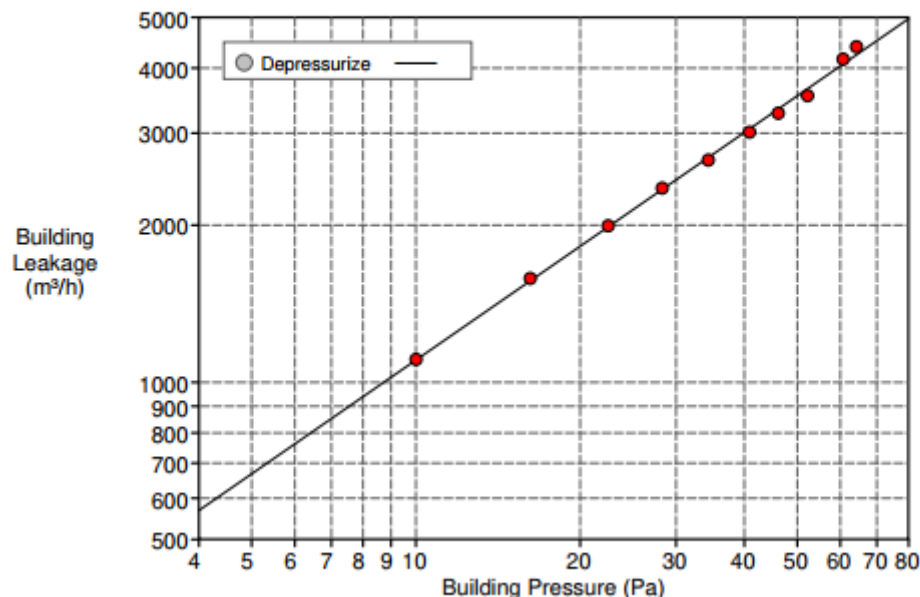
Air Flow Coefficient (C<sub>env</sub>) = 206.3 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 9.4 %)  
Air Leakage Coefficient (C<sub>L</sub>) = 208.3 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 9.4 %)  
Exponent (n) = 0.724 (+/- 0.027)  
Coefficient of Determination (r<sup>2</sup>) = 0.99795

Test Standard: ISO 9972

Test Mode: Depressurization

Type of Test Method: Method 1 - Test of Building in use

Purpose of Test: Hoone õhulekke mõõtmine



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 4**

Date of Test: 12.05.2020 Test File: Veskitamme\_õige

**Building Information**

Internal Volume, V (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	311
Net Floor Area, A <sub>F</sub> (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	108
Envelope Area, A <sub>E</sub> (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	320
Height (m)	6.7
Uncertainty of Dimensions (%)	1
Year of Construction	1987
Type of Heating	Puuhelukatel, vesipõrandaküte + radiaatorid
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Highly Protected Building
Wind Class	Calm

**Equipment Information**

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)	CE6209	-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG1000	4379	09.09.2019

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 4**

Date of Test: 12.05.2020 Test File: Veskitamme\_õige

**Depressurization Test:**

**Environmental Data**

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
20.0	10.0	101325.0

**Pre-Test**

**Baseline Pressure Data**

**Post-Test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.5	0.0	-1.5	-1.0	0.0	-1.0

**Data Points - Automated Test (TTE 5.1.8.4)**

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-1.5	n/a	n/a					
-65.5	-64.2	41.1	4507	4353	4395	3.6	Open
-62.0	-60.7	36.7	4264	4119	4158	2.1	Open
-53.5	-52.2	185.6	3629	3505	3539	-3.1	Ring A
-47.4	-46.2	158.9	3361	3246	3278	-1.9	Ring A
-42.2	-40.9	134.3	3091	2986	3015	-1.5	Ring A
-35.6	-34.4	104.7	2733	2640	2665	-1.2	Ring A
-29.6	-28.3	81.6	2415	2333	2355	0.5	Ring A
-23.8	-22.5	58.3	2045	1975	1994	0.5	Ring A
-17.5	-16.2	36.5	1621	1566	1581	1.0	Ring A
-11.3	-10.0	199.5	1134	1096	1106	0.2	Ring B
-1.0	n/a	n/a					

**Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters**

None

## Termograafia protokoll

Uuritava hoone aadress: Veskitamme vkt 5, Vissi küla, Nõo vald, Tartu maakond

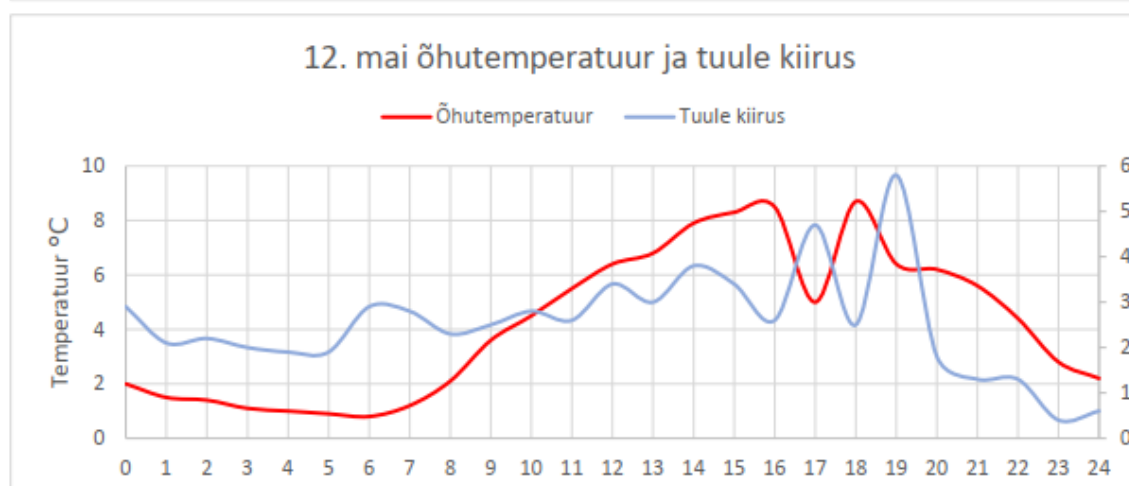
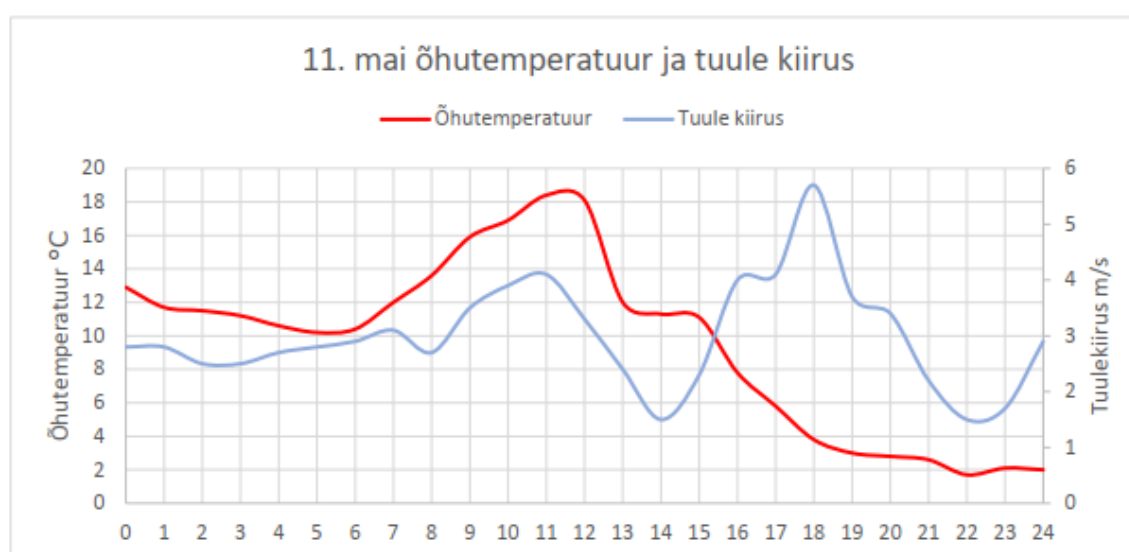
Testi läbiviijad: Kristo Kalbe, Triinu Bergmann

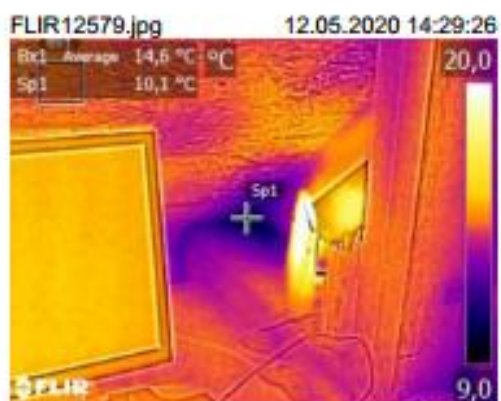
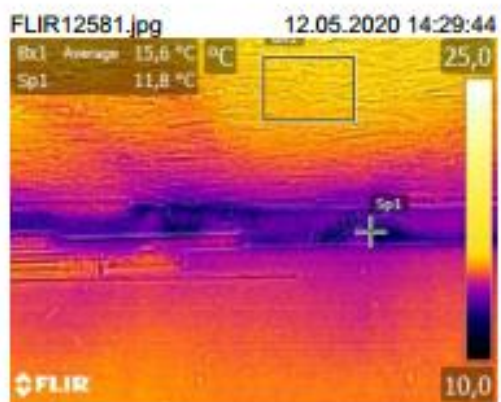
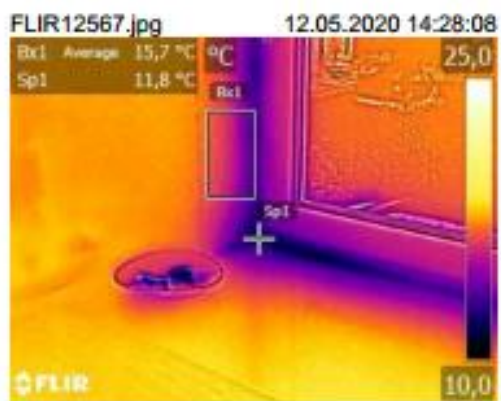
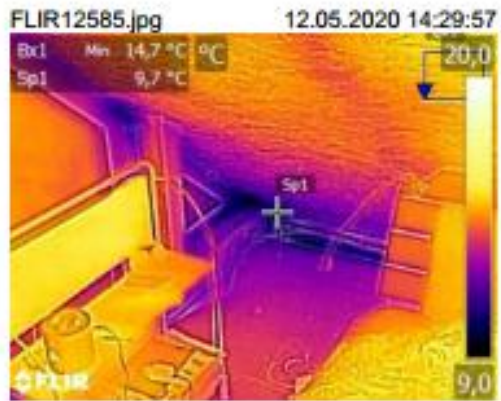
Testi läbiviimise kuupäev ja kellaaeg: 12.05.2020, 14.30-15.00

Välis temperatuur: 10 °C

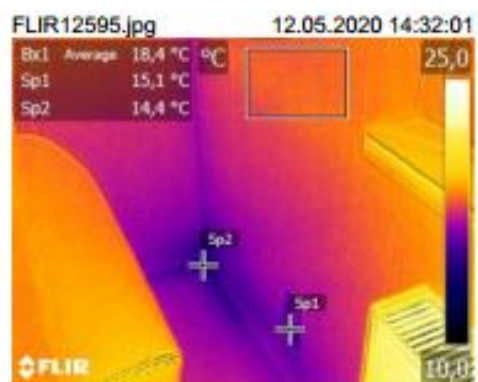
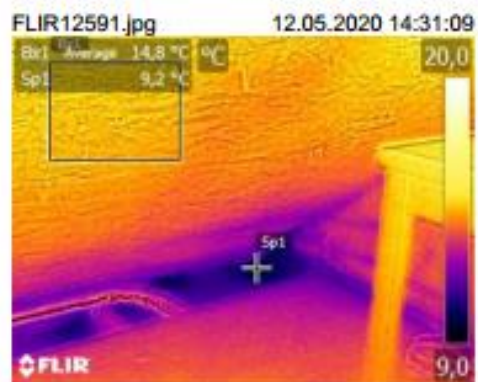
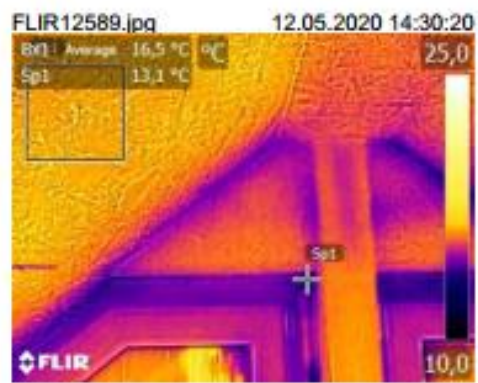
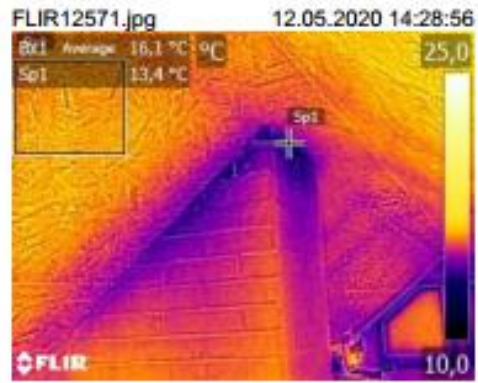
Siseteperatuur: 20 °C

Katseseade: infrapunakaamera FLIR E6 (seeria number 63920969)









### Lisa 3. Välistein-välistein ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus

Arvutus ja arvutusmudel on koostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 6946:2017 toodud üldmeetodile. Arvutustest on kasutatud valemeid (1.1 ja (1.2 ning arvutusteks vajalikud mudelid koostatud programmis Therm ning lisaks alljärgnevale toodud töö peatükis 1.3.



Esmalt leian kogu külmasilla mudeli soojuserikao selle arvutusulatuses:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D} = 0,8569 * 2 = 0,6801 * 2,52 = 1,714 \frac{W}{mK}$$

Külmasilla 1. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-1} = U_{1D-1} * l_{1D-1} = 0,8054 * 1 = 0,8054 \frac{W}{mK}$$

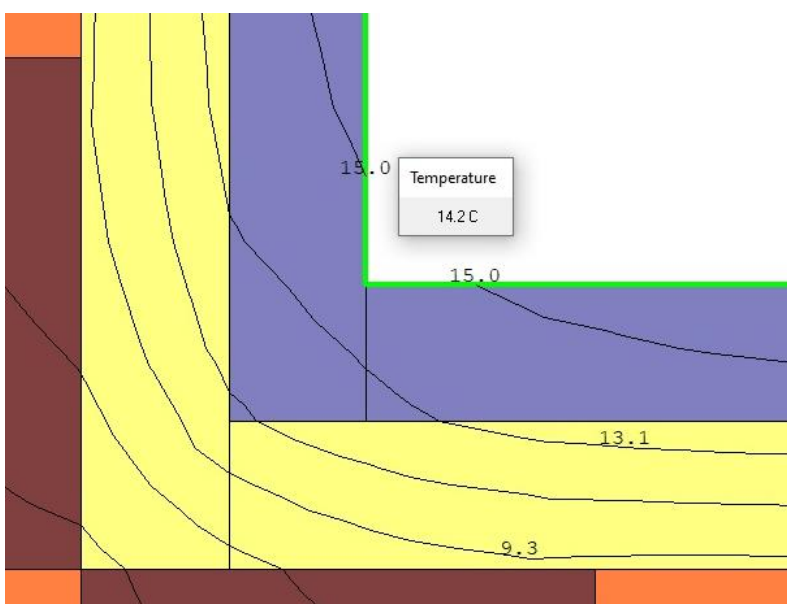
Külmasilla 2. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-2} = U_{1D-2} * l_{1D-2} = 0,5815 * 1 = 0,5815 \frac{W}{mK}$$

Saame leida piirdetarindi liitekoha joonsoojusläbivuse:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j = 1,714 - 0,8054 - 0,5815 = 0,327 \frac{W}{mK}$$

Leian ka külmasilla temperatuurindeksi valemi (1.3 abil).

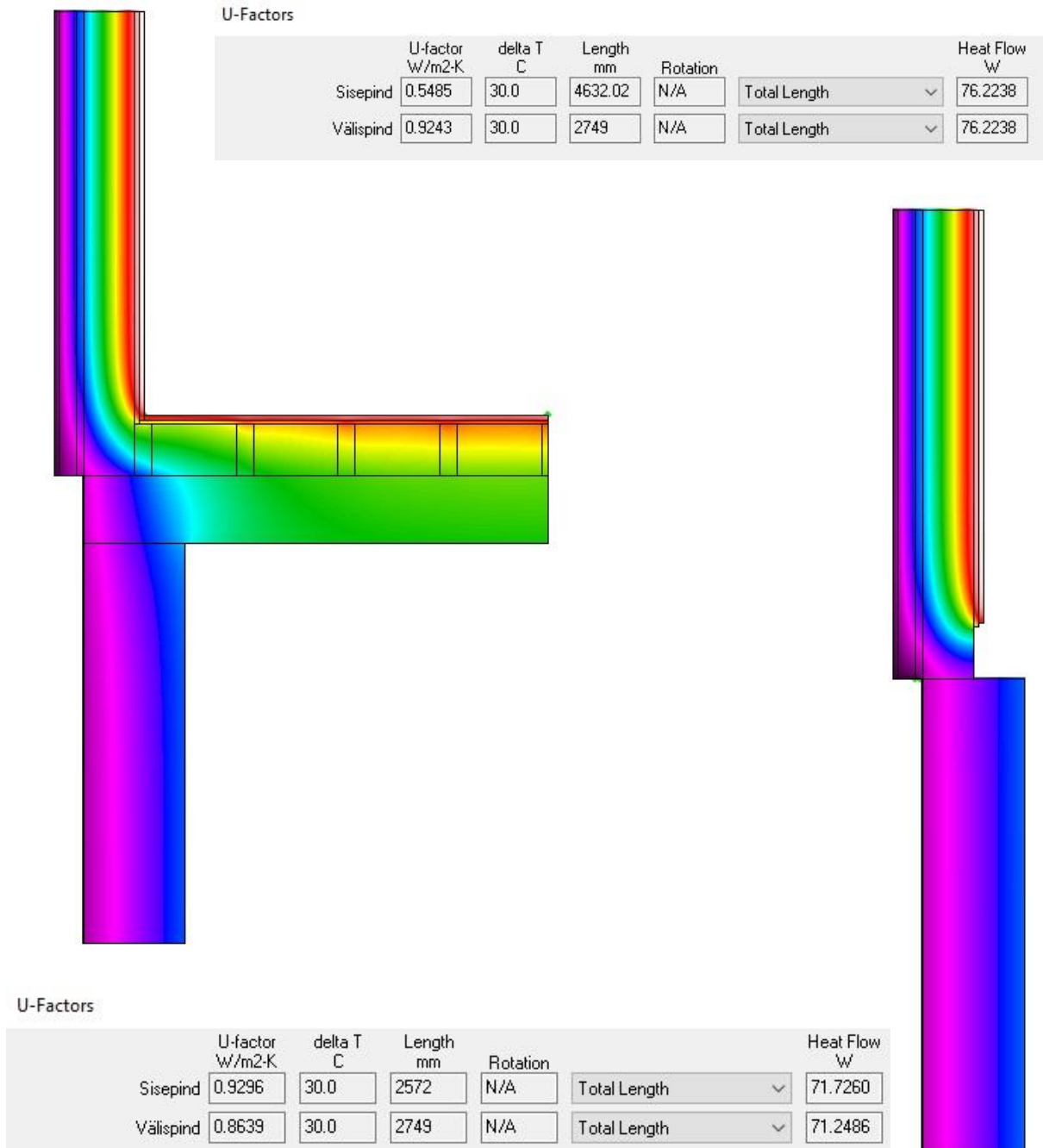


$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{14,2 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,81$$



**Lisa 4. Välistseina ja sokli ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus**

Arvutus ja arvutusmudel on koostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 6946:2017 toodud üldmeetodile. Arvutustest on kasutatud valemeid (1.1 ja (1.2 ning arvutusteks vajalikud mudelid koostatud programmis Therm ning lisaks alljärgnevale toodud töö peatükis 1.3.



Esmalt leian kogu külmasilla mudeli soojuserikao selle arvutusulatuses:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D} = 0,5485 * 4,63 = 0,9243 * 2,75 = 2,54 \frac{W}{mK}$$

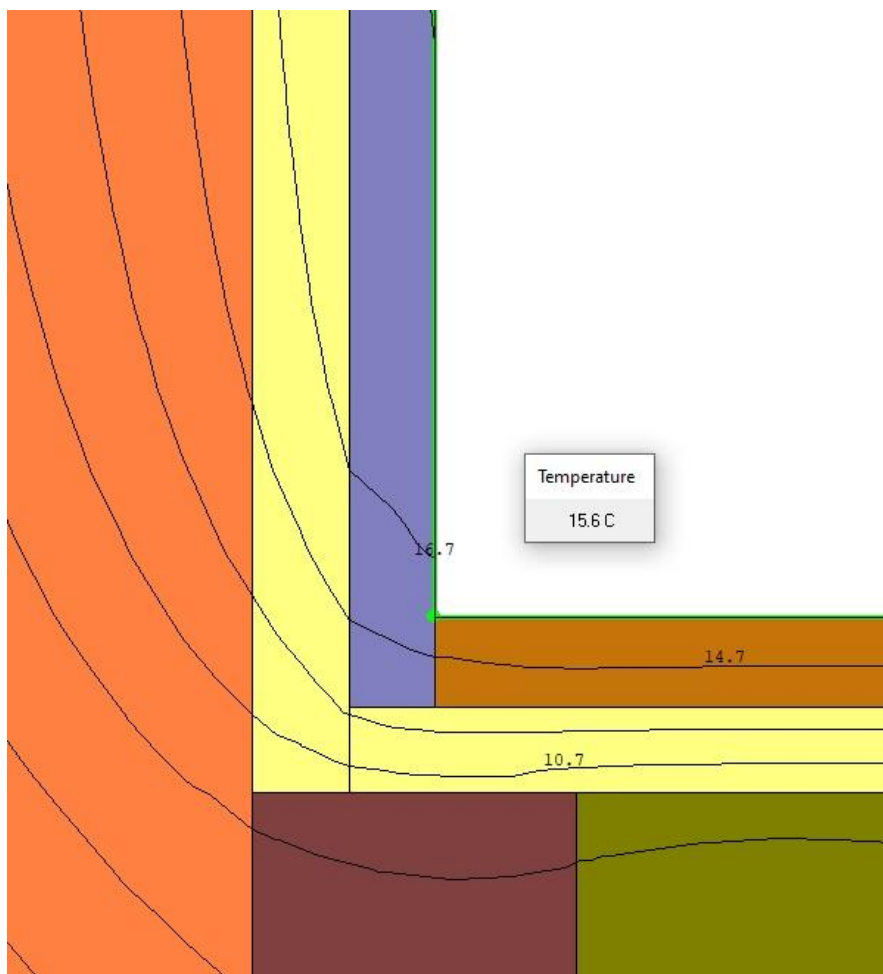
Külmasilla välisseina elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-1} = U_{1D-1} * l_{1D-1} = 0,9296 * 2,58 = 2,40 \frac{W}{mK}$$

Saame leida piirdetarindi liitekoha joonsoojusläbivuse:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j = 2,54 - 2,40 = 0,14 \frac{W}{mK}$$

Leian ka külmasilla temperatuuriindeksi valemi (1.3 abil).



$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{15,6 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,85$$

## Lisa 5. Välisseina ja katuse ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus

Arvutus ja arvutusmudel on koostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 6946:2017 toodud üldmeetodile. Arvutustest on kasutatud valemeid (1.1 ja (1.2 ning arvutusteks vajalikud mudelid koostatud programmis Therm ning lisaks alljärgnevale toodud töö peatükis 1.3.



Esmalt leian kogu külmasilla mudeli soojuserikao selle arvutusulatuses:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D} = 0,3048 * 2,0 = 0,2761 * 2,208 = 0,6096 \frac{W}{mK}$$

Külmasilla 1. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-1} = U_{1D-1} * l_{1D-1} = 0,2339 * 1,0 = 0,2339 \frac{W}{mK}$$

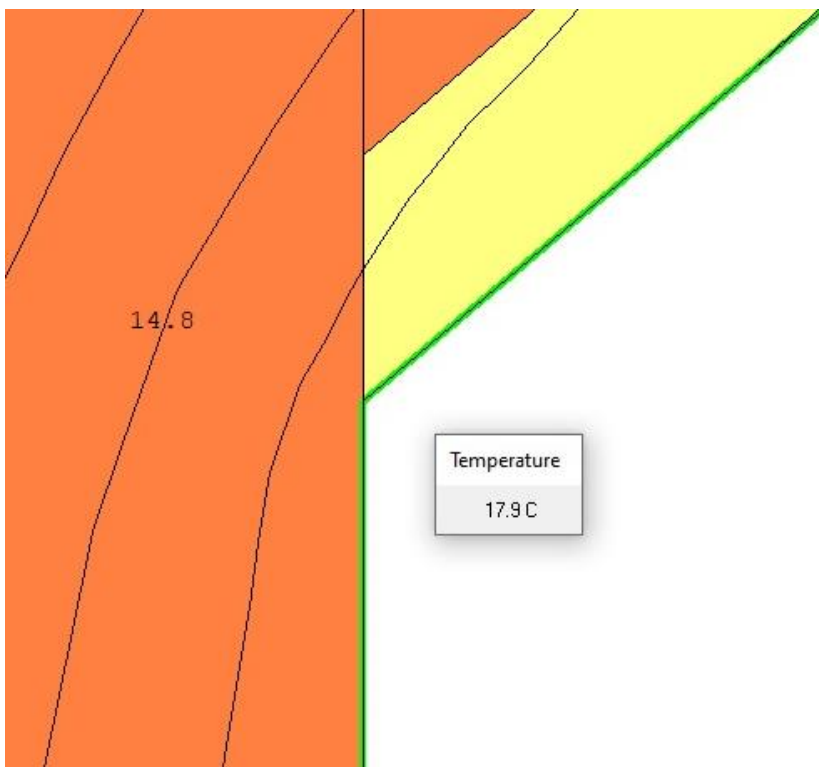
Külmasilla 2. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-2} = U_{1D-2} * l_{1D-2} = 0,3211 * 1,0 = 0,3211 \frac{W}{mK}$$

Saame leida piirdetarindi liitekoha joonsoojuslähivuse:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j = 0,6096 - 0,2339 - 0,3211 = 0,055 \frac{W}{mK}$$

Leian ka külmasilla temperatuurindeksi valemi (1.3 abil).



$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{17,9 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,93$$

## Lisa 6. Olemasoleva välisseina soojusläbivuse arvutus

Täpsemate andmete puudumisel on materjalide soojustehnilised arvutusväärtused saadud standardist EVS-EN ISO 10456:2008. [28], lk 13-16

Arvutusel ei võeta arvesse piirdetarindi kaht esimest kihti ehk voodrilaudist ja distantssliistu, sest välisõhk ongi mõeldud distantssliistu vahele minema, väljastpoolt voodrilauale sattunud vesi ja niiskus välja tuulduks ning tarindi sisemistesse kihtidesse ei liigus. Esimene arvesse minev piirdetarindi osa on tuuletõke.

Arvutustel on kasutatud valemeid (2.2) kuni (2.8).

	Tarindi osa	Kihi paksus d	Soojuserijuhtivus $\lambda$ , W/mK
1.	Voodrilaudis	22 mm	-
2.	Distantssliist 25x50 mm	25 mm	-
3.	Tuuletõke	13 mm	0,06
4.	Horisontaalne roovitus 50x50 mm, vahel mineraalvill	50 mm	puit 0,13, vill 0,06
5.	Horisontaalne hõre laudis	22 mm	0,13
6.	Puitkarkass 50x150 mm, vahel mineraalvill	150 mm	puit 0,13, vill 0,06
7.	OSB-plaat	15 mm	0,13
8.	Kipsplaat	13 mm	0,21

Kogu piirdetarindi soojustakistus sõrestiku sektsioonis:

$$R_{sõrestik} = 0,13 + \frac{0,013}{0,06} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,13 = 2,36 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi soojustakistus soojustuse sektsioonis:

$$R_{soojustus} = 0,13 + \frac{0,013}{0,06} + \frac{0,05}{0,06} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,13 = 4,16 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus:

$$R'_t = \frac{550 + 50}{\frac{550}{4,16} + \frac{50}{2,36}} = \frac{600}{132,32 + 21,17} = 3,91 \frac{m^2K}{W}$$

Mittehomogeensete soojustuskihtide soojustakistused:

$$R_{karkass} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,06} + \frac{50}{0,13}} = \frac{600}{263,33} = 2,27 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{roovitus} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,05} + \frac{50}{0,05}} = \frac{600}{790} = 0,76 \frac{m^2K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

$$R_t'' = 0,13 + \frac{0,013}{0,06} + 0,76 + \frac{0,022}{0,13} + 2,27 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,13 = 5,06 \frac{m^2K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus:

$$R_T = \frac{3,91 + 5,06}{2} = 4,49 \frac{m^2K}{W}$$

Suhteline arvutusviga:

$$e = \frac{3,91 - 5,06}{2 * 4,49} * 100 = 12,8 \%$$

Piirdetarindi soojusläbivus:

$$U = \frac{1}{4,49} = 0,22 \frac{W}{m^2K}$$

## Lisa 7. Olemasoleva katuse soojuslähivuse arvutus

Täpsemate andmete puudumisel on materjalide soojustehnilised arvutusväärtused saadud standardist EVS-EN ISO 10456:2008. [28], lk 13-16

Arvesse ei võeta kaht esimest piirdetarindi osa ehk eterniiti ja roovitus põhjusel, et roovitus on mõeldud katusekatte tuulutamiseks ehk välisõhk pääseb vabalt aluskatteni. Lisaks jäetakse välja aluskate, sest kuigi see on esimene kiht pärast tuulutust, siis on selle kihi suurus nii väikene, et ei avalda mõju tarindi kogusoojustakistusele.

Arvutustel on kasutatud valemeid (2.2 kuni (2.8.

	Tarindi osa	Kihi paksus d	Soojuserijuhtivus $\lambda$
1.	Eterniit	6 mm	-
2.	Roovitus 32x100 mm	32 mm	-
3.	Aluskate	1 mm	-
4.	Sarikad 50x200 mm, vahel mineraalvill	200 mm	puit 0,13; vill 0,06
5.	OSB-plaat	15 mm	0,13

Kogu piirdetarindi soojustakistus sõrestiku sektsioonis:

$$R_{sõrestik} = 0,17 + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,015}{0,13} + 0,1 = 1,92 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi soojustakistus soojustuse sektsioonis:

$$R_{soojustus} = 0,17 + \frac{0,2}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + 0,1 = 3,72 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus:

$$R'_t = \frac{550 + 50}{\frac{550}{3,72} + \frac{50}{1,92}} = \frac{600}{147,9 + 26,0} = 3,45 \frac{m^2K}{W}$$

Mittehomogeensete soojustuskihtide soojustakistused:

$$R_{karkass} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,2} + \frac{50}{0,13}} = \frac{600}{197,5} = 3,04 \frac{m^2K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

$$R''_t = 0,17 + 3,04 + \frac{0,015}{0,13} + 0,1 = 3,42 \frac{m^2K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus:

$$R_T = \frac{3,45 + 3,42}{2} = 3,44 \frac{m^2K}{W}$$

Suhteline arvutusviga:

$$e = \frac{3,45 - 3,42}{2 * 3,44} * 100 = 0,4 \%$$

Piirdetarindi soojuslääbivus:

$$U = \frac{1}{3,44} = 0,29 \frac{W}{m^2K}$$



## Lisa 8. Olemasoleva põranda soojuslähivuse arvutus

Täpsemate andmete puudumisel on materjalide soojustehnilised arvutusväärtused saadud standardist EVS-EN ISO 10456:2008. [28], lk 13-16

Arvutustel on kasutatud valemeid (2.2) kuni (2.8).

Põranda kihid koos soojuserijuhtivused:

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm	Soojuserijuhtivus $\lambda$
1.	Parkett	14	0,13
2.	Alusvaip	1	0,06
3.	OSB-plaat	15	0,13
4.	Põrandalaagid 50x150 mm, vahel mineraalvill	150	puut 0,13; vill 0,06
5.	Õõnespaneel	220	2,00

Keldriseina kihid koos soojuserijuhtivusega:

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm	Soojuserijuhtivus $\lambda$
1.	Tsementkrohv	5	0,8
2.	RB vundamendiplokk	300	2,00

Arvutusteks vajalikud algandmed:

- Keldri pindala  $A = 76,0 \text{ m}^2$
- Avatud perimeeter  $P = 39,6 \text{ m}$
- Sisekubatuur  $V = 152,0 \text{ m}^3$
- Keldri sügavus maapinna suhtes  $z = 1,4 \text{ m}$
- Põranda keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes  $0,97 \text{ m}$
- Keldriseinte paksus  $w = 305 \text{ mm}$
- Keldri lae paksus  $400 \text{ mm}$
- Pinnase soojusjuhtivus (liiv, kruus)  $\lambda_g = 2,0$
- Keldriseinte kõrgus maapinnast kõrgemal  $h = 0,58 \text{ m}$

Esmalt leiame keldri põranda tunnusmõõdu:

$$B = \frac{A}{0,5P} = \frac{152}{0,5 * 39,6} = 7,7 \text{ m}$$

Pinnasel asuva põranda kogupaksus on:

$$d_f = d_{w,e} + \lambda_g(R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) = 0,97 + 2,0 * (0,17 + 0 + 0,04) = 1,39 \text{ m}$$

Keldri seinte soojustakistus:

$$R_{w;b} = \frac{0,005}{0,8} + \frac{0,3}{2} = 0,15 \frac{m^2K}{W}$$

Keldriseinte ekvivalentse paksuse koguväärtus:

$$d_{w;b} = \lambda_g(R_{si} + R_{w;b} + R_{se}) = 2,0 * (0,13 + 0,15 + 0,04) = 0,64 \text{ m}$$

Keldri lae soojustakistus (mittehomogeene piirdetarind):

$$R_{laagid} = 0,04 + \frac{0,014}{0,13} + \frac{0,001}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,22}{2} + 0,17 = 1,71 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,014}{0,13} + \frac{0,001}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,22}{2} + 0,17 = 3,06 \frac{m^2K}{W}$$

$$R'_T = \frac{50 + 250}{\frac{50}{1,71} + \frac{250}{3,06}} = \frac{300}{110,88} = 2,71 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{soojustus+laagid} = \frac{50 + 250}{\frac{50}{\frac{0,15}{0,13}} + \frac{250}{\frac{0,15}{0,06}}} = \frac{300}{110,88} = 2,09 \frac{m^2K}{W}$$

$$R''_T = 0,04 + \frac{0,014}{0,13} + \frac{0,001}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + 2,09 + \frac{0,22}{2} + 0,17 = 2,65 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_T = \frac{2,71 + 2,65}{2} = 2,68 \frac{m^2K}{W}$$

$$e = \frac{2,71 - 2,65}{2 * 2,68} * 100 = 1,1 \%$$

Leiame põranda välisõhu kohal asuva osa soojusjuhtivuse:

$$U_{f;b} = \frac{1}{2,68} = 0,37 \frac{W}{m^2K}$$

Keldri põranda soojusjuhtivus:

$$U_{fg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi * B + d_f + 0,5z} * \ln\left(\frac{\pi B}{d_f + 0,5z} + 1\right) = \frac{2 * 2,0}{\pi * 7,7 + 0,64 + 0,5 * 1,4} * \ln\left(\frac{\pi * 7,7}{0,64 + 0,5 * 1,4} + 1\right) = 0,46 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_w = \frac{1}{0,13 + 0,37 + 0,17} = 1,49 \frac{W}{m^2K}$$

Keldri seina soojusjuhtivus:

$$U_{wg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi * z} * \left(1 + \frac{0,5d_f}{d_f + z}\right) * \ln\left(\frac{z}{d_f} + 1\right) = \frac{2 * 2,0}{\pi * 1,4} * \left(1 + \frac{0,5 * 0,64}{0,64 + 1,4}\right) * \ln\left(\frac{1,4}{0,64} + 1\right) = 1,22 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{f;sus} = \frac{1}{0,17 + 0,15 + 0,04} = 1,39 \frac{W}{m^2K}$$

Lõpuks saame arvutada kütmata keldri kohal asuva põranda soojuslähivuse:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{U_{ub}} &= \frac{1}{U_{f,sus}} + \frac{A}{(A * U_{fg;b}) + (z * P * U_{wg;b}) + (h * P * U_w) + (c_p * \rho * n * V)} \\
&= \frac{1}{0,37} \\
&\quad + \frac{76}{(76 * 0,46) + (1,4 * 39,6 * 1,22) + (0,58 * 39,6 * 1,49) + (0,33 * 1,29 * 0,3 * 152,2)} \\
&= 4,623 \frac{m^2K}{W}
\end{aligned}$$

Seega keldri lae ehk põranda soojusjuhtivus on  $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## Lisa 9. Akende ja välisuste soojuslähivuse arvutus

Klaasi- ja raamiosa soojuslähivusena ning klaasiserva joonsoojuslähivuse arvuna kasutatakse tootja andmeid. Täpsemate andmete puudumisel võetakse raamiosa soojuslähivuseks:

- 1) plastaknal 1,6 W/(m<sup>2</sup>·K);
- 2) 70 mm lengi- ja raamipaksusega puitaknal 1,7 W/(m<sup>2</sup>·K);
- 3) 110–130 mm lengi- ja raamipaksusega puitaluminiiumaknal 1,7 W/(m<sup>2</sup>·K);
- 4) >130 mm lengi- ja raamipaksusega puitaluminiiumaknal 1,1 W/(m<sup>2</sup>·K);
- 5) soojuskatkestusega metallprofiilil 4,0 W/(m<sup>2</sup>·K);
- 6) soojuskatkestuseeta metallprofiilil 7,0 W/(m<sup>2</sup>·K). [6], § 12

Täpsemate andmete puudumisel võetakse klaasiserva joonkülmasillaks plast- ja puitaknal 0,06 W/(m·K), soojuskatkestusega metallprofiilil 0,08 W/(m·K), soojuskatkestuseeta metallprofiilil 0,02 W/(m·K). [6], § 12

Klaasingu sise- ja välispinna tüüpilise emissiooniteguri korral tuleb kasutada pinna soojustakistusi sisepinna puhul  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja välispinna puhul  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Katuseakende puhul tuleb kasutada väärtusi vastavalt  $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  ja  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ . [29], lisa D

Tegemist on puitakendega, mille raamipaksus on 72 mm. Klaasiosa on kahekordne pakett ehk 2 x 6 mm selektiivklaas, klaaside vahel argoontäide. Määrusest ning standardist saadud andmete põhjal on arvutustes kasutatavad algandmed järgmised:

- $U_k = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $U_r = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $U_p = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (läheb vaja välisuste arvutusel)
- $\Psi_k = 0,06 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Valemi (2.9 põhjal saame leida akna U-arvu. Järgnev arvutus on läbi tehtud positsioon 1 akna peal, mille sarnaseid on hoones arvuliselt kõige rohkem.

$$U_{a1} = \frac{(U_k A_k + U_r A_r + \Psi_k l_k)}{A_k + A_r} = \frac{1,6 * 0,56 + 1,7 * 0,26 + 0,06 * 3,10}{0,56 + 0,26} = \frac{1,524}{0,82} = 1,86 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Tabelis 0.1 on toodud kõikide akende soojusjuhtivused.

**Tabel 0.1** Akende soojajuhtivused

Positsioon	Kogus tk	Klaasingu pindala $A_k, m^2$	Raami pindala $A_r, m^2$	Klaasiserva perimeetri pikkus $l_k, m$	Akna soojajuhtivus $U_a, W/m^2K$
1	8	0,56	0,26	3,10	1,86
2	2	0,91	0,30	3,81	1,81
3	3	0,18	0,16	1,72	1,95
4 (2. korrus)	2	1,60	0,41	5,20	1,78
5 (2. korrus)	2	0,65	0,29	3,57	1,86
6 (2. korrus)	2	0,69	0,27	3,37	1,84
7 (2. korrus)	2	0,24	0,22	2,40	1,96
8 (katus)	2	0,34	0,21	2,43	1,90
9 (rõdu)	3	1,03	0,64	4,76	1,81
<b>Keskmine:</b>					1,86

Välisuste arvutuse juures tuleb lisaks klaasingule arvestada ka läbipaistmatu kilbiosa soojusläbivust. Allpool on arvatud 2 samasuguse välisukse soojajuhtivus.






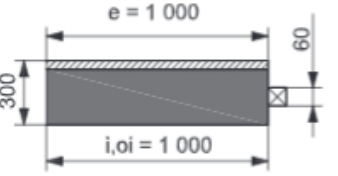
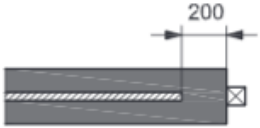
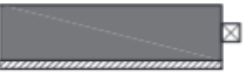



$$U_u = \frac{(U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k l_k)}{A_k + A_r + A_p} = \frac{1,6 * 0,29 + 1,7 * 0,36 + 3,2 * 1,26 + 0,06 * 3,94}{0,29 + 0,36 + 1,26} = \frac{5,34}{1,91}$$

$$= 2,80 \frac{W}{m^2 K}$$

**Lisa 10. Standardi EVS-EN ISO 14683:2017 väljavõte. Akende ja uste ning välisseinte ühenduste soojustäbivused.**

**Table C.2 — (continued)**

Dimensions in millimetres  
Linear thermal transmittance in  $W/(m \cdot K)$

 Wall	 Lightweight wall (including lightweight masonry and timber frame walls)	 Insulating layer	 Slab/pillar	 Window frame
<b>Windows and door openings (continued)</b>				
 <p><b>W7</b>  <math>\psi_e = 0,45</math>  <math>\psi_{oi} = 0,45</math>  <math>\psi_l = 0,45</math></p>	 <p><b>W8</b>  <math>\psi_e = 1,00</math>  <math>\psi_{oi} = 1,00</math>  <math>\psi_l = 1,00</math></p>	 <p><b>W9</b>  <math>\psi_e = 0,60</math>  <math>\psi_{oi} = 0,60</math>  <math>\psi_l = 0,60</math></p>	 <p><b>W10</b>  <math>\psi_e = 0,10</math>  <math>\psi_{oi} = 0,10</math>  <math>\psi_l = 0,10</math></p>	
 <p><b>W11</b>  <math>\psi_e = 0,00</math>  <math>\psi_{oi} = 0,00</math>  <math>\psi_l = 0,00</math></p>	 <p><b>W12</b>  <math>\psi_e = 0,10</math>  <math>\psi_{oi} = 0,10</math>  <math>\psi_l = 0,10</math></p>			

**Lisa 11. Normaalaasta kraadpäevad – Tartu**

<b>Normaalaasta kraadpäevad erinevatel tasakaalutemperatuuridel kuude kaupa</b>														
Tasakaalutemp. t <sub>B</sub>	jaanuar	veebruar	märts	aprill	mai	juuni	juuli	august	september	oktoober	november	detsember	<b>Aasta</b>	
1	192	196	92	10	0	0	0	0	0	10	67	159	<b>725</b>	
2	220	221	114	17	0	0	0	0	0	15	84	185	<b>855</b>	
3	249	247	139	27	1	0	0	0	0	22	104	213	<b>1002</b>	
4	280	274	167	39	2	0	0	0	1	31	127	243	<b>1163</b>	
5	311	301	197	54	4	0	0	0	2	43	151	273	<b>1335</b>	
6	341	329	227	72	6	0	0	0	4	57	177	303	<b>1518</b>	
7	372	357	257	92	10	0	0	0	8	74	205	334	<b>1710</b>	
8	403	386	288	113	17	0	0	0	13	94	234	365	<b>1914</b>	
9	434	414	319	137	25	1	0	0	21	117	263	396	<b>2127</b>	
10	465	442	350	161	36	2	0	0	32	143	293	427	<b>2352</b>	
11	496	470	381	187	50	5	0	1	46	171	323	458	<b>2589</b>	
12	527	499	412	214	67	9	1	3	64	200	353	489	<b>2838</b>	
13	558	527	443	242	86	17	2	7	85	230	383	520	<b>3101</b>	
14	589	555	474	271	107	28	5	14	108	260	413	551	<b>3377</b>	
15	620	583	505	300	130	42	11	25	135	291	443	582	<b>3668</b>	
16	651	612	536	329	156	60	20	40	162	322	473	613	<b>3975</b>	
17	682	640	567	359	182	80	35	59	191	353	503	644	<b>4295</b>	
18	713	668	598	389	211	103	52	82	220	384	533	675	<b>4629</b>	
19	744	697	629	419	241	128	74	107	250	415	563	706	<b>4972</b>	
20	775	725	660	449	271	154	98	133	280	446	593	737	<b>5323</b>	
21	806	754	691	479	302	182	125	162	310	477	623	768	<b>5681</b>	

Normaalaasta kraadpäevad on määratud kui 30 aastase perioodi (1975...2004) keskmised suurused antud geograafilisele punktile.

**Lisa 12. Hoone õhulekkest tulenev soojakadu baasväärtuse alusel**

Arvutustes on kasutatud valemeid (2.16 ja (2.17 ning baasväärtus võetud tabelist 1.8.

Veskitamme 5 aasta keskmine infiltratsioon baasväärtuse järgi on:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3600 * x} A = \frac{6}{3600 * 24} * 320 = 0,0222 \text{ m}^3/\text{s}$$

Veskitamme 5 õhuleketest põhjustatud soojuserikadu baasväärtuse järgi on:

$$H_{\text{õl}} = q_i * c * \rho = 0,0222 * 1005 * 1,2 = 26,77 \text{ W/K}$$



## Lisa 13. Olemasoleva hoone ETA arvutus kalkulaatoriga

Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaator - sissest andmed kollastesse väljadesse										27.12.2018 TalTech
Andmed hoone kohta								Energiaarvutuse teostaja		
Address	Veskitamme vkt 5, Vissi küla, Nõe vald, Tartu maakond				Oluline rekonstrueerimine			Nimi		
Kõetav pind	116,0	m <sup>2</sup>	Ehitise kasutamise otstave		11101 - Üksikelamu			Pädevus		
Netopind	121,5	m <sup>2</sup>	Peamine soojusallikas ruumide kütteks		Puidukatel			Allkiri	alkkirjastatud digitaalselt	
Piirdetarind	$U_i$	$A_i$	$H_{juhtivus}$	Joon-soojusläbivus	$\Psi_k$	$l_k$	$H_{joonlätivus}$	Infiltratsioon	$H_{infiltratsioon}$	
	W/(m <sup>2</sup> ·K)	m <sup>2</sup>	W/K		W/(m·K)	m	W/K			
Välissein	0,22	115,6	25,4	Välisseina välisnurk	0,330	9,6	3,2	$q_{50}$ , m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	11,1	
Katuslagi	0,29	126,2	36,6	Välisseina sisenuk			0,0	Möödetud väärtus		
Põrand (alt tuulutatav)	0,22	80,1	17,6	Välissein-katuslagi	0,060	44,5	2,7	Korruste arv	2	
			0,0	Välissein-põrand	0,140	40,5	5,7	$A_{välispiire}$ , m <sup>2</sup>	350,9	
			0,0	Välissein-vaheklagi			0,0			
			0,0	Välissein-sisesein			0,0			
			0,0	Akna seinakinnitus	0,100	93,6	9,4			
Välisuks	2,80	3,8	10,7	Ukse seinakinnitus	0,100	12,4	1,2			
Aken põhja	1,86	2,2	5,6	Rõdu seinakinnitus			0,0			
Aken kirdesse			0,0							
Aken itta	1,86	4,8	8,0	Sisesein-katuslagi			0,0			
Aken kagusse			0,0							
Aken lõunasse	1,86	10,6	6,9	Sisesein-põrand			0,0			
Aken edelasse			0,0							
Aken läände	1,86	7,5	12,6				0,0	$q_{inf}$ , m <sup>3</sup> /s	0,0449	
Aken loodesse			0,0							
Summa			$H_{juhtivus}$ , W/K	123,5			$H_{joonlätivus}$ , W/K	22,1	$H_{ohuleke}$ , W/K	53,9
$H = H_{juhtivus} + H_{joonlätivus} + H_{ohuleke}$				W/K	199,5			Aknapiina suhe kõetavasse pinda		
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta H/A				W/(m <sup>2</sup> ·K)	1,72			22%		
Tehnosüsteemid	Soojusallikad			Maasoojuspump	Õhk-vee soojuspump	Kaugküte	Puidukatel	Gaas-kondensatsioonikatel		
Projekteeritud õhk-vee või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW	Energibilanss			Netovajadus	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.		
Arvutuslik välisõhu temp., °C				kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
Küttevõis	Ruumide küte			107,6	61,3	73,8	123,3	147,9	116,8	
Soojustagasti tüüp	Vent. õhu soojendamine			66,2	36,6	44,1	73,6	88,3	69,7	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, -	Tarbevee soojendamine			30,0	18,6	22,2	33,3	40,0	31,6	
Vent. liisa soojendamine	Ventilaatorid ja pumbad			0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m <sup>3</sup> /s)	Valgustus			5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	Seadmed			22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	
Kollektori aktiivpindala, m <sup>2</sup>	Toodetud lokaalne taastuvelekter			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Kollektori või paneeli suunatus	Taastuvelektri omatarve, %			0	0	0	0	0	0	
Kaldenurk	Tarbitud lokaalne taastuvelekter			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Eksporditud lokaalne taastuvelekter			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Summa			231,6	144,1	167,9	258,9	304,9	246,8	
Paneeli paigaldusviis	Kaalutatud energiakasutus			288,3	335,8	264,7	237,1	275,6		
tuulutusetata	B-klassi ETA piirv			165	ETA (ilma PV)	288	336	265	237	276
	C-klassi ETA piirv			185	ETA	288	336	265	237	276

## Lisa 14. Rekonstrueerimisprojekti lahendus välisseinale VS-1

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm	Soojaerijuhtivus $\lambda$ , W/mK
1.	Voodrilaudis	22	-
2.	Horisontaalne distansliist 22x100 mm, sammuga 600 mm	22	-
3.	Vertikaalne distantliist 22x100 mm, sammuga 600 mm	22	-
4.	Tuuletõke Isover RKL Facade, ühenduskohad teipida	100	0,031
5.	Horisontaalne roovitus 50x50 mm sammuga 600mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	50	puut 0,13; vill 0,033
6.	Horisontaalne hõre laudis	22	0,13
7.	Puitkarkass 50x150 mm sammuga 600 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	150	puut 0,13; vill 0,033
8.	OSB plaat, liitekohad teipida	15	0,13
9.	Kipsplaat	13	0,21

### ISOVER RKL FACADE

Uuendatud 05.02.2020 Prinditud 18.04.2020

ISOVER RKL FACADE (endine tootenimetus RKL 31 FACADE) on kombineeritud soojustus- ja tuuletõkkeplaat, mis on välja töötatud niiskustehniliselt keerukate tingimuste jaoks. ISOVER RKL FACADE sobib kasutamiseks ka renoveerimislahenduse juures vanade piirete täiendavaks välispidiseks lisasoojustamiseks. ISOVER RKL FACADE toode on parima tuulepidavusega ning tihendatav teipimisega.

ULTRA ★★★★★



### ISOVER PREMIUM 33

Uuendatud 28.03.2020 Prinditud 18.04.2020

ISOVER PREMIUM 33 kuulub lambda klassi 33, mis garanteerib 12% parema soojapidavuse kui Euroopas enimlevinud lambda klass 37.

Paremad soojapidavusomadused aitavad vähendada küttekulusid kogu ehitise eluea vältel. Valmistustehnoloogia täiendused on parandatud toote käsitlētavust.

ISOVER PREMIUM 33 tooted on pehmed pinnakatteta mineraalvilliplaadid, mida kasutatakse katuste, põrandate, seinte ja vahelagede soojustamiseks.



### Tootekirjeldus

ISOVER PREMIUM 33 on valmistatud anorgaanilisest ja keemiliselt neutraalsest materjalist ning ei sisalda korrosiooni tekitavaid komponente. ISOVER PREMIUM 33 o on lõhnatu, ei lagune ega paku soodsat kasvupinnast hallitusseentele. Vastab ehitusmaterjalide emissiooniklassile M1.

#### Väärtus

Kõrgeim kasutustemperatuur	200 °C (sõltuvalt kasutusvariandist)
Soojusjuhtivus	0.033 W/mK, Lambda Design väärtus

Kogu piirdetarindi soojustakistus sõrestiku sektsioonis:

$$R_{sõrestik} = 0,13 + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,13 = 5,37 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi soojustakistus soojustuse sektsioonis:

$$R_{soojustus} = 0,13 + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,022}{0,13} + \frac{0,15}{0,033} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,13 = 9,89 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus:

$$R'_t = \frac{550 + 50}{\frac{550}{9,89} + \frac{50}{5,37}} = \frac{600}{55,59 + 9,31} = 9,24 \frac{m^2K}{W}$$

Mittehomogeensete soojustuskihide soojustakistused:

$$R_{karkass} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,15} + \frac{50}{0,13}} = \frac{600}{164,3} = 3,65 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{roovitus} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,05} + \frac{50}{0,13}} = \frac{600}{493} = 1,22 \frac{m^2 K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

$$R_t'' = 0,13 + \frac{0,1}{0,031} + 1,22 + \frac{0,022}{0,13} + 3,65 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,13 = 9,09 \frac{m^2 K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus:

$$R_T = \frac{9,24 + 9,09}{2} = 9,46 \frac{m^2 K}{W}$$

Suhteline arvutusviga:

$$e = \frac{9,24 - 9,09}{2 * 9,46} * 100 = 0,86 \%$$

Piirdetarindi soojusläbivus:

$$U = \frac{1}{9,46} = 0,11 \frac{W}{m^2 K}$$

## Lisa 15. Rekonstrueerimisprojekti lahendus sokkel S-1

	Tarindi osa	Kihi paksus d	Soojuserijuh tivirus $\lambda$	Soojustakistus R [m <sup>2</sup> K/W]
1.	Krohv	5 mm	1	0,005
2.	Styrofoam 250 SL-A-N	50 mm	0,033	1,515
3.	Styrofoam 250 SL-A-N	120 mm	0,035	3,429
4.	Hüdrosolatsioon	5 mm	-	-
5.	Raudbetoonplokk	300 mm	2	0,15

	Väärtus
<b>Kõrgeim kasutustemperatuur</b>	75°C
<b>Soojusjuhtivus</b>	0,033 W/mK (paksused < 70 mm); 0,035 W/mK (paksused 70-120 mm) ja 0,036 W/mK (paksused > 120 mm), (EN 13164)
<b>CE märgistuse kood</b>	XPS - EN 13164 - T1 - CS(10\Y)250 - CC(2/1,5/50)90 - DS(70,90) - DLT(2)5 - <50 mm: WD(V)3 / ≥50 mm & <80 mm: WD(V)2 / ≥80 mm: WD(V)1 - WL(T)0,7 - FTCD1
<b>Niiskuskäitumine</b>	Plaadi veeimavus pikaajalisel (28-päevalisel) vette sukeldamisel < 0.2 % (EN 12087); Plaadi veeimavus pikaajalisel difusioonil, sõltuvalt plaadi paksusest < 0.5-3 % (EN 12088); Plaadi veeimavus külmumis-sulamistsükliel < 1% (EN 12091)
<b>Tihedus</b>	30 kg/m <sup>3</sup>



Joonis 0.1 Styrofoam 250 SL-A-N tehnilised andmed

**Lisa 16. Rekonstrueerimisprojekti lahendus katusele KS-1**

	Tarindi osa	Kihi paksus d, mm	Soojuserijuhtivus $\lambda$
1.	Eterniitplaat Eternit Klassik	6...40	-
2.	Roovitus 50x50 mm	50	-
3.	Distantслиist 25x50 mm tuulutuseks	22	-
4.	Aluskate Masterfol	1,5	-
5.	Distantслиist 50x50 mm tuulutuseks	50	-
6.	Tuuletõke Isover RKL Facade, ühenduskohad teipida	75	0,031
7.	Sarikad 50x200 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	200	puit 0,13; vill 0,033
8.	Õhutõkkemembraan	1	-
9.	Roovitus 50x100, vahel mineraalvill Isover Premium 33	50	puit 0,13; vill 0,033
10.	OSB-plaat, vahekohad isolatsioonilindiga kaetud	15	0,13
11.	Kipsplaat	13	0,21

Kogu piirdetarindi soojustakistus sõrestiku sektsioonis:

$$R_{sõrestik} = 0,17 + \frac{0,75}{0,031} + \frac{0,2}{0,13} + \frac{0,05}{0,13} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,1 = 1,92 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi soojustakistus soojustuse sektsioonis:

$$R_{soojustus} = 0,17 + \frac{0,075}{0,031} + \frac{0,2}{0,033} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,1 = 10,44 \frac{m^2K}{W}$$

Kogu piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus:

$$R'_t = \frac{550 + 50}{\frac{550}{10,44} + \frac{50}{1,92}} = \frac{600}{52,67 + 10,44} = 9,51 \frac{m^2K}{W}$$

Mittehomogeensete soojustuskihtide soojustakistused:

$$R_{sarikad} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,033} + \frac{50}{0,13}} = \frac{600}{123,25} = 4,87 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{roovitus} = \frac{550 + 50}{\frac{550}{0,05} + \frac{50}{0,13}} = \frac{600}{493} = 1,22 \frac{m^2K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus:

$$R''_t = 0,17 + \frac{0,075}{0,031} + 4,87 + 1,22 + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,013}{0,21} + 0,1 = 8,95 \frac{m^2K}{W}$$

Piirdetarindi kogusoojustakistus:

$$R_T = \frac{9,51 + 8,95}{2} = 9,23 \frac{m^2K}{W}$$

Suhteline arvutusviga:

$$e = \frac{9,51 - 8,95}{2 * 9,23} * 100 = 3 \%$$

Piirdetarindi soojusläbivus:

$$U = \frac{1}{9,23} = 0,11 \frac{W}{m^2K}$$

## Lisa 17. Rekonstrueerimisprojekti lahendus põrandale P-1

	Tarindi osa	Kihi paksus d	Soojuserijuhtivus $\lambda$
1.	Parkett	14 mm	0,13
2.	Alusvaip	1 mm	-
3.	Veekindel vineer	15 mm	0,13
4.	Põrandalaagid 50x150 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	150 mm	puit 0,13, vill 0,033
5.	Õõnespaneel	220 mm	2
6.	EPS 60	200 mm	0,039

Tehnilised andmed:

Omadus	Katse meetod	Ühik	EPS 60	
Soojusjuhtivus $\lambda_D$	EN 12667	W/mk	0,039	
Survepinge 10% def korral (lühiajaline)	EN 826	kPa	≥60	
Plaadi pikkus x laius		mm	1200 x 1000	
Plaadi paksus		mm	100	150
Kogus pakis		m <sup>2</sup>	6	3,6
Kogus pakis		m <sup>3</sup>	0,6	0,54

Joonis 0.2 EPS 60 tehnilised näitajad

Arvutusteks vajalikud algandmed:

- Keldri pindala  $A = 76,0 \text{ m}^2$
- Avatud perimeeter  $P = 39,6 \text{ m}$
- Sisekubatuur  $V = 136,8 \text{ m}^3$
- Keldri sügavus maapinna suhtes  $z = 1,4 \text{ m}$
- Põranda keskmine kõrgus ümbritseva maapinna suhtes  $0,97 \text{ m}$
- Keldriseinte paksus  $w = 477 \text{ mm}$
- Keldri lae paksus  $600 \text{ mm}$
- Pinnase soojusjuhtivus (liiv, kruus)  $\lambda_g = 2,0$
- Keldriseinte kõrgus maapinnast kõrgemal  $h = 0,58 \text{ m}$

Esmalt leiame keldri põranda tunnusmõõdu:

$$B = \frac{A}{0,5P} = \frac{152}{0,5 * 39,6} = 7,7 \text{ m}$$

Pinnasel asuva põranda ekvivalentne kogupaksus on:

$$d_f = d_{w,e} + \lambda_g (R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) = 0,97 + 2,0 * (0,17 + 0 + 0,04) = 1,39 \text{ m}$$

Keldri seinte soojustakistus:

$$R_{w;b} = \frac{0,005}{1} + \frac{0,05}{0,033} + \frac{0,12}{0,035} + \frac{0,3}{2} = 5,10 \frac{m^2K}{W}$$

Keldriseinte ekvivalentse paksuse koguväärtus:

$$d_{w;b} = \lambda_g (R_{si} + R_{w;b} + R_{se}) = 2,0 * (0,13 + 5,10 + 0,04) = 10,54 m$$

Keldri lae soojustakistus (mittehomogeene piirdetarind):

$$R_{laagid} = 0,04 + \frac{0,014}{0,13} + \frac{0,001}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,15}{0,13} + \frac{0,22}{2} + \frac{0,2}{0,039} + 0,17 = 6,84 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{soojustus} = 0,04 + \frac{0,014}{0,13} + \frac{0,001}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + \frac{0,15}{0,033} + \frac{0,22}{2} + \frac{0,2}{0,039} + 0,17 = 10,23 \frac{m^2K}{W}$$

$$R'_T = \frac{50 + 250}{\frac{50}{6,84} + \frac{250}{10,23}} = \frac{300}{31,74} = 9,45 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{soojustus+laagid} = \frac{50 + 250}{\frac{50}{\frac{0,15}{0,13}} + \frac{250}{\frac{0,15}{0,033}}} = \frac{300}{98,33} = 3,05 \frac{m^2K}{W}$$

$$R''_T = 0,04 + \frac{0,014}{0,13} + \frac{0,001}{0,06} + \frac{0,015}{0,13} + 3,05 + \frac{0,22}{2} + \frac{0,2}{0,039} + 0,17 = 3,61 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_T = \frac{9,45 + 3,61}{2} = 6,53 \frac{m^2K}{W}$$

$$e = \frac{9,45 - 3,61}{2 * 6,53} * 100 = 4,5 \%$$

Leiame põranda välisõhu kohal asuva osa soojuhtivuse:

$$U_{f;b} = \frac{1}{6,53} = 0,15 \frac{W}{m^2K}$$

Keldri põranda soojuhtivus:

$$U_{fg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi * B + d_f + 0,5z} * \ln\left(\frac{\pi B}{d_f + 0,5z} + 1\right) = \frac{2 * 2,0}{\pi * 7,7 + 0,64 + 0,5 * 1,4} * \ln\left(\frac{\pi * 7,7}{0,64 + 0,5 * 1,4} + 1\right) = 0,46 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_w = \frac{1}{0,13 + 0,15 + 0,17} = 2,22 \frac{W}{m^2K}$$

Keldri seina soojuhtivus:

$$U_{wg;b} = \frac{2\lambda_g}{\pi * z} * \left(1 + \frac{0,5d_f}{d_f + z}\right) * \ln\left(\frac{z}{d_f} + 1\right) = \frac{2 * 2,0}{\pi * 1,4} * \left(1 + \frac{0,5 * 0,64}{0,64 + 1,4}\right) * \ln\left(\frac{1,4}{0,64} + 1\right) = 1,22 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{f;sus} = \frac{1}{0,17 + 5,1 + 0,04} = 0,19 \frac{W}{m^2K}$$

Lõpuks saame arvutada kütmata keldri kohal asuva põranda soojuislabivuse:



$$\begin{aligned}
\frac{1}{U_{ub}} &= \frac{1}{U_{f,sus}} + \frac{A}{(A * U_{fg;b}) + (z * P * U_{wg;b}) + (h * P * U_w) + (c_p * \rho * n * V)} \\
&= \frac{1}{0,19} \\
&\quad + \frac{76}{(76 * 0,46) + (1,4 * 39,6 * 1,22) + (0,58 * 39,6 * 2,22) + (0,33 * 1,29 * 0,3 * 152,2)} \\
&= 5,71 \frac{m^2K}{W}
\end{aligned}$$

Seega keldri lae ehk põranda soojusjuhtivus on  $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## Lisa 18. Projekteeritava piirdetarindi kondenseerumisriski arvutus Glaseri meetodil

Arvutustes on kasutatud standardis EVS-EN ISO 13788:2012. Arvutuse eesmärk on välja selgitada, kas kondenseerumisperioodil tekib konstruktsioonis kondensatsioonivett. Kui tekib, on oluline, et tekkinud vesi peab kuivamisperioodil saama välja kuivada ning konstruktsioon ei tohi selle tõttu kahjustuda. [1], lk 7

Standard sätestab analüüsimisel kasutatavad keskkonnatingimused, mis tuleb kondenseerumisperioodil arvutuste tegemisel arvesse võtta. Antud töös on kondenseerumisperioodil ruumi sees temperatuur  $t_s = +20^\circ\text{C}$  ning suhteline õhuniiskus  $RH = 50\%$ . Väljas on algtingimusteks  $t = -10^\circ\text{C}$  ja suhteline õhuniiskus  $RH = 80\%$ . Kondenseerumisperioodi pikkus on 1440 tundi ehk 60 päeva, Eesti tingimustes soovitatakse muuta aga periood pikemaks ehk 90 päeva, 2160 tundi.

Glaseri meetodi puhul leitakse esmalt veeauru osarõhk ehk partsiaalrõhk ruumis. : [1], lk 6

$$P = P_s * \varphi \quad (0.1)$$

,kus

$P$  – veeauru osarõhk ruumis, Pa;

$P_s$  – küllastunud aururõhk, Pa;

$\varphi$  – relatiivne õhuniiskus, %.

Küllastunud aururõhk  $P_s$  on maksimaalne võimalik õhus sisalduv veeauru rõhk antud temperatuuril. Need väärtused on arvutatavad, kuid lihtsustamise huvides kasutatakse antud töös standardis toodud tabeliväärtusi. [1], lk 6

Järgmiseks on tarvilik leida materjalikihi veeauru difusioonitakistus: [1], lk 6

$$\frac{1}{\Delta} = \mu * s * \frac{1}{\delta_L}, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (0.2)$$

,kus

$\mu$  – ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant;

$s$  – ehitusmaterjali kihi paksus, m;

$\delta_L$  – õhu aurujuhtivusväärtus,  $0,68 * 10^{-6}$  kg/mhPa.

Difusioonitakistuskonstant näitab, mitu korda on materjali difusiooniakistus suurem kui sama paksu seisva õhukihi oma. See annab küll teavet materjali omaduste kohta, kuid

mitte terve piirdetarindi difusioonsest käitumisest. Selleks saame konstandi abiga leida tarindikihi aurutakistuse  $S_d$ . [1], lk 4

$$S_d = \mu * s, m \quad (0.3)$$

,kus

$\mu$  – ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant;

$s$  – ehitusmaterjali kihi paksus, m.

Õhu aurujuhtivusväärtus  $\delta_L$  on seotud ümbritseva õhu temperatuuriga, aga antud arvutuses kasutatakse konstandina. Kogu seina veeauru difusioonitakistus on kõikide kihtide difusioonitakistuste summa. [1], lk 6

Täpselt nagu sooja läbimisel, on ka auru läbimisel sise- ja välispinna üleminekutakistused, kuid võrreldes kogu materjali üldise difusioonitakistusega, on need tühised. Veeauru difusioonivoog  $i$  tuleneb sisemisest ja välimisest partsiaalrõhkudest: [1], lk 6

$$i = \frac{p_i - p_a}{\frac{1}{\Delta}}, \frac{kg}{m^2h} \quad (0.4)$$

,kus

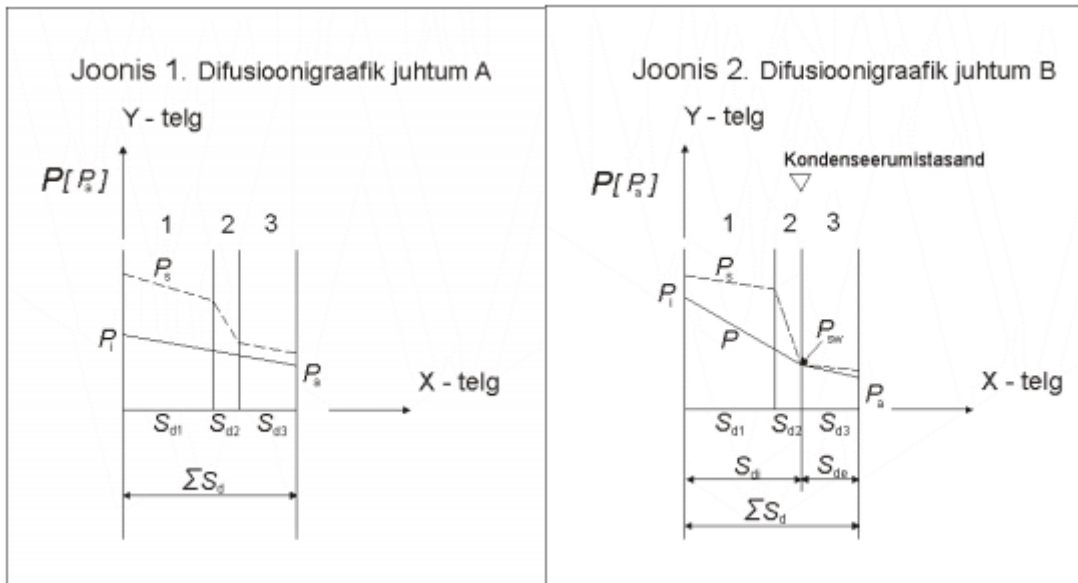
$i$  – veeauru difusioonivoog,  $kg/m^2h$ ;

$p_i$  – sisemine partsiaalrõhk, Pa;

$p_a$  – välimine partsiaalrõhk, Pa;

$1/\Delta$  – veeauru difusioonitakistus.

Seejärel on mõistlik koostada arvutustabel ning selle põhjal joonestada difusioonigraafik, kuhu kantakse arvutuslikult saadud temperatuurikõverale vastav veeauru küllastusrõhu kõver ning tegeliku veeauru osarõhu sirge. Kui küllastuskõver ei puutu kokku tegeliku veeauru osarõhu sirgega, siis konstruktsioonis ei teki kondensatsioonivett. Kui kõver ja sirge aga omavahel kokku puutuvad, siis tekib antud punktis või tasandil kondensatsioonivesi. [1], lk 8



Joonis 0.3 Difusioonigraafikud. Vasakul graafik, mille korral kondensatsioonivett ei teki ning paremal graafik, kus kondenseerumistasand tekib tarindi kihtide 2 ja 3 vahele. [1], lk 8

Kondensatsioonivee kogus  $W_T$  on leitav valemiga: [1], lk 8

$$W_T = t_R * (i_i - i_a), \frac{kg}{m^2} \quad (0.5)$$

,kus

$W_t$  – kondensvee kogus,  $kg/m^2$ ;

$t_t$  – kondenseerumisperiod, h;

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

$i_a$  – difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja;  $kg/m^2h$

Difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda leitakse valemiga: [1], lk 9

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{\frac{1}{\Delta_i}}, \frac{kg}{m^2h} \quad (0.6)$$

,kus

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

$p_i$  – sisemine partsiaalarõhk, Pa;

$p_a$  – välimine partsiaalarõhk, Pa.

## Lisa 19. Akende ja välisuste soojuspidavused



✕ Eemalda

### SW14 aken



✕ Eemalda

### SW14 passiivaken



✕ Eemalda

### DK13 aken

#### Kirjeldus

SW14 puitaken on väljapoole avatav liginullenergia hoone jaoks loodud energiatõhus aken. (Akna profiilid on kaitstud rahvusvahelise tööstusdisainilahenduse registreeringuga nr DM/083922.)

SW14 puitaluumiinium passiivaken on esimene Eestis välja töötatud ja Saksamaa Passive House Institute'i poolt sertifitseeritud väljapoole avatav passiivmaja aken. 3-kordse klaaspaketi ja 3 raamithendiga konstruktsioon vähendab soojakao minimaalseks.

Sissepoole avatava raamiga nn saksa tüüpi aken.

DK13 akent on loodud tänapäevast energiasäästu silmas pidades 78 mm sügavuste profiilidega, võimaldamaks 3-kordse klaaspaketi kasutamist.

#### Soojusjuhtivus

$U_w = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$  (1,23 x 1,48 m avatav standardaken)

$U_w = 0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$  (1,23 x 1,48 m avatav standardaken)

$U_w = 0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$  (3-kordse klaaspaketiga);  $1,29 \text{ W/m}^2\text{K}$  (2-kordse klaaspaketiga) - 1,23 x 1,48 m avatav standardaken)

Joonis 0.4 Akende soojapidavused. Allikas: Viking Window OÜ koduleht.



## FUNCTION F2090 W22 SPOON

### FUNCTION ADVANCE-LINE

VAATA KÕIKI VÄLISUKSI

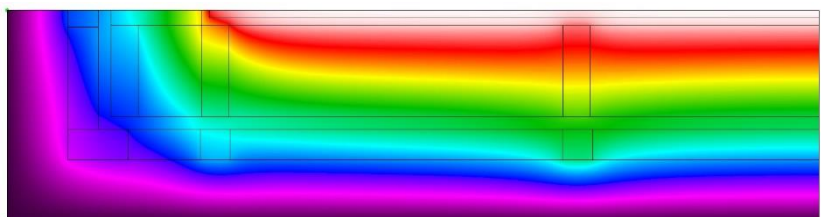
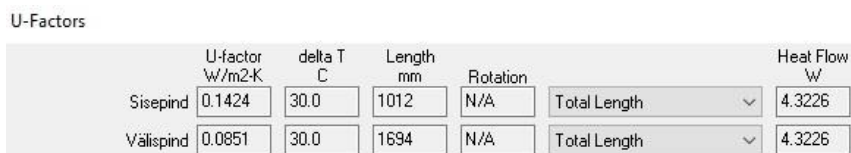
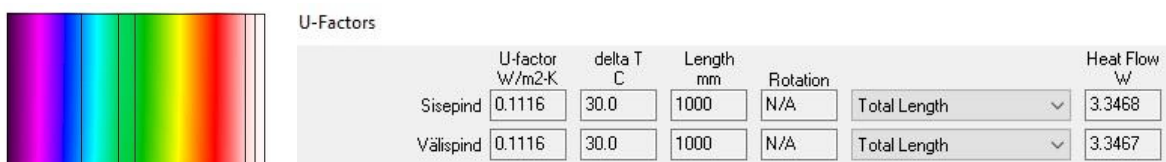
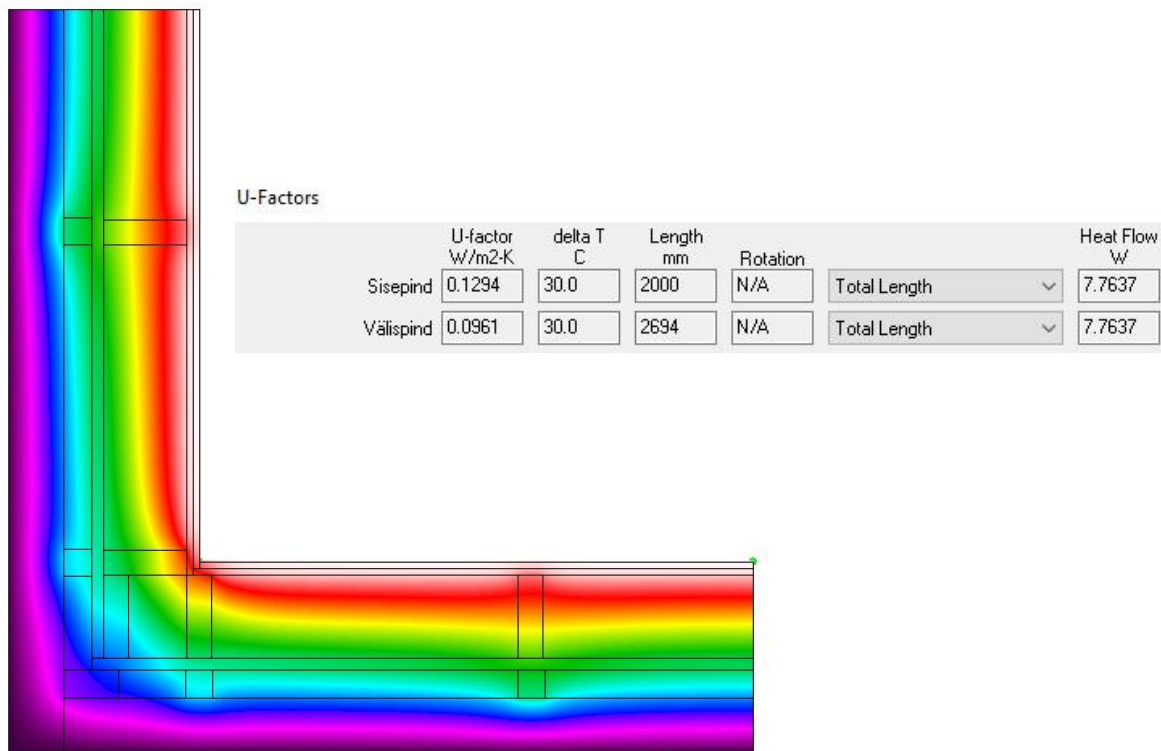
Function seeria standardehitusega välisuste U-väärtus on  $\leq 0.7 - 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , kuid soovi korral saate tellida ka energiasäästliku Arctic konstruktsiooni ning energiatõhusus paraneb veelgi (Arctic-ehitusega pimeuksel  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ )! Värvitud pimeuksi saab tellida ka EI30 tulepüsivusega. Tuletõkkeuste täitematerjaliks on kivivill. Kõiki Function seeria välisuksi saab tellida erimõodus lengi välismõoduga 688-1188 x 1880-2280 mm, sammuga 10 mm. F2090 sarja klaasikassetid on alumiiniumi tooni värvitud ning jäävad sellesse tooni ka siis, kui ukseksel on teine värvitoon.



Joonis 0.5 Välisukse soojapidavus. Allikas: Jeld-Wen Eesti OÜ koduleht.

**Lisa 20. Projekteeritav välissein-välissein ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus**

Arvutus ja arvutusmudel on koostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 6946:2017 toodud üldmeetodile. Arvutustest on kasutatud valemeid (1.1),(1.2) ja (1.3) ning arvutusteks vajalikud mudelid koostatud programmis Therm.



Esmalt leian kogu külmasilla mudeli soojuserikao selle arvutusulatuses:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D} = 0,1294 * 2 = 0,0961 * 2,69 = 0,26 \frac{W}{mK}$$

Külmasilla 1. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-1} = U_{1D-1} * l_{1D-1} = 0,1116 * 1,0 = 0,11 \frac{W}{mK}$$

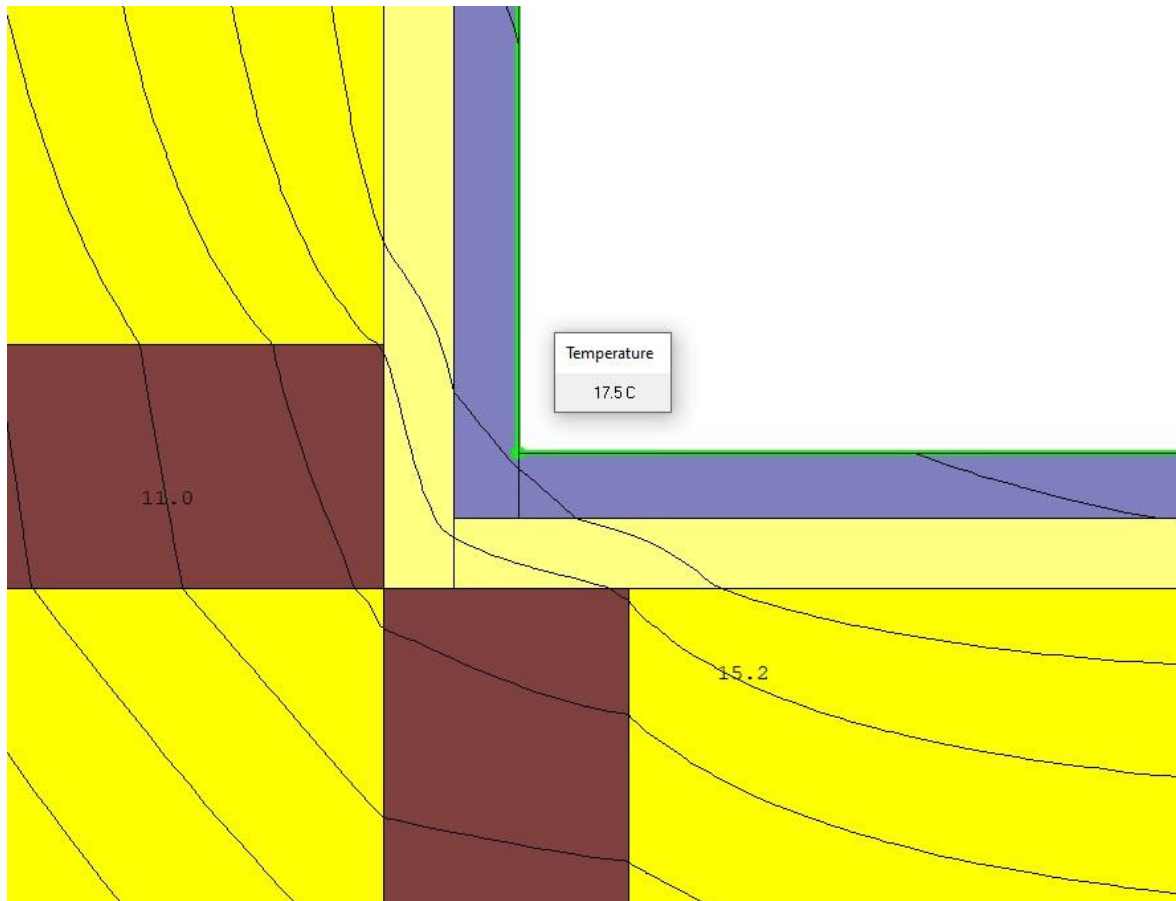
Külmasilla 2. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-2} = U_{1D-2} * l_{1D-2} = 0,1424 * 1,012 = 0,14 \frac{W}{mK}$$

Saame leida piirdetarindi liitekoha joonsoojusläbivuse:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j = 0,26 - 0,11 - 0,14 = 0,01 \frac{W}{mK}$$

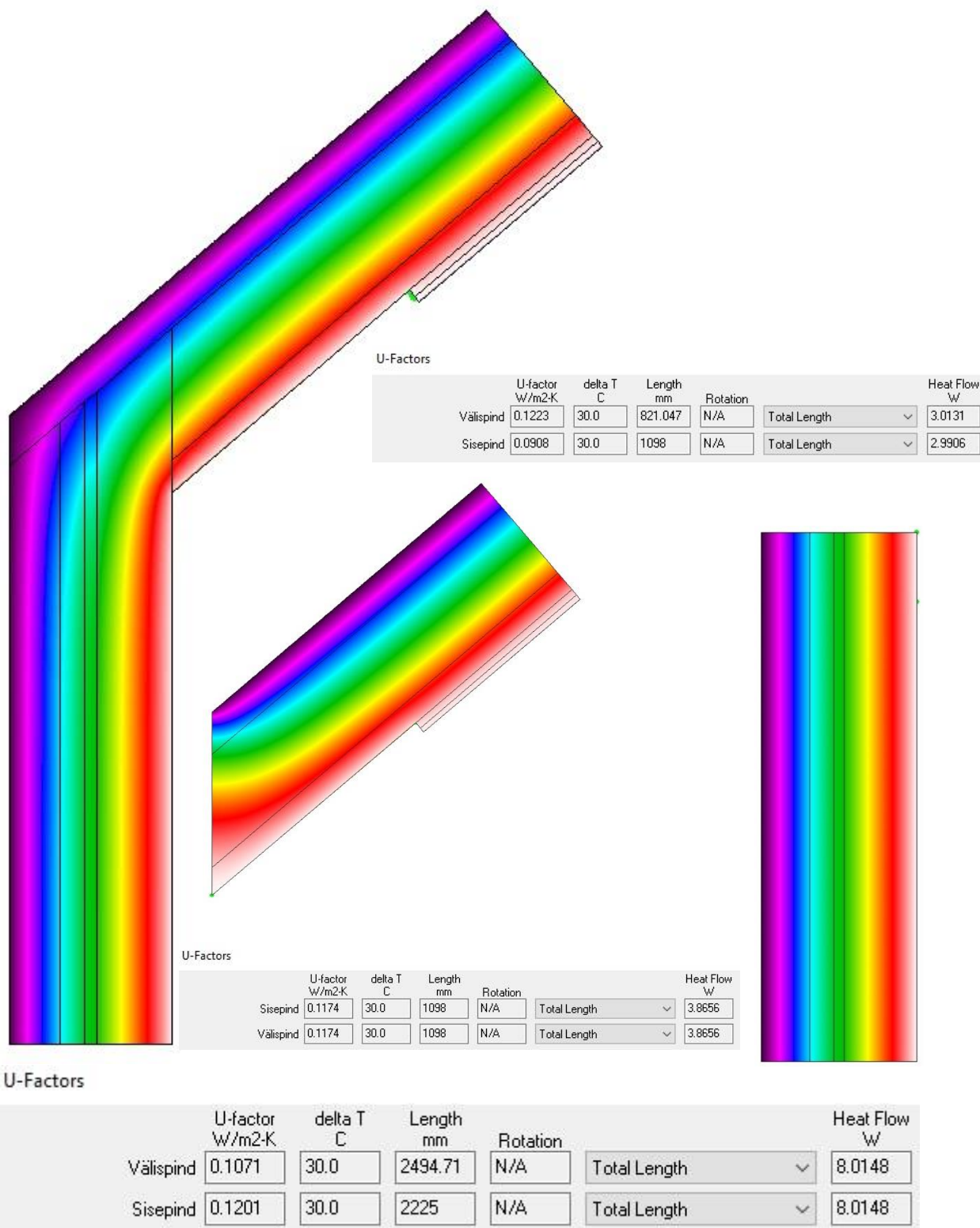
Leian ka külmasilla temperatuurindeksi valemi (1.3) abil.



$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{17,5 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,92$$

## Lisa 21. Projekteeritav välissein-katus ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus

Arvutus ja arvutusmudel on koostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 6946:2017 toodud üldmeetodile. Arvutustest on kasutatud valemeid (1.1),(1.2) ja (1.3) ning arvutusteks vajalikud mudelid koostatud programmis Therm.





Esmalt leian kogu külmasilla mudeli soojuserikao selle arvutusulatuses:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D} = 0,1071 * 2,49 = 0,1201 * 2,225 = 0,26 \frac{W}{mK}$$

Külmasilla 1. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-1} = U_{1D-1} * l_{1D-1} = 0,1174 * 1,098 = 0,12 \frac{W}{mK}$$

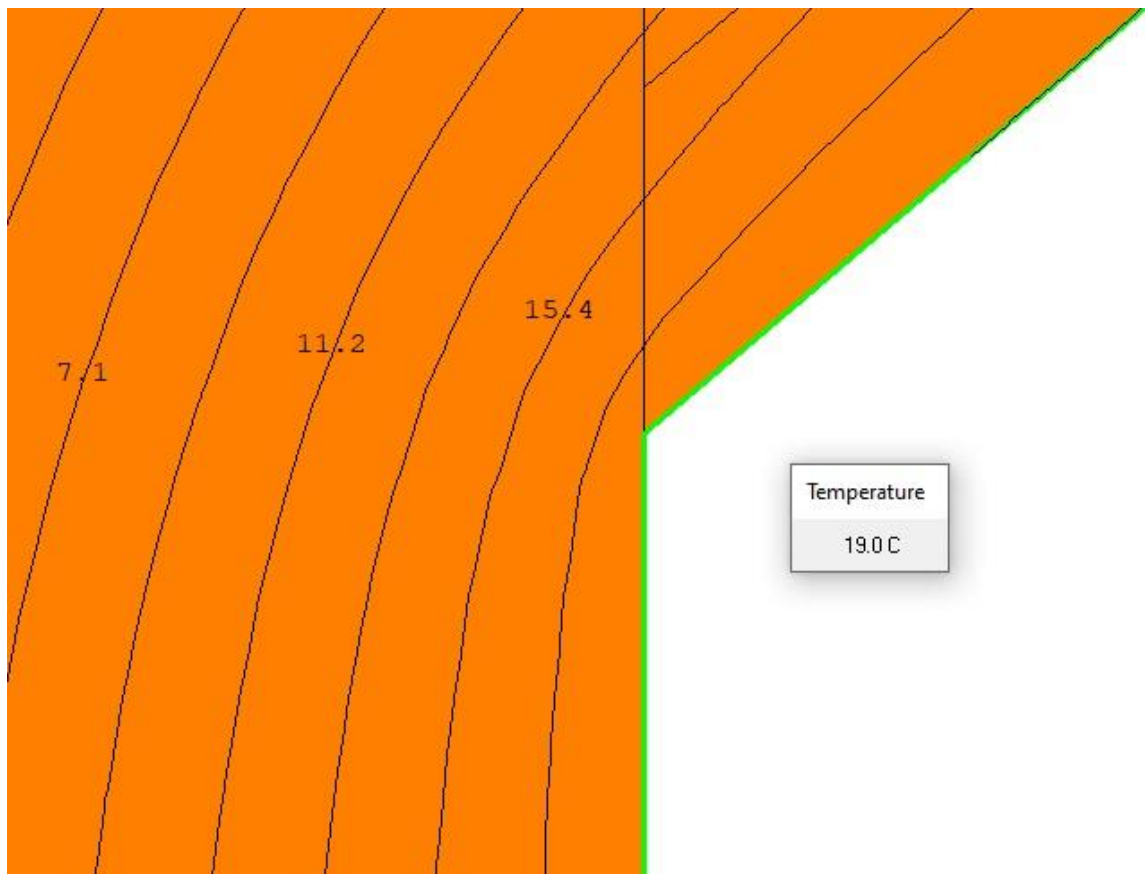
Külmasilla 2. elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-2} = U_{1D-2} * l_{1D-2} = 0,0908 * 1,098 = 0,10 \frac{W}{mK}$$

Saame leida piirdetarindi liitekoha joonsoojuslähivuse:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j = 0,26 - 0,12 - 0,10 = 0,04 \frac{W}{mK}$$

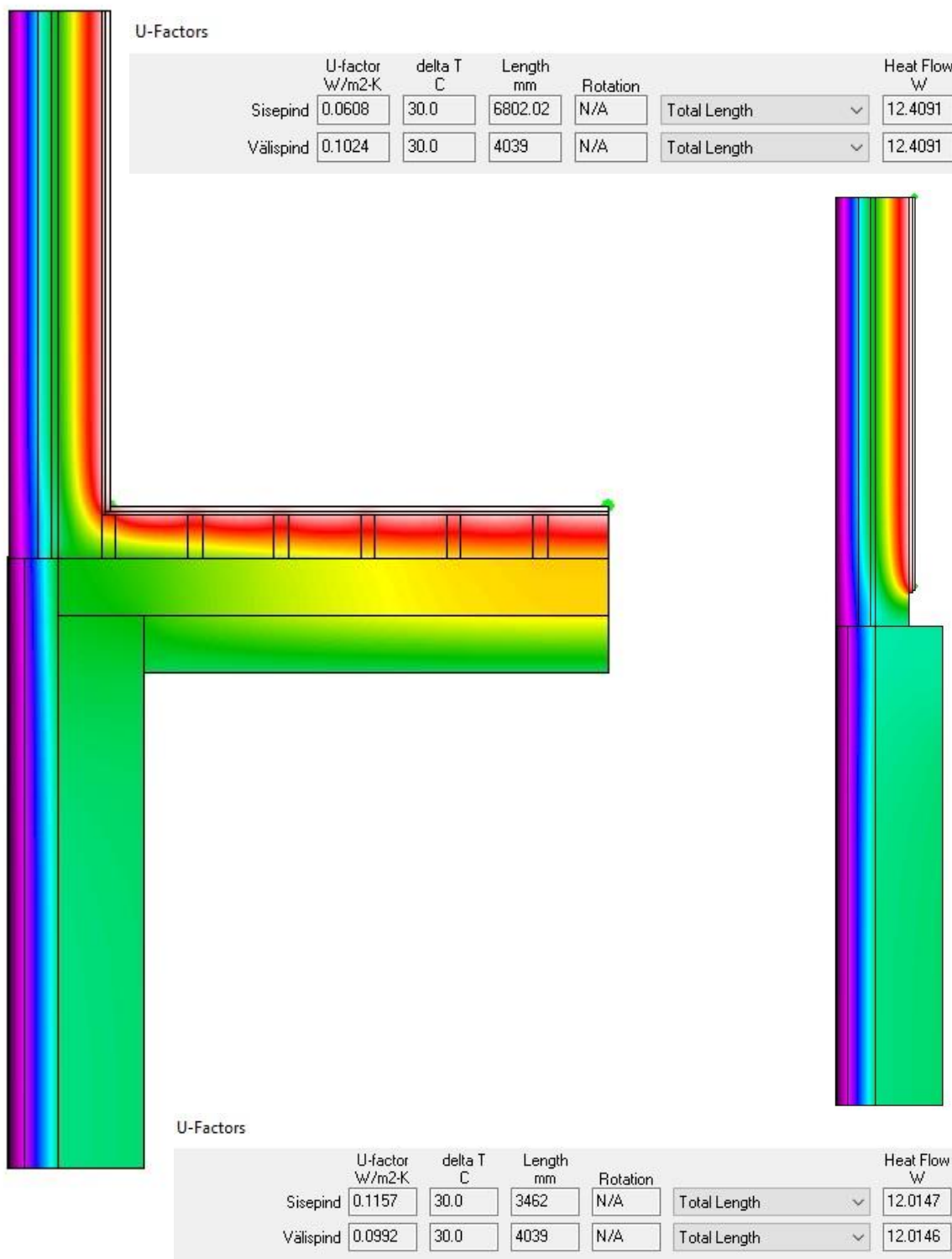
Leian ka külmasilla temperatuuriindeksi valemi (1.3) abil.



$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{19 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,96$$

## Lisa 22. Projekteeritav välissein-sokkel-põrand ühendussõlme joonkülmasilla ja temperatuuriindeksi arvutus

Arvutus ja arvutusmudel on koostatud vastavalt standardis EVS-EN ISO 6946:2017 toodud üldmeetodile. Arvutustest on kasutatud valemeid (1.1),(1.2) ja (1.3) ning arvutusteks vajalikud mudelid koostatud programmis Therm.



Esmalt leian kogu külmasilla mudeli soojuserikao selle arvutusulatuses:

$$L_{2D} = U_{2D} * l_{2D} = 0,068 * 6,80 = 0,1024 * 4,04 = 0,46 \frac{W}{mK}$$

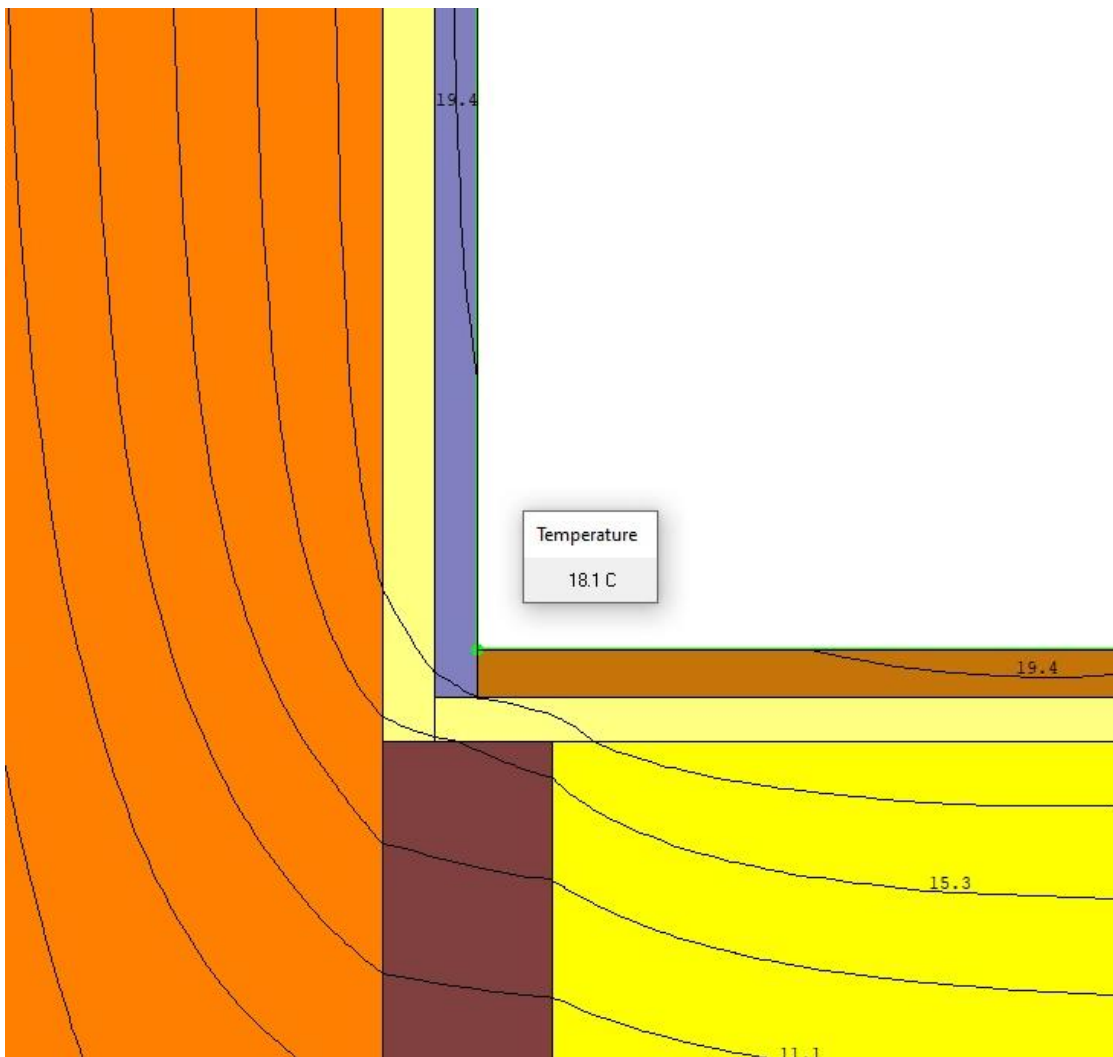
Külmasilla välisseina elemendi ligikaudne soojuserikadu:

$$L_{1D-1} = U_{1D-1} * l_{1D-1} = 0,1157 * 3,46 = 0,40 \frac{W}{mK}$$

Saame leida piirdetarindi liitekoha joonsoojusläbivuse:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j * l_j = 0,46 - 0,4 = 0,06 \frac{W}{mK}$$

Leian ka külmasilla temperatuurindeksi valemi (1.3) abil.



$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{18,1 - (-10)}{20 - (-10)} = 0,94$$

## Lisa 23. Conetga PV aurutõkketeibi andmed

# CONTEGA<sup>®</sup>PV

Vapour-retarding plaster sealing tape with reinforcement fabric



### Advantages

- Saves time: no plaster reinforcement necessary
- Defined transition between vapour retarder and plaster
- Reliable joint: reinforcement fabric increases the stability of the adjacent plaster subsurface
- Construction in adherence with standards: for airtight bonding in accordance with DIN 4108-7, SIA 180 and RT 2012
- Excellent values in the hazardous substance test, has been tested according to the ISO 16000 evaluation scheme

### Areas of Application

For well-defined, multifunctional joints between sheets of membrane or wood-based panels and surfaces that will be plastered (brick work or concrete).

### Technical specs

	Material
Backing	PET fleece with functional membrane and plaster reinforcement
Adhesive	special acrylate adhesive
Release film	silicone-coated PE film

Attribute	Norm	Value
Colour		light blue / dark blue
Thickness		1.3 mm
sd-value	EN 1849-2	2.3 m
g-value		11.5 MN·s/g
Vapour permeance	ASTM E 96	1.43 US perms
Bonding requirement, non-aged/aged	DIN 4108-11	passed
Application temperature		above -10 °C ; 14 °F
Temperature resistance		permanent -40 °C to 90 °C ; -40 °F to 194 °F
Storage		cool and dry

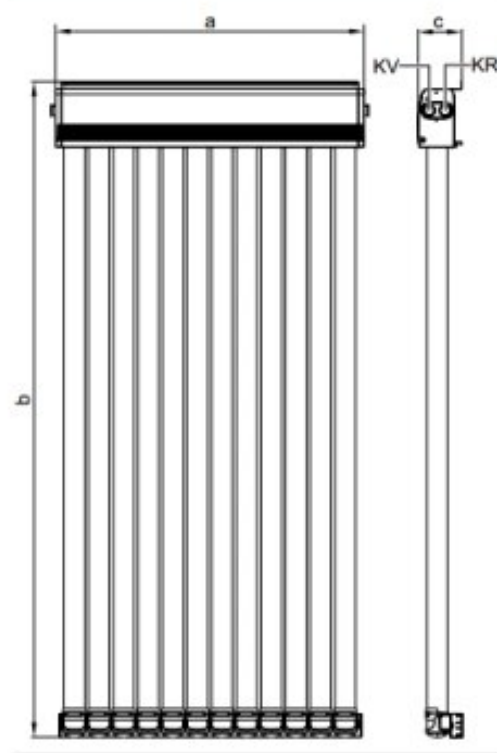
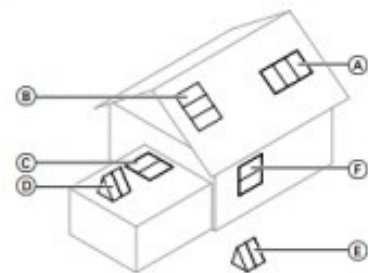
## Lisa 24. Ventilatsiooniseadme Endura Delta 330 tehnilised andmed

Menetluses EPB looteandmed	Endura Delta 330	Endura Delta 380	Endura Delta 450
Õhu koguvooluhulk	330m³/h (92 l/s) rõhul 150 Pa	380m³/h (106 l/s) rõhul 150 Pa	450m³/h (125 l/s) rõhul 150 Pa
Tõhusus (EN308)	89% mahul 100m³/h (27 l/s) 84% mahul 250m³/h (70 l/s) 82% mahul 325m³/h (90 l/s) 81% mahul 350m³/h (97 l/s)	88% mahul 100m³/h (27 l/s) 85% mahul 200m³/h (56 l/s) 83% mahul 300m³/h (84 l/s) 81% mahul 400m³/h (111 l/s)	87% mahul 100m³/h (27 l/s) 83% mahul 250m³/h (70 l/s) 81% mahul 350m³/h (97 l/s) 79% mahul 450m³/h (125 l/s)
Maksimaalne energiakulu	2 x 85W	2 x 83W	2 x 115W
Ventilaatorid	EC ventilaatorid		
	Pidev õhuvool		
Seade	862x745x520 mm (HxWxD)		
Mõõtmed	862x745x520 mm (HxWxD)		
Kaal	41 Kg	46 Kg	46 Kg
Ühendused	180/150 mm või 200/180 mm		
	T4 (4 ülemist ühendust)		
	T2/B2 (2 ülemist ja 2 alumist ühendust)		
Seadistus	Kättesaadaval parema või vasaku seadistusega		
Lisavarustusena eelsoojendi	Maksimumvõimsus 1000 W		
	Mooduljuhtimine		
Täielik möödavool	Automaatne		
	Mooduljuhtimine		
	Tuulutusfunktsioon (Breeze)		
Integreeritud kondensaadi äravool	Ø 32 mm		
Filtrid	2 x G4 padrunfiltrid		
	F7 padrunfiltrid (lisavarustus)		
Integreeritud puutetundlik ekraan esipaneelil	-	Seadistus- ja juhtimisseade	Seadistus- ja juhtimisseade
	-	Veateated	Veateated
	-	Filtri info	Filtri info
	-	Ventilatsiooni intensiivsuse visualisatsioon	Ventilatsiooni intensiivsuse visualisatsioon
Sisemised sensorid: vajaduspõhine ventilatsioon	Suhteline niiskus		
	CO <sub>2</sub>		
	VOC		
Välised sisendid/väljundid	Digitaalsisend/-väljund 24V		
	Analoogsisend/-väljund 0-10V		
Ethernet ühendus	Endura Delta rakenduse kasutamiseks		
Välised õhukvaliteedi sensorid	Seadmevälised õhukvaliteedi sensorid saab omavahel ühendada (peamine puutetundlik ekraan + alluvad õhukvaliteedi sensorid)		
Eelsoojendi	Integreeritav lisavalikuna		
Funktsioonid	Graafiku põhjal		
Seadme töö	Taimerite põhjal		
	Vajaduspõhiselt sisemiste ja/või välimiste sensorite abil		
Külmutusvastane kaitse	Automaatne		
Tuulutusfunktsioon (Breeze)	Optimaalne jahutus ka suvel		
Avatud küttekolde funktsioon	Välimise impulsslüliti abil		
	Ajutine ülerõhk		
Puhkerežim	Energiasäästlik ventilatsioon äraoleku ajal		
Filtrit puudutav info	Teavitab filtri puhastamis-/vahetamisajast		
Juhtimine	Android, iOS, Windows		
Endura Delta rakendus	Android, iOS, Windows		
Puutetundlik ekraan	Sisemine või välimine (lisavalik)		

Joonis 0.6 Endura Delta 330 tehnilised andmed. Allikas: Renson Eesti koduleht.

## Lisa 25. Päikesekollektori Vitosol 200-T tehnilised andmed

Typ SP2A		1,26 m <sup>2</sup>	1,51 m <sup>2</sup>	3,03 m <sup>2</sup>
Röhrenanzahl		10	12	24
Bruttofläche (für die Beantragung von Fördermitteln erforderlich)	m <sup>2</sup>	1,98	2,36	4,62
Absorberfläche	m <sup>2</sup>	1,26	1,51	3,03
Aperturfläche	m <sup>2</sup>	1,33	1,60	3,19
Einbaulage (siehe folgende Abbildung)		(A), (B), (C), (D), (E), (F)		
Abstand zwischen Kollektoren	mm	—	88,5	88,5
Abmessungen				
Breite a	mm	885	1053	2061
Höhe b	mm	2241	2241	2241
Tiefe c	mm	150	150	150
Folgende Werte beziehen sich auf die Absorberfläche:				
– Optischer Wirkungsgrad	%	78,5	80,1	80,1
– Wärmeverlustbeiwert $k_1$	W/(m <sup>2</sup> · K)	1,522	1,443	1,103
– Wärmeverlustbeiwert $k_2$	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,007	0,002	0,007
Wärmekapazität	kJ/(m <sup>2</sup> · K)	6,08	5,97	5,73
Gewicht	kg	33	39	79
Inhalt Flüssigkeit (Wärmeträgermedium)	Liter	0,75	0,87	1,55
Zul. Betriebsdruck	bar/MPa	6/0,6		
Max. Stillstandtemperatur	°C	264		
Dampfproduktionsleistung	W/m <sup>2</sup>	100		
Anschluss	Ø mm	22		

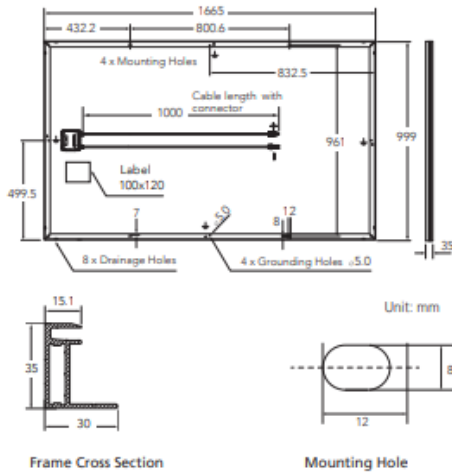


KR Kollektorrücklauf (Eintritt)  
KV Kollekturvortlauf (Austritt)

Joonis 0.7 Päikesekollektori Vitosol-200 T tehnilised andmed. Allikas: Viessmann Eesti koduleht.

## Lisa 26. Päikesepaneeli WST-325M6 PERC 325 W tehnilised andmed

### Dimensions



### Mechanical Data

Cell	Monocrystalline Silicon Cells, 158.75 mm x 158.75 mm
Quantity and wiring of cells	60 in series
Dimensions	1,665 mm x 999 mm x 35 mm
Weight	18.6 kg
Glass thickness	3.2 mm
Frame	black anodised aluminium
Junction box	IP 67
Connector type	QC4.10 IP67
Module fire performance	Type 4
Fire safety class	C

Limits	WST-M6 PERC MONO
Operating temperature	-40 °C to +85 °C / -40 °F to +185 °F
Maximum system voltage IEC/UL	1,000 V/1,000 V
Maximum series fuse	20 A
Maximum design load (+)/(-)	3,600 Pa/2,400 Pa
Maximum test load (+)/(-)	5,400 Pa/3,600 Pa
Nominal Module Operating Temperature NMOT	45 °C ± 3 °C
Temperature coefficient of $P_{MAX}$	-0.38 %/°C
Temperature coefficient of $V_{OC}$	-0.29 %/°C
Temperature coefficient of $I_{SC}$	0.04 %/°C
Certifications	IEC 61215-1:2016, IEC 61215-2:2016, IEC 61730-1:2016, IEC 61730-2:2016

Electrical data (STC)	WST-325M6	
Nominal performance $P_{MAX}$	325	Wp
Voltage at maximum performance $V_{MP}$	33.92	V
Current at maximum performance $I_{MP}$	9.59	A
Open circuit voltage $V_{OC}$	40.70	V
Short circuit current $I_{SC}$	10.37	A
Module efficiency	19.54	%
Power tolerance	-0/+5	W

The electrical data applies under standard test conditions (STC): solar radiation 1,000 W/m<sup>2</sup> with light spectrum AM 1.5 with cell temperature von 25 °C. Measurement tolerance of  $P_{MAX}$  at STC: ±3%. Accuracy of other electrical data: ±10%.

Electrical data (NMOT)	WST-325M6	
Nominal performance $P_{MAX}$	237	Wp
Voltage at maximum performance $V_{MP}$	31.17	V
Current at maximum performance $I_{MP}$	7.60	A
Open circuit voltage $V_{OC}$	38.34	V
Short circuit current $I_{SC}$	8.20	A

The electrical data applies under Nominal Module Operating Temperature (NMOT): irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>; spectrum AM 1.5; ambient temperature 20 °C; wind speed 1 m/s.

Joonis 0.8 Päikesepaneeli tehnilised andmed

## Lisa 27. Rekonstrueeritava hoone energiamärgise arvutus

**Tabel 0.2** Hoone piirdetarindite rekonstrueerimisprojekti järgsed soojajuhtivused ja soojuserikaod

Piirdetarind	$U_i$ W/m <sup>2</sup> K	$A_i$ m <sup>2</sup>	$H_{juhtivus}$ W/K
Välissein	0,11	115,57	12,71
Katus	0,11	111,3	12,24
Aknad	0,72	24,85	17,89
Põrand	0,17	85,1	14,47
Välisüksed	0,8	6,1	4,88
<b>Kokku:</b>			62,19

**Tabel 0.3** Veskitamme 5 rekonstrueerimisprojekti järgsed joonkülmasildade suurused

	Joonsoojusläbivus $\Psi$ , W/mK	Joonkülmasilla pikkus, m	Külmasild H, W/K
Välisseina välisnurk	0,01	9,6	0,096
Katuse ja välisseina liitekoht	0,04	44,5	1,78
Alt tuulutatud põranda ja välisseina liitekoht	0,06	40,5	2,43
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruksiooni kihis)*	0,02	106,0	2,12
<b>Kokku:</b>			6,43

\* Arvesse on võetud ka välisüksed.

Keskmine infiltratsioon on:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3600 * x} A = \frac{1,5}{3600 * 24} * 320 = 0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$$

Õhulekkest ja ventilatsioonis põhjustatud soojuserikadu on:

$$H_{\delta l} = q_i + * c * \rho = 0,0055 * 1005 * 1,2 = 6,7 \text{ W/K}$$

**Tabel 0.4** Veskitamme 5 rekonstrueerimisprojekti järgsed soojuserikaod kokku

Soojuserikao põhjus	Soojuserikadu H, W/K
Piirdetarindite soojajuhtivus	62,19
Külmasillad piirdetarindis	6,43
Õhuleke ja ventilatsioon	6,7
<b>Kokku:</b>	<b>75,3 W/K</b>



Kuna hoone k etava pinna suurus jäab pärast rekonstrueerimist samaks on hoone vabasoojused samad, mis olemasoleval hoonel. Valemi (2.18) järgi arvutades on kogu Veskitamme 5 vabasoojused ühe ruutmeetri k etava pinna kohta:

$$\phi_{vs} = \phi_{in} + \phi_{el} + \phi_p = 1113 + 237,7 = 1350,7 \text{ W} = 1,35 \text{ kW}$$

Korrutades leitud hoone vabasoojuste summa 1,35 kW vabasoojuse kasuteguriga 0,7 (sest kogu vabasoojust ei saa ära kasutada), saame, et kogu hoone ** op eva vabasoojuskooormuseks 0,94 kW**. Korrutades selle omakorda päevade arvuga aastas, saame, et Veskitamme 5 aastane **vabasoojuskooormus on 343 kWh/a**.

Sellest j areldub, et ka hoone tasakaalutemperatuur on sama ehk 18  C. Erinevus tuleb sisse netoenergiavajaduse leidmisel.

Netoenergiavajadus hoone küttele võttes arvesse kogu hoone soojakadu (valem (2.22)):

$$Q_k = 75,3 * 4629 * 24 * 0,001 = 8365 \text{ kWh/a}$$

Veskitamme 5 netoenergiavajadus soojale veele on:

$$Q_v = 30 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} * 116 \text{ m}^2 = 3480 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Lisaks tuleb rekonstrueeritud hoone puhul arvesse võtta ka ventilatsiooni elektrienergia kasutusele.

$$E_v = P_v * \frac{\tau_d \tau_w}{24 \text{ t}} t = 0,085 * 1 * 1 * 8760 = 744,6 \text{ kWh/a}$$

Kokku on netoenergiavajadus küttele ning soojale veele:

$$Q_k + Q_v = 8365 + 3480 = 11845,5 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Veskitamme 5 hoones on kombineeritud p randak te ja kütmine radiaatoritega. Ruutmeetrise järgi jaotuvad need vastavalt 23,2 m<sup>2</sup> ja 92,8 m<sup>2</sup>. Protsentuaalselt tähendab see, et 25 % hoonest köetakse p randak ttega ning 75 % radiaatoritega. Hoone küttele kulub 8365 kWh/a, p randak te katab sellest 2091 kWh/a ja radiaatorid 6274 kWh/a. Seega küttele kuluv energia on:

$$E_{tar,k} = \frac{2091 + 2 * 23,2}{0,75 * 0,85} + \frac{6274 + 1 * 92,8}{0,75 * 0,97} = 3353 + 8752 = 12105 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Veskitamme 5 standardkasutusest tulenev elektritarbimine järgnev:

$$E_{tar,el} = 25 * 116 = 2900 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Rekonstrueeritava hoone energiatõhususe arvutusel tuleb kindlasti arvesse võtta ja t o põhiosas leitud kollektorite ja paneelide energiakulu ja -tulu.

$$ETA = \frac{\sum_i(E_{tar,i} * f_i)}{A_{k\ddot{o}etav}} = \frac{12105 * 0,65 + (3480 - 2903) * 2 + 2900 * 2 + 744,6 * 2 + 807,3 - 130,3}{116}$$
$$= \frac{7868 + 1154 + 5800 + 1489 + 807,3 - 130,3}{116} = 137 \frac{kWh}{m^2a}$$

## Lisa 28. Rekonstrueeritava hoone energiamärgise arvutus kalkulaatori abil

Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaator - sisesta andmed kollastesse väljadesse										27.12.2018 TalTech
Andmed hoone kohta							Energiaarvutuse teostaja			
Aadress	Veskitamme vkt 5, Vissi küla, Nõe vald, Tartu maakond						Oluline rekonstrueerimine		Nimi	
Kõetav pind	116,0	m <sup>2</sup>	Ehitise kasutamise otstane		11101 - Üksikelamu		Pädevus			
Netopind	121,5	m <sup>2</sup>	Peamine soojusallikas ruumide kütteks		Puidukatel		Allkiri	alkkirjastatud digitaalselt		
Piirdetarind	$U_i$	$A_i$	$H_{juhtivus}$	Joon-soojusläbivus	$\Psi_k$	$l_k$	$H_{joonlätivus}$	Infiltratsioon	$H_{infiltratsioon}$	
	W/(m <sup>2</sup> ·K)	m <sup>2</sup>	W/K	W/K	W/(m·K)	m	W/K			
Välissein	0,11	115,6	12,7	Välisseina välisnurk	0,010	9,6	0,1	$q_{50}$ , m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> )	1,5	
Katuslagi	0,11	111,3	12,2	Välisseina sisenuk			0,0	Kavandatud mõõtmine		
Põrand (alt tuulutatav)	0,17	85,1	14,5	Välissein-katuslagi	0,040	44,5	1,8	Korruste arv	2	
			0,0	Välissein-põrand	0,060	40,5	2,4	$A_{välispiire}$ , m <sup>2</sup>	343,2	
			0,0	Välissein-vaheklagi			0,0			
			0,0	Välissein-sisesein			0,0			
Välisuks	0,80	6,1	4,8	Ukse seinakinnitus	0,020	83,9	1,7			
Aken põhja	0,72	2,2	2,2	Rõdu seinakinnitus			0,0			
Aken kirdesse			0,0							
Aken itta	0,72	4,8	3,1	Sisesein-katuslagi			0,0			
Aken kagusse			0,0							
Aken lõunasse	0,72	10,6	2,7	Sisesein-põrand			0,0			
Aken edelasse			0,0							
Aken läände	0,72	7,5	4,9				0,0	$q_{inf}$ , m <sup>3</sup> /s	0,0060	
Aken loodesse			0,0							
Summa			$H_{juhtivus}$ , W/K	57,1			$H_{joonlätivus}$ , W/K	6,2	$H_{ahuleke}$ , W/K	7,1
$H = H_{juhtivus} + H_{joonlätivus} + H_{ahuleke}$					W/K		70,5	Aknapiina suhe kõetavasse pinda		
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta H/A					W/(m <sup>2</sup> ·K)		0,61	22%		
Tehnosüsteemid	Soojusallikad			Maasoojuspump	Õhk-vee soojuspump	Kaugküte	Puidukatel	Gaas-kondensatsioonikatel		
Projekteeritud õhk-vee või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW	Energibilanss			Netovajadus	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.		
Arvutuslik välisõhu temp., °C				kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
Kütteviis	Ruumide küte			44,9	30,6	34,7	51,4	61,7	48,7	
Soojustagasti tüüp	Vent. õhu soojendamine			5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, -	Tarbevee soojendamine			30,0	10,7	12,1	16,7	20,0	15,8	
Vent. lisa soojendamine	Ventilaatorid ja pumbad			8,8	8,8	8,8	9,8	9,8	9,8	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m <sup>3</sup> /s)	Valgustus			5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	Seadmed			24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	
Kollektori aktiivpindala, m <sup>2</sup>	Toodetud lokaalne taastuvelekter				-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
Kollektori või paneeli suunatus	Taastuvelektri omatarve, %				100	100	100	100	100	
Kollektori või paneeli kaldenurk	Tarbitud lokaalne taastuvelekter				-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
	Eksporditud lokaalne taastuvelekter				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Paneeli paigaldusviis	Summa			118,1	81,8	87,3	109,6	123,2	106,1	
tuulutusetata	Kaalutud energiakasutus				163,6	174,6	144,4	136,2	147,6	
	B-klassi ETA piirv			165	ETA (ilma PV)	169	180	150	141	
C-klassi ETA piirv			185	ETA	164	175	144	136	148	

## Lisa 29. Rekonstrueeritava hoone energiamärgise arvutus õhulekkaarvu baasväärtuse $q_{50}=4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ korral.

Väikeelamu energiatõhususarvu kalkulaator - sissest andmed kollastesse väljadesse								27.12.2018 TalTech		
Andmed hoone kohta						Energiaarvutuse teostaja				
Address	Veskitamme vkt 5, Vissi küla, Nõe vald, Tartu maakond					Oluline rekonstrueerimine		Nimi		
Kõetav pind	116,0	m <sup>2</sup>	Ehitise kasutamise otstave		11101 - Üksikelamu		Pädevus			
Netopind	121,5	m <sup>2</sup>	Peamine soojusallikas ruumide kütteks		Puidukatel		Allkiri	alkkirjastatud digitaalselt		
Piirdetarind	$U_i$	$A_i$	$H_{juhtivus}$	Joon-soojusläbivus	$\Psi_k$	$I_k$	$H_{joonlätivus}$	Infiltratsioon	$H_{infiltratsioon}$	
	W/(m <sup>2</sup> -K)	m <sup>2</sup>	W/K	W/K	W/(m-K)	m	W/K			
Välissein	0,11	115,6	12,7	Välisseina välisnurk	0,010	9,6	0,1	$q_{50}, \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	4,0	
Katuslagi	0,11	111,3	12,2	Välisseina sisenuk			0,0	Baasväärtus		
Põrand (alt tuulutatav)	0,17	85,1	14,5	Välissein-katuslagi	0,040	44,5	1,8	Korruste arv	2	
			0,0	Välissein-põrand	0,060	40,5	2,4	$A_{välispiire}, \text{ m}^2$	343,2	
			0,0	Välissein-vahelagi			0,0			
			0,0	Välissein-sisesein			0,0			
			0,0	Akna seinakinnitus	0,020	83,9	1,7			
Välisüks	0,80	6,1	4,8	Ukse seinakinnitus	0,020	12,4	0,2			
Aken põhja	0,72	2,2	2,2	Rõdu seinakinnitus			0,0			
Aken kirdesse			0,0							
Aken itta	0,72	4,8	3,1	Sisesein-katuslagi			0,0			
Aken kagusse			0,0							
Aken lõunasse	0,72	10,6	2,7	Sisesein-põrand			0,0			
Aken edelasse			0,0							
Aken läände	0,72	7,5	4,9				0,0	$q_{inf}, \text{ m}^3/\text{s}$	0,0159	
Aken loodesse			0,0							
Summa			$H_{juhtivus}, \text{ W/K}$	57,1			$H_{joonlätivus}, \text{ W/K}$	6,2	$H_{õhuleke}, \text{ W/K}$	19,1
$H = H_{juhtivus} + H_{joonlätivus} + H_{õhuleke}$					W/K	82,4	Aknapiina suhe kõetavas pinda			
Välispiirete summaarne soojuserikadu kõetava pinna kohta H/A				W/(m <sup>2</sup> -K)		0,71	22%			
Tehnosüsteemid		Soojusallikad		Maasoojuspump	Õhk-vesi soojuspump	Kaugküte	Puidukatel	Gaas-kondensatsioonikatel		
Projekteeritud õhk-vesi või maasoojuspumba nominaalvõimsus, kW		Energiabilanss		Netovajadus	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	En.kasutus ja lokaalselt toodetud en.	
Arvutuslik välisõhu temp., °C				kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	kWh/(m <sup>2</sup> -a)	
Kütteväsi	radiaator	Ruumide küte		54,3	32,5	39,1	62,2	74,6	58,9	
Soojustagasti tüüp	rootorsoojustagasti	Vent. õhu soojendamine		5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	
Soojustagastuse temperatuurisuhtarv, -	0,82	Tarbevee soojendamine		30,0	9,6	11,5	16,7	20,0	15,8	
Vent. lisa soojendamine	elektrikalorifeer	Ventilaatorid ja pumbad		8,8	8,8	8,8	9,8	9,8	9,8	
Ventilatsioonisüsteemi erivõimsus, kW/(m <sup>3</sup> /s)	2,0	Valgustus		5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	
Päikesepaneelide maksimaalne võimsus, kW	0,4	Seadmed		24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1	
Kollektori aktiivpindala, m <sup>2</sup>	7,7	Toodetud lokaalne taastuvelekter			-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
Kollektori või paneeli suunatus	lõuna	Taastuvelektri omatarve, %			100	100	100	100	100	
Kollektori või paneeli kaldenurk	40°	Tarbitud lokaalne taastuvelekter			-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	
		Eksportitud lokaalne taastuvelekter			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		Summa		127,5	82,7	91,1	120,4	136,2	116,3	
Paneeli paigaldusviis		tuulutusetä		Kaalutud energiakasutus		165,5	182,2	154,1	144,7	157,9
		B-klassi ETA piirv		165	ETA (ilma PV)	171	187	159	150	163
		C-klassi ETA piirv		185	ETA	165	182	154	145	158

# Veskitamme vkt 5 rekonstrueerimisprojekt

ARHITEKTUURNE EELPROJEKT

Objekti aadress: Veskitamme vkt 5, Vissi küla, Nõo vald, Tartu maakond

Tellija: Guido Bergmann

Koostas: Triinu Bergmann

E-mail: [triinu.bergmann@gmail.com](mailto:triinu.bergmann@gmail.com)

Telefon: +372 5348 5512

Töö nr. 1\_20

Mai 2020

## Sisukord

1	ÜLDOSA.....	8
1.1	Seletuskirja ülesehitus .....	8
1.2	Üldandmed.....	8
1.2.1	Ehitise asukoht .....	8
1.2.2	Ehitise lühikirjeldus .....	8
1.2.3	Projekteerija.....	8
1.3	Alusdokumendid.....	8
1.3.1	Lähteandmed.....	8
2	ASENDIPLAAN .....	10
2.1	Üldandmed.....	10
2.1.1	Projekteerimistöo piiritlus.....	10
2.1.2	Alusdokumendid .....	10
2.2	Olemasolev .....	10
2.2.1	Paiknemine .....	10
2.2.2	Olemasolevad hooned ja rajatised .....	10
2.2.3	Olemasolev reljeef .....	10
2.2.4	Olemasolev kõrghaljastus.....	10
2.2.5	Olemasolevad tänavad, juurdesõiduteed ja kõnniteed .....	10
2.2.6	Krundi kitsendused ja kaitsealused objektid.....	10
2.2.7	Krundi pinnase omadused .....	10
2.3	Asendiplaanilahendus .....	11
2.3.1	Hoone paigutus.....	11
2.3.2	Ehitusetapid .....	11
2.4	Vertikaalplaneering.....	11
2.4.1	Vertikaalplaneerimise lahenduse lähteandmed .....	11
2.4.2	Hoone paiknemiskõrgus .....	11
2.4.3	Sademevee käitlemine .....	11
2.5	Krundisisene liikluskorraldus ja parkimine .....	11

2.5.1	Liikluskorraldus ja parkimine krundil.....	11
2.5.2	Parkimine.....	11
2.6	Teed ja platsid .....	11
2.7	Haljastus ja heakorrastus.....	11
2.7.1	Olemasolev, säilitatav haljastus .....	11
2.7.2	Projekteeritud haljastus .....	12
2.7.3	Väikeehitised ja -vormid .....	12
2.7.4	Piirded ja väravad .....	12
2.7.5	Jäätmekäitlus .....	12
2.8	Välisvalgustus.....	12
2.9	Maa-ala tehnilised andmed .....	12
3	ARHITEKTUUR .....	13
3.1	Üldandmed.....	13
3.1.1	Projekteerimistöo piiritlus.....	13
3.1.2	Alusdokumendid .....	13
3.1.3	Normdokumendid.....	13
3.2	Olemasolev .....	13
3.3	Arhitektuuri üldlahendus .....	13
3.3.1	Hoone paiknemine, planeeringu piirangud .....	13
3.3.2	Hoone ehitusetapid ja laiendamise võimalused.....	13
3.3.3	Hoone arhitektuurne üldkontseptsioon .....	14
3.3.4	Energiatõhusus ja sisekliima.....	14
3.3.5	Hoone ruumid.....	14
3.3.6	Liikumis-, nägemis- ja kuulmispuudega inimeste liikumisvõimalused .....	14
3.4	Hoone konstruktsioonid ja pinnakatted .....	14
3.4.1	Vundament .....	14
3.4.2	Põrand.....	15
3.4.3	Vertikaalsed ja horisontaalsed kandekonstruktsioonid .....	15
3.4.4	Katus.....	15
3.4.5	Välisseinad .....	16

3.4.6	Siseseinad.....	16
3.4.7	Avatäited .....	17
3.5	Hoone tehnilised andmed .....	17
4	KONSTRUKTSIOONID .....	18
4.1	Üldandmed.....	18
4.1.1	Projekteerimistöö piiritlus.....	18
4.1.2	Alusdokumendid .....	18
4.2	Tehnilised põhinõuded hoone kandekonstruktsioonidele .....	18
4.2.1	Projekteeritud kasutusiga.....	18
4.2.2	Tagajärgede- ja töökindlusklass.....	18
4.2.3	Järelvalvetase.....	19
4.2.4	Koormused.....	19
4.2.5	Pinnasevesi .....	19
4.2.6	Vundament .....	19
4.3	Maapealsed konstruktsioonid .....	20
4.3.1	Kandvad ja jäigastavad konstruktsioonid.....	20
5	TULEOHUTUS .....	21
5.1	Projekteerimistöö piiritlus.....	21
5.2	Alusdokumendid.....	21
5.3	Tuleohutusklass, kasutusviis ja kasutusotstarve .....	21
5.4	Tuleohutuse tagamise põhimõtted .....	21
5.4.1	Tuleohutuskujad .....	21
5.4.2	Kande- ja tuletõkkekonstruktsioonide tulepüsivusajad .....	21
5.4.3	Põlemiskoormus.....	22
5.5	Tuletõkkeseptsioonid, tulepüsivus .....	22
5.6	Evakuatsioonilahendus.....	22
5.6.1	Maksimaalne inimeste arv .....	22
5.6.2	Evakuatsiooniteed .....	22
5.6.3	Pääsud keldrisse, pööningule ja katusele.....	22
5.7	Tuleohutuspaigaldised.....	22



5.7.1	Automaatne tulekahjusignalisatsioon .....	22
5.7.2	Suitsueemaldamine .....	22
5.7.3	Tulekustutid .....	22
5.8	Tehnosüsteemide tuleohutus .....	22
5.9	Päästemeeskonna juurdepääs ehitisele .....	23
5.10	Väline tulekustutusvesi .....	23
6	KÜTE JA VENTILATSIOON .....	24
6.1	Üldandmed .....	24
6.1.1	Projekteerimistöo piiritletus .....	24
6.1.2	Alusdokumendid .....	24
6.2	Välisõhu arvutuslikud parameetrid .....	24
6.2.1	Talvised arvutuslikud välisõhu parameetrid .....	24
6.2.2	Suvised arvutuslikud välisõhu parameetrid .....	24
6.2.3	Sisekliima parameetrid .....	24
6.3	Projekteeritav küttesüsteem .....	25
6.4	Projekteeritav ventilatsioonisüsteem .....	25
7	KESKONNAKAITSE .....	26
8	TERVISEKAITSE .....	27
8.1	Kasutatud tervisekaitsenormide loetelu .....	27
8.2	Müra minimaliseerimine .....	27
8.3	Piirdekonstruktsioonide mürapidavus .....	27
9	VEEVARUSTUS JA KANALISATSIOON .....	28
9.1	Projekteerimisel kasutatud normdokumendid .....	28
9.2	Olemasolev .....	28
10	SADEVEEKANALISATSIOON .....	29
11	EHITUSE ORGANISEERIMISE LAHENDUS .....	29
12	ELEKTRIVARUSTUS .....	29
12.1	Üldist .....	29
12.2	Normdokumendid .....	29
12.3	Tehnilised põhiaandmed .....	30

12.4	Nõuded elektritöötajale .....	30
12.5	Välistrassid .....	30
12.6	Üksikelamu elektripaigaldis.....	31
12.7	Jõuseadmete elektrivarustus.....	32
12.7.1	KVVK seadmete elektrivarustus.....	32
12.7.2	Elektritoite ühendussüsteemid .....	32
12.7.3	Valgustussüsteemid.....	33
13	NÕRKVOOL.....	33

## Joonised:

01	1. korruse põhiplaan	M 1:75
02	2. korruse põhiplaan	M 1:75
03	Keldri põhiplaan	M 1:75
04	Lõige	M 1:75
05	Katuseplaan	M 1:75
06	Vaated	M 1:100
07	Sokkel-välissein-põrand ühendussõlm	M 1:5
08	Välissein-katus-vahelagi ühendussõlm	M 1:10
09	Korstna läbiviik katusest	M 1:10

# 1 ÜLDOSA

## 1.1 Seletuskirja ülesehitus

Käesolev seletuskiri on koostatud Tartu maakonnas Nõo vallas Vissi külas Veskitamme väikekoht 5 krundile hoone rekonstrueerimisprojekti jaoks ning koosneb asjakohastest peatükkidest.

Seletuskiri sisaldab andmeid, mis hõlmavad arhitektuuri, osaliselt konstruktsioone ning seda, mida on otstarbekas ja võimalik määrata. Projekt on koostatud vastavalt Tellija ülesandele ja soovidele ning on kooskõlas Eesti Vabariigis kehtivate projekteerimismäärustega ning Majandus- ja taristuministri 21.07.2015 aasta määrusega nr. 97 – Nõuded ehitusprojektile. Projekti koostamise aluseks on inventariseerimisjoonised, olemasolevas hoones teostatud õhulekkeuuring, termograafia ning tellija lähteülesanne.

## 1.2 Üldandmed

### 1.2.1 Ehitise asukoht

Hoone asub Tartu maakonnas Nõo vallas Vissi külas Veskitamme väikekohas. Krundi katastritunnus 52801:003:0025 on ning krundi suuruseks on 2207 m<sup>2</sup>.

### 1.2.2 Ehitise lühikirjeldus

Rekonstrueeritav hoone on viilkatusega kahekorruseline elamu. Olemasoleva hoone ehitusalune pind on 98,1 m<sup>2</sup>. Kandvateks konstruktsioonideks välisseintes puitkarkass, vundament 300 mm raudbetoonplokkidest, sokli kõrgus 800 mm. Hoonel on täiskelder. Katusekandekonstruktsiooniks puittalad.

### 1.2.3 Projekteerija

Projekti koostajaks on Triinu Bergmann (diplomeeritud ehitusinsener, tase 7a). Projekti kontrollis Marko Otsus (diplomeeritud ehitusinsener, tase 8).

## 1.3 Alusdokumendid

### 1.3.1 Lähteandmed

Eelprojekti koostamise aluseks olid järgnevad lähteandmed:

- Tellija lähteülesanne
- Inventariseerimisjoonised
- Õhulekeuring
- Termograafia

## **2 ASENDIPLAAN**

### **2.1 Üldandmed**

#### **2.1.1 Projekteerimistöö piiritlus**

Hoone projekteerimisel on lähtunud olemasoleva hoone gabariitidest ja tellija soovist.

#### **2.1.2 Alusdokumendid**

Asendiplaani puudub. Alal ei ole kunagi teostatud geo-mõõdistust ega omavalitsuse poolt koostatud detailplaneeringut. Rekonstrueerimisprojekti tööde ulatuses ei ole asendiplaani olemasolu vajalik.

### **2.2 Olemasolev**

#### **2.2.1 Paiknemine**

Hoone asub krundi idapoolses osas, põhja-lõuna suunal on hoone krundi keskel. Hooneni viib omal krundil asuv kruusatee.

#### **2.2.2 Olemasolevad hooned ja rajatised**

Krundi suurus on 2207 m<sup>2</sup>. Krundil asub eluhoone, mille ehitusalune pind on 98,1 m<sup>2</sup> ning üks abihoone, mille ehitusalune pind on 24 m<sup>2</sup>.

#### **2.2.3 Olemasolev reljeef**

Krunt on tasase reljeefiga.

#### **2.2.4 Olemasolev kõrghaljastus**

Krundil paiknevad vilja- ja okaspuud, krundi läänepoolses osas on kõrged männid ja parkmets. Ehitustest ja rajatistest vaba ala on haljastatud muruga ning lisaks on mitmeid istutusalasid.

#### **2.2.5 Olemasolevad tänavad, juurdesõiduteed ja kõnniteed**

Sisse- ja väljasõit maa-alale on krundi idapoolsest küljest Veskitamme tänavale, mille teekatend on kruus. Tee kuulub krundi koosseisu, läbipääs tuleb tagada tänava järgmistele kruntidele. Lõuna ja põhja poolt on krunt piiritletud teiste kruntidega ning idapoolses küljes asub eramets.

#### **2.2.6 Krundi kitsendused ja kaitsealused objektid**

Krundil puuduvad kitsendused või kaitsealused objektid.

#### **2.2.7 Krundi pinnase omadused**

Käesolev projekt ei käsitle.

## **2.3 Asendiplaanilahendus**

### **2.3.1 Hoone paigutus**

Elamu asub krundi lääneosas. Hoone asukoht ei muutu. Elamu ja vundamendi mõõtmed antud käesoleva projektiga.

### **2.3.2 Ehitusetapid**

Eeldatakse, et ehitus käib ühes etapis, vajadusel täpsustatakse ehitustööde käigus.

## **2.4 Vertikaalplaneering**

### **2.4.1 Vertikaalplaneerimise lahenduse lähteandmed**

Krundi vertikaalplaneering ei muutu. Sokli soojustamiseks kaevatakse vundament lahti, selle järel toimub tagasitäide eelneva olukorra järgi.

### **2.4.2 Hoone paiknemiskõrgus**

Hoone +0.00 jääb paika. Harja kõrgus maapinnast 6,88 m.

### **2.4.3 Sademevee käitlemine**

Projektiga ei muudeta vertikaalplaneeringut ja sadevee äravoolu, säilib olemasolev olukord. Sademeveed immutatakse pinnasesse. Kõik täiendavad muudatused vee ümbersuunamisel tehakse vajadusel hoone omaniku kinnistul. Seejuures ei tohi sademevett juhtida ümberkaudsetele kruntidele.

## **2.5 Krundisisene liikluskorraldus ja parkimine**

### **2.5.1 Liikluskorraldus ja parkimine krundil**

Parkimine on lahendatud omal krundil. Liikluskorraldus puudub.

### **2.5.2 Parkimine**

Parkimine teostatakse krundi piirides kinnistule sissesõiduteel ehk olemasolevat korraldust ei muudeta.

## **2.6 Teed ja platsid**

Juurdesõitu krundile ei muudeta. Sissesõit on krundi läänepoolses osas ning parkimine lahendatud omal krundil.

## **2.7 Haljastus ja heakorrastus**

### **2.7.1 Olemasolev, säilitatav haljastus**

Olemasolev plats on heakorrastatud elamu krunt. Krundil paiknevad vilja- ja okaspuud, lisaks erinevad ilutaimed istutuslalades. Ehitistest ja rajatistest vaba ala on haljastatud

muruga. Kõrghaljastuse saab säilitada täielikult. Kõik ehitust segavad ilutaimed eemaldatakse vajalikul määral.

### **2.7.2 Projekteeritud haljastus**

Käesoleva projekti raames ei käsitleta.

### **2.7.3 Väikeehitised ja -vormid**

Puuduvad.

### **2.7.4 Piirded ja väravad**

Kinnistu on piiratud ca 3 m kõrguse hekiga. Tööga uut hekki ega piirdeaedu ei rajata.

### **2.7.5 Jäätmekäitlus**

Jäätmekäitluseks on kavandatud teisaldatav prügikonteiner, mis prügiveo päeval asetatakse krundi idapoolses osas asuva sissesõidutee äärde. Ülejäänud ajal paikneb konteiner hoone loodenurgas.

## **2.8 Välisvalgustus**

Hoonest eraldiseisvat välisvalgustus hetkeolukorras ei ole ning seda ei rajata. Hoone küljes olev välisvalgustus lahendatakse elektriprojektiga.

## **2.9 Maa-ala tehnilised andmed**

Krundi pind	2207 m <sup>2</sup>
Ehitusalune pind	122,1 m <sup>2</sup> (98,1 m <sup>2</sup> eluhoone + 24 m <sup>2</sup> abihoone)
Krundi täisehituse %	5,5 %



## **3 ARHITEKTUUR**

### **3.1 Üldandmed**

#### **3.1.1 Projekteerimistöö piiritlus**

Arhitektuuri osa hõlmab hoone põhiplaane, vaateid koos lõikega, katuseplaani ja vundamendi plaani.

#### **3.1.2 Alusdokumendid**

Lähteandmeteks projekti koostamiseks on tellija lähteülesanne ning kehtivad asjakohased ehitusnormid ja projekteerimisstandardid. Lisaks on hoones teostatus õhulekkeuring ning termograafia, mida hoone rekonstrueerimise projekteerimisel arvesse võetakse.

#### **3.1.3 Normdokumendid**

- Siseministri määrus nr 17, 30.03.2017 (redaktsiooni 03.12.2018) – Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele.
- Majandus- ja taristusministri määrus nr 97, 17.07.2015 – Nõuded ehitusprojektile
- Ettevõtlus- ja infotehnoloogiainistri määrus nr 63, 01.01.2019 (redaktsioon 25.08.2019) – Hoone energiatõhususe miinimumnõuded
- EVS 812-2:2014/AC:2018 – Ehitiste tuleohutus. Osa 2: Ventilatsioonisüsteemid
- EVS 812-3:2018 – Ehitiste tuleohutus. Osa 3: Küttesüsteemid
- EVS 812-6:2012/A2:2017 – Ehitiste tuleohutus. Osa 6: Tuletõrje veevarustus.
- Majandus- ja kommunikatsioonimistri määrus nr 49, 26.07.2013 (redaktsioon 22.02.2019) – Ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord

### **3.2 Olemasolev**

Krundil paikneva elamu välisviimistlus on voodrilaud ja värv.

### **3.3 Arhitektuuri üldlahendus**

#### **3.3.1 Hoone paiknemine, planeeringu piirangud**

Rekonstrueeritav hoone paikneb põhja- ja lõunapoolsest krundipiirist vastavalt 7,9 m ja 14,2 m kaugusel. Majast krundil paikneva Veskitamme teeni on 10 m. Hoone asukoht või ehitusalune pind jäävad pärast rekonstrueerimistööde lõppu samaks.

#### **3.3.2 Hoone ehitusetapid ja laiendamise võimalused**

Eeldatakse, et ehitus käib ühes etapis, vajadusel täpsustatakse ehitustööde käigus.

### **3.3.3 Hoone arhitektuurne üldkontseptsioon**

Hoone piirdetarindid lammutatakse selliselt, et lammutustööde lõpuks jääb järele hoone vundament, kandvad konstruktsioonid (puitkarkass, sarikad, vahelaetalad, õõnespaneelid, telliskivist seinad), mitteandvad siseseinad, siseuksed, trepp teisele korrusele ja korstnad koos soojamüüri. Hoone planeeringus muutust ei toimu. Arhitektuurne välisilme on pärast rekonstrueerimistööde lõppu sarnane olemasolevaga, muudetakse vaid voodrilaua ning avatäidete värvi. Hoone lõunaküljes on terrass ning põhjaküljes hoonesse ligipääsu tagamiseks röödud koos ühise trepiga.

### **3.3.4 Energiatõhusus ja sisekliima**

Kõik piirdetarindid on valitud  $ETA \leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ehk „A“ energiaklassi saavutamiseks. (vt pt. 10)

### **3.3.5 Hoone ruumid**

Elamus asub esik, WC, köök, eesruum, pesuruum, leiliruum, elu- ja söögituba, 2 magamistuba ja magamistuba-kontor.

### **3.3.6 Liikumis-, nägemis- ja kuulmispuudega inimeste liikumisvõimalused**

Käesolev projekt ei käsitle.

## **3.4 Hoone konstruktsioonid ja pinnakatted**

Ehitustööde maksumuse määramisel lähtuda üheaegselt nii joonistest kui ka tööseletusest. Kui käesolev tööseletus või joonised ei võimalda täpselt määrata mõnd ehituslikku teostatavust või kui nende vahel ilmnevad vastuolud, peab töövõtja enne tööde teostamist hankima täiendavat informatsiooni projekterijalt või tellijalt. Ehitustööd teostada vastavalt Eesti Vabariigis kehtivatele tulekaitse, tervisekaitse ning ehitustööde teostamise normatiividele. Ehitustööde kvaliteet peab vastama RYL 2000 nõuetele.

Ehituse käigus tekkinud probleemid lahendatakse eraldi töövõtulepinguga garantiitööde käigus koostöös ehitaja, projekterija ja elamu omanikuga.

### **3.4.1 Vundament**

Olemasolevat raudbetoonist vundamendi põhiplaani ei muudeta. Vundament kaevatakse lahti, et paigaldada uus hüdroisolatsioon ning sokkel soojustada. Soojustuseks kasutatakse Styrofoam 250 SL-A-N 100 mm ja sama toote 50 mm, kokku 150 mm soojustus soklile. Soojustus kaetakse 5 mm õhekrohvi kihiga.

### 3.4.2 Põrand

Eluruumi põrand asub kütmata keldri kohal. Uue projekteeritud põranda ülevallt-alla kihid on järgmised:

1	Puitparkett	14 mm
2	Alusakte	1 mm
3	Veekindel vineer	22 mm
4	Põrandalaagid 50 x 150 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	150 mm
5	Õõnespaneel	220 mm
6	Vahtpolüstereen EPS 60	200 mm

Vanast olemasolevast konstruktsioonist jäävad alles õõnespaneelid.

### 3.4.3 Vertikaalsed ja horisontaalsed kandekonstruktsioonid

Vertikaalsed kandekonstruktsioonid on vundamendis RB-plokk 300 mm, välisseintes puitkarkass 150 mm laiusega ja katusel sarikad 200 mm laiusega. Horisontaalsed kandekonstruktsioonid on õõnespaneelid 220 mm paksusega keldri ja eluruumi vahel ning puittalad 200 mm paksusega vahelaes.

### 3.4.4 Katus

Hoone uus projekteeritud katusekonstruktsioon väljast sisse on:

1	Eterniitplaat Eternit Klassik	6...40 mm
2	Roovitus 50 x 50 mm	50 mm
3	Distantслиist 22 x 50 mm	22 mm
4	Aluskate Masterfol	1,5 mm
5	Distantслиist 50 x 50 mm	50 mm
6	Tuuletõke Isover RKL Facade	75 mm
7	Sarikad 50 x 200 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	200 mm
8	Õhutõkkemembraan	1 mm
9	Roovitus 50 x 100 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33	50 mm
10	Õhu- ja aurutõkkemembraan	1 mm
11	OSB-plaat, liitekohad teibitud	22 mm

12 Kipsplaat 12 mm

Vanast olemasolevast konstruktsioonist jäävad alles sarikad. Lammutuse käigus välja tulnud konstruktsiooni püsivust ohustavad kohad sarikates tuleb kõrvaldada, eelnevalt konsulteerides projekteerija ja hoone omanikuga.

### 3.4.5 Välisseinad

Hoone uus projekteeritud välisseinte konstruktsioon väljast sisse on:

1	Voodrilaudis	22 mm
2	Horisontaalne distantssliist 22 x 50 mm	22 mm
3	Vertikaalne distantssliist 22 x 50 mm	22 mm
4	Tuuletõke Isover RKL Facade	100 mm
5	Roovitus 50 x 50 mm, vahel Isover Premium 33	50 mm
6	Hõre laudis	22 mm
7	Puitkarkass 50 x 150 mm, sammuga 600 mm vahel mineraalvill Isover Premium 33	150 mm
8	Aurutõke	1 mm
9	OSB – plaat, liitekohad teibitud	22 mm
10	Kipsplaat	12 mm

Olemasolevast konstruktsioonist jääb alles kogu puitkarkass. Lammutuse käigus ilmnenud konstruktsiooni püsivust ohustavad kohad tuleb kõrvaldada, eelnevalt konsulteerides projekteerija ja hoone omanikuga.

### 3.4.6 Siseseinad

Siseseinad säilitatakse. Tööde käigus ette tulnud kahjustused siseseintele tuleb kõrvaldada.

Ainus muutus siseseintes on majandusruumi seinad, mis moodustavad tuletõkketsooni. Seinte tulepüsivus peab olema EI60 ning avatäidete tulepüsivus EI30.

### 3.4.7 Avatäited

Ehitise aknad ja ukсед valitakse võttes arvesse energiatõhusust, soovitud energiatõhususklassi ja looduslikku valgustust. Akente omadused on välja toodud akente spetsifikatsioonis ning tootja poolsetes joonistes. Avatäited peavad vastama liginullenergiahoone energiatõhususe piirmääradele  $U \leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 3.5 Hoone tehnilised andmed

Ehitusalune pind	98,1 m <sup>2</sup>
Maapealse osa alune pind	98,1 m <sup>2</sup>
Maapealsete korruste arv	2
Hoone kõrgus	6,29 m
Hoone pikkus	15,1 m
Hoone laius	6,7 m
Hoone köetav pindala	116 m <sup>2</sup>
Suletud netopind	121,5 m <sup>2</sup>
Maapealse osa maht	310,7 m <sup>3</sup>
Tehnopind	76,4 m <sup>2</sup>
Tubade arv	4
Tulepüsivusklass	TP-3

## **4 KONSTRUKTSIOONID**

### **4.1 Üldandmed**

#### **4.1.1 Projekteerimistöö piiritus**

Selles peatükis määratletud koormused on ligikaudsed ning vajavad täpsustust ehituskonstruktiiivses osas.

#### **4.1.2 Alusdokumendid**

Ehituskonstruksioonide projekteerimisel lähtutakse alljärgnevatest seadustest ja normdokumentidest:

- Ehitusseadustik (vastu võetud 11.02.2015, hetkel kehtiv redaktsioon 01.01.2020)
- EVS 932:2017 – Ehitusprojekt
- EVS-EN 1990:2002/AC:2006/AC:2010 – Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused
- EVS-EN 1991-1-1:2002/AC:2009 - Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused . Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused
- EVS-EN 1991-1-2:2004/AC:2013 - Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-2: Üldkoormused. Tulekahjukoormus
- EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 - Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus
- EVS-EN 1991-1-4:2005/A1:2010+A1:2010/NA:2010 - Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus

### **4.2 Tehnilised põhinõuded hoone kandekonstruksioonidele**

#### **4.2.1 Projekteeritud kasutusiga**

Kuna ei ole teisiti kokku lepitud, siis loetakse EVS-EN 1990:2002 kohaselt kandekonstruksioonide kasutusea kategooriaks klass 4 (hooned ja muud sarnased kandekonstruksioonid) kasutuseaga 50 aastat.

#### **4.2.2 Tagajärgede- ja töökindlusklass**

Standardi EVS-EN 1990:2002 kohaselt töökindluse eristamise eesmärgil on eluhoone kandekonstruksioonid määratletud tagajärgedega klassiks CC1.

### 4.2.3 Järelevalvetase

Standardi EVS-EN 1990:2002 kohaselt on järelevalve tase IL3 ehk teostatakse suurendatud järelevalvet: kolmanda poole järelevalve.

### 4.2.4 Koormused

#### 4.2.4.1 Kasuskoormused, tehnoloogilised ja seadmete koormused

Vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-2:2002 liigitatakse uusehitus või oluline rekonstrueerimine järgmisse kasutusklassi:

- Klass A –  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ ,  $Q_k = 2,0 \text{ kN}$

Horisontaalse koormuse klassid rinnatisele ja barjäärile on sama standardi järgi:

- Klass A –  $q_k = 0,5 \text{ kN/m}$  (rinnatise ja barjääri kõrgus kuni 1,2 m)

Koormuse osavarutegur  $\gamma_Q = 1,5$

#### 4.2.4.2 Lumekoormus

Vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016 on:

- normatiivne lumekoormus maapinnal  $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$
- katuse lumekoormuse kujutegur  $\mu_2 = (60^\circ - \alpha)/30 = 0,53$
- koormuse osavarutegur  $\gamma_Q = 1,5$ .

Lumekoormused ja -kotid arvutatakse vastavalt eeltoodu standardile.

#### 4.2.4.3 Tuulekoormus

Tuulest tulenevad koormused vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2005/A1:2010+A1:2010/NA:2010 on:

- Tuule baaskiiruse väärtus  $v_b = 21,0 \text{ m/s}$
- keskmine tuule baaskiirusrõhk  $q_b = 0,618 \text{ kN/m}^2$
- maastiku tüüp II
- Koormuse osavarutegur  $\gamma_Q = 1,5$

#### 4.2.4.4 Muud koormused

Omakaalukoormused on leitud vastavalt projekteeritud konstruktsioonidele ning tehniliste seadmete kaaludele. Alalise koormuse osavarutegur  $\gamma_Q = 1,2$ .

### 4.2.5 Pinnasevesi

Käesolevas projektis ei käsitleta.

### 4.2.6 Vundament

Raudbetoonplokkidest monolitiseeritud vundament.

## **4.3 Maapealsed konstruktsioonid**

### **4.3.1 Kandvad ja jäigastavad konstruktsioonid.**

Kirjeldatud p. 3.4.



## 5 TULEOHUTUS

### 5.1 Projekteerimistöö piiritus

Tuleohutuse osa hõlmab püstitava hoone konstruktsioonide tuleohutust.

### 5.2 Alusdokumendid

Tuleohutusosa koostamisel on lähtutud:

- Tuleohutuse seadus (vastu võetud 05.05.2010, hetkel kehtiv redaktsioon 01.01.2019)
- Siseministri määrus nr 17 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded ja nõuded tuletõrje veevarustusele“ (vastu võetud 30.03.2017, hetkel kehtiv reaktsioon 03.12.2018)
- Majandus- ja taristusministri määrus nr 97 „Nõuded ehitusprojektile“ (vastu võetud 17.07.2015)
- EVS 812-7:2018 „Ehitiste tuleohutus. Osa 7: Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded“
- EVS 812-3:2018 „Ehitiste tuleohutus. Osa 3: Küttesüsteemid“
- EVS 812-2:2014 „Ehitiste tuleohutus. Osa 2: Ventilatsioonisüsteemid“
- EVS 812-6:2012 „Ehitiste tuleohutus. Osa 6: Tuletõrje veevarustus“

### 5.3 Tuleohutusklass, kasutusviis ja kasutusotstarve

- Tulepüsivusklass TP3: nõudeid kandetarindite tulepüsivusele ei ole;
- Ehitise tuleohutusest tulenev ehitise liigitus: I kasutusviis;
- Tuletõkkekonstruktsioonide tulepüsivusaeg: EI30;
- Hoone korruste arv: 2
- Tuletundlikkus:
  - seinad ja lagi: D-s2, d2
  - põrand: -
  - välisseina välispind: D-s2, d2 (avade ümber B-s1, d0)
  - katusekate Broof(t2)

### 5.4 Tuleohutuse tagamise põhimõtted

#### 5.4.1 Tuleohutuskujad

Põhjapoolsel ja lõunapoolsel naaberkinnistul asuvad hooned on vastavalt 11,6 m ja 16,1 m kaugusel. Hoone kõikidest külgedest on tuleohutuskujad tagatud.

#### 5.4.2 Kande- ja tuletõkkekonstruktsioonide tulepüsivusajad

Kandekonstruktsioonide tulepüsivust ei normeerita (TP-3 hoone).

### **5.4.3 Põlemiskoormus**

Hoone põlemiskoormus jääb alla 600 MJ/m<sup>2</sup>.

## **5.5 Tuletõkkeseptsioonid, tulepüsivus**

Tuletõkkesoonina moodustatakse tehnoruumina kasutuses olev kelder. Keldri seinad ja lagi on raudbetoonist tulepüsivusega EI60 ja pääs keldrisse läbi majandusruumi, mille avatäited on tulepüsivusega EI30.

## **5.6 Evakuatsioonilahendus**

### **5.6.1 Maksimaalne inimeste arv**

Reeglina viibi hoones 2 inimest.

### **5.6.2 Evakuatsiooniteed**

Evakuatsioon toimub välisuste kaudu.

### **5.6.3 Pääsud keldrisse, pööningule ja katusele**

Pääs keldrisse toimub läbi majandusruumi, kuhu omakorda pääseb nii hoone seest kui ka väljast.

Pööning on kasutuses eluruumina ning sinna pääseb läbi trepi hoone sees või vajadusel läbi hoone ostes olevate suurte akende.

Katusele pääseb läbi kahe katuseakna.

## **5.7 Tuleohutuspaigaldised**

### **5.7.1 Automaatne tulekahjusignalisatsioon**

Hoones asub vähemalt 3 autonoomsest suitsuandurit.

### **5.7.2 Suitsueemaldamine**

Käsitsi avatavate akende abil.

### **5.7.3 Tulekustutid**

Puudub.

## **5.8 Tehnosüsteemide tuleohutus**

Saunas puuküttel saunakeris ning köögis puuküttel pliit. Mõlemad küttekolled ühendatud olemasoleva korstnaga. Küttekolled ja sellega ühendatud suitsulõõrid, sh. korsten, peab olema hoone muudest tarinditest soojuslikult isoleeritud. Küttekolled või selle osad ei või olla hoone kandetarindiks. Korstna välispind eraldatakse põlevatest ehituslikest konstruktsioonidest läbiminekul vahelaest ja katuslaest ning vaheseinast vähemalt 100

mm kivivillast katikuga, kasutatava kivivilla tihedus keskmiselt  $100 \text{ kg/m}^3$ , maksimaalne kasutustemperatuur suurem kui  $600^\circ\text{C}$ .

Küttekolded ja nende ohutuskujad peavad vastama EVS 812-3:2018 standardile. Köögis asuva pliidi koldeukse ette rajatakse tulekindel põrandakate, mis peab ulatuma koldesuust eemale 50 cm ja küttekolde külgedele 20 cm. Sauna kerisele nähakse ette kiirgusekraan 1,2 m.

## **5.9 Päästemeeskonna juurdepääs ehitisele**

Juurdepääs kinnistule tagatud Veskitamme tee kaudu, juurdesõidu tee laius on piisav ühe tuletõrjeauto juurdesõiduks ning ei takista evakuatsiooni.

## **5.10 Väline tulekustutusvesi**

Lahendatud krundi läheduses asuva jõega, milleni kaugus on 75 m.

## 6 KÜTE JA VENTILATSIOON

### 6.1 Üldandmed

#### 6.1.1 Projekteerimistöö piiritus

Kütte- ja ventilatsioonisüsteemide erinevate elementide tööiga on 15-50 aastat. KV süsteemide elementide tööea määrab tootja.

#### 6.1.2 Alusdokumendid

Tehnosüsteemid ja nende paigaldus peavad vastama üldistele kvaliteedinõuetele ja toote valmistaja poolt toodetele kaasaantavatele paigaldusjuhenditele.

### 6.2 Välisõhu arvutuslikud parameetrid

#### 6.2.1 Talvised arvutuslikud välisõhu parameetrid

Arvutuslik talvine välisõhutemperatuur on -23 °C.

#### 6.2.2 Suvised arvutuslikud välisõhu parameetrid

Arvutuslik õhutemperatuur +21 °C.

#### 6.2.3 Sisekliima parameetrid

Ruumide sisetemperatuurid, niiskus ja müra valitakse vastavalt sisekliima normidele ja tehnoloogiale.

Ruum	Sisetemperatuur	Suhteline õhuniiskus RH	Müratase
Magamistuba	+21 °C	50%/90%	≤30 dB(A)
Elutuba	+21 °C	50%/90%	≤35 dB(A)
Köök	+21 °C	50%/90%	≤35 dB(A)
Esik	+21 °C	50%/90%	≤35 dB(A)
Kontor	+21 °C	50%/90%	≤35 dB(A)
Vannituba	+22 °C	50%/90%	≤35 dB(A)
WC	+21 °C	50%/90%	≤40 dB(A)

### **6.3 Projekteeritav küttesüsteem**

Üksikelamu küttesüsteem on lokaalne. Olemasolev haluküttel toimiv keskküttekatel kogu sinna juurde kuuluvaga säilitatakse ning rekonstrueerimise käigus välisseintelt eemaldatud radiaatorid paigaldatakse oma endistele kohtadele tagasi.

### **6.4 Projekteeritav ventilatsioonisüsteem**

Eramu ventilatsioonisüsteemina nähakse ette soojustagastiga ventilatsioonisüsteemi, ventilatsiooniagregaadi soojustagastus vähemalt 85%.

Ventilatsiooni seadmed paigutatakse keldrisse.

Ventilatsiooni torustik paigutatakse vahelae talade vahele ning vajadusel pinnapealne torustik. Torud tuleb isoleerida ka hoone sees, et vähendada müra.

## **7 KESKONNAKAITSE**

Hoone rekonstrueerimisega ei kaasne keskkonna ega õhukaitse halvenemine. Samuti ei halvene keskkond hoone kasutamisel.

Rekonstrueerimine ei ohusta põhja ja pinnavett, sest puuduvad ohtlikud kemikaalid ja ained. Hoone tarbevesi saadakse krundil olevatest kaevust, mis jääb hoonest piisavasse kaugusesse. Sadevesi immutatakse territooriumil.

## **8 TERVISEKAITSE**

### **8.1 Kasutatud tervisekaitseenormide loetelu**

- EVS 842:2003 „Ehitise Heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest“;
- Sotsiaalministri määrus nr 42 (välja antud 04.03.2002, hetkel kehtiv redaktsioon 11.02.2017) “Müra normtasemed elu- ja puhkealadel, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid”.

### **8.2 Müra minimaliseerimine**

Tehnoseadmetest tekkiv müra piirväärtus ei tohi ületada päeval 40 dB ja öösel 30 dB. Tualettruumide ja magamisruumide vaheliste seinte ja vahelagede õhumüra isolatsioonindeks peab olema suurem kui 49 db.

### **8.3 Piirdekonstruktsioonide mürapidavus**

Heliisolatsiooninõuded vastavalt sotsiaalministri 4. märts 2002. aasta määrusele nr.42:

- Heliisolatsiooninõuded sisepiiretele üldjuhul  $R'_w = 43\text{dB}$ .
- Uksed või ustekompleks  $R'_w = 35\text{ dB}$ .
- Heliisolatsiooninõuded välispiiretele  $R'_w=30\text{ dB}$ .

## **9 VEEVARUSTUS JA KANALISATSIOON**

### **9.1 Projekteerimisel kasutatud normdokumendid**

- EVS 835:2014 „Hoone veevärk“;
- EVS 846:2013 „Hoone kanalisatsioon“;
- EVS 848:2013 „Väliskanaliseerimisvõrk“;
- EVS 921:2014 „Veevarustuse välisvõrk“.

### **9.2 Olemasolev**

Krundil on olemas kaev, millest tuleb hoonesse tarbevesi. Kaev ning veevarustussüsteem säilitatakse.

Kanaliseerimine on lahendatud lokaalse kogumiskaevuga ning imbeväljakuga krundil. Olemasolev süsteem säilitatakse.



## **10 SADEVEEKANALISATSIOON**

Sadevesi hajutatakse kinnistule, rajatakse drenaaž.

## **11 E HITUSE ORGANISEERIMISE LAHENDUS**

Tööd ehitusplatsil korraldatakse nii, et oleks tagatud ohutu läbipääs elanikele ning keskkonna ohutus. Ehitamise ajaks paigaldatakse piire ohumärkidega.

Tööd viiakse läbi ohutustehnika reeglite ja Eesti Vabariigis kehtivate normatiivide järgi. Peale ehitustööde lõppu tuleb taastada ehituseelne olukord. Eemaldada ehituspraht ja kõik ajutised tarindid kõrvaldada.

## **12 ELEKTRIVARUSTUS**

### **12.1 Üldist**

Käesolevas elektripaigaldises on elektriohutuse tagamiseks rakendatud järgmised kaitseviisid:

- Põhikaitsena (otsepuutekaitse) – põhiisolatsiooni ohtlikke pingestatud osade ja pingealdiste juhtivate osade vahel ning kaitsekatete ja kaitseümbriste kasutamist;
- Rikkekaitsena (kaudpuutekaitse) – toite automaatset väljalülitamist koos maandatud potentsiaaliühtlustussüsteemi väljaehitamisega, millega tagatakse elektripaigaldise pingealtide juhtivate osade arvestuslik puutepinge alla 50 V.
- Lisakaitsena (ohutu suurendavate ümbrusolude jms. korral) – rikkevoolukaitset, nimirakendusvooluga mitte üle 30 mA.

Hoone kavandatud tööiga (tarindid, kasutatavad tooted ja materjalid) kuuluvad klassi D – kestvus vähemalt 50 aastat. Tehnosüsteemide kavandatud töö- ja kasutusiga on vähemalt 20 aastat.

### **12.2 Normdokumendid**

Projekti koostamisel on lähtutud järgmistest dokumentidest:

- Majandus- ja taristusministri määrus nr 97, 17.07.2015 – Nõuded ehitusprojektile
- Ehitusseadustik (vastu võetud 11.02.2015, hetkel kehtiv redaktsioon 01.01.2020)
- Seadme ohutuse seadus (vastu võetud 18.02.2015, hetkel kehtiv redaktsioon 15.03.2019)
- EVS 932:2017 – Ehitusprojekt
- EVS-HD 60364-4-41:2017+A12:2019 - Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-41: Kaitseviisid. Kaitse elektrilöögi eest

- EVS-HD 60364-8-1:2019 - Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 8-1: Talitluslikud aspektid. Energiatõhusus.
- EVS-HD 60364-4-42:2011/A1:2015 - Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-42: Kaitseviisid. Kaitse kuumustoime eest
- EVS-HD 60364-4-43:2010 - Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4-43: Kaitseviisid. Liigvoolukaitse
- EVS-HD 60364-5-54:2011+A11:2017 - Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-54: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Maandamine ja kaitsejuhid
- EVS-EN 50110-1:2013 - Elektripaigaldiste käit. Osa 1: Üldnõuded
- EVS-EN 12665:2018 - Valgus ja valgustus. Põhioskussõnad ja valgustusnõuete valiku alused

### 12.3 Tehnilised põhiandmed

Liitumispunkti andmed	Olemasolev liitumiskilp krundi piiril
Liitumiskilbi peakaitse	3X10 A
Toitepinge	~3N 230/400V, 50 Hz
Elektripaigaldise liik	III
Tarbitav võimsus	max 16 kW
Juhistikusüsteem	TN-C-S

### 12.4 Nõuded elektritöötajale

Elektritöövõtja peab omama tööde teostamisõigust B-pädevuspiirkonnas (enimalt 1000V nimipingega vahelduvvoolupaigaldis). elektri

Elektritöövõtja peab olema registreeritud majandustegevuse registris (MTR) elektritööde ettevõtjana, ta peab omama piisavalt pädevat personali tööde ohutuks ja õigeaegseks läbiviimiseks ja kontrolltoimingute korraldamiseks.

### 12.5 Välistrassid

Elamu saab toite Elektrilevi AS poolt paigaldatud liitumiskilbist, mis asub kinnistu piiril. Liitumiskilbi peakaitse on 3x25A. Kahetariifne arvestussüsteem asub Eesti Energia Asile kuuluvas liitumiskilbis. Elektrienergia arvestus toimub vastavalt liitumislepingule.

Olemasoleva kaabli asukoht Elamu toiteks ei ole täpselt teada. Tööde teostamiseks käigus tuleb see tuvastada ning taastada algne olukord. Olemasolevat kaablit välja ei vahetata.

Kaabli kohale pinnasesse paigaldada kogu pikkuses plastikust värviline hoiatuslint. Paigaldatud kaablist tuleb teha täpne teostusjoonis. Peale tööde lõppu taastada kaablitrassi pealiskiht vastavalt nende endisele kujule. Vundamendis tuleb teha mõned reservtorud võimalikele väljas asuvatele elektritarbijatele. Torude asukohad kooskõlastada Tellijaga.

## 12.6 Üksikelamu elektripaigaldis

Elamu peajaotuskilp PJK projekteeritakse keldrisse.

PJK valmistatakse TN-S maandussüsteemile, s.t. neid on nii N- kui ka PE-latt. Alates peajaotuskilbist kasutatakse elamus TN-S juhistiku süsteemi.

Kilp tehakse kaitseastmega IP3. Avatud ukse korral kaitseaste IP20.

Keskuse latistus ja aparaatuur peab olema vastupidav lühisvoolule vähemalt 6 kA. Väljuvate rühmaliinide kaitseaparatuuriks on kilpides 1- ja 3- faasilised kaitselülitid.

Elektritarvitite toiteliinid jagatakse faaside vahel nii, et oleks tagatud faaside koormuste võrdsus. Kilbi toiteliini voolude mõõtmised teostatakse faaside kaupa maksimaalkoormuse ajal ja vajaduse korral (kui koormuste erinevus on üle 10%) tehakse kilbis ümberühendused koormuste ühtlustamiseks. Keskuste siseküljel peab olema keskuse skeem, kõigil aparaatidel peavad olema selgelt loetavad tähised. Tähised ja skeem peavad olema valmistatud arvestusega, et ta oleks käidus vastupidav.

Hoone installatsioon teha peamiselt hoone konstruktsioonides peidetult. Horisontaalsed kaablid kulgevad 1 korruse põrandalaakide vahel ning teisel korrusel põrandatalade vahel. Betoonpõrandates köögis, esikus, saunas ja WC-s paigaldatakse kaablid kogu ulatuses plasttorusse või kõrisse. Vaheseintes paigaldatakse kaablid peidetuna hoone konstruktsioonidesse. Hoone kõik seadmed maandatakse projekteeritud maanduspaigaldise abil. Maandussüsteem tagab elektri- ja telekommunikatsiooniseadmete ohutu ja katkestusteta töö. Elektrisüsteem on varustatud maandus-, potentsiaaliühtlustus- ja mõnel juhul lisapotentsiaaliühtlustussüsteemiga.

Antud nõuded kehtivad nii elektripaigaldisele kui ka teisaldatavatele ja paiksetele seadmetele, mis hoonesse paigaldatakse, olenemata sellest kes nad tarnib.

Peapotentsiaaliühtlustuselatt paigaldatakse peajaotuskeskusse. Latid peavad sisaldama edaspidiste laienduse tarbeks 15% reservühenduspunkte. Kaitse- ja neutraaljuhi ühendus teostatakse peakeskuses. Kõik elektriseadmete isoleerimata juhtivad osad maandatakse kaitsejuhiga (PE), mis paikneb kaablis.

Potentsiaaliühtlustuslattidega tuleb ühendada järgnevad objektid:

- juhtivad vee ja kanalisatsioonitorud

- teised metallosad, mis on avatud  $>0,2\text{m}^2$
- käega katsutavad metallosad
- varjed
- nõrkvooluseadmete kapid

Kõik läbiviigid kuuluvad tihendamisele. Tuletõkke seintest läbiminekuks tihendatakse spetsiaalse tuldtõkestava seguga vastavalt tuletõkke püsivuse astmele. Kohtades, kus kaabel läbib seina, peab kaabel olema kaitstud jäiga hülsiga

## **12.7 Jõuseadmete elektrivarustus**

### **12.7.1 KVVK seadmete elektrivarustus**

KVVK- seadmete juhtimine toimub vastavalt vastava eriosa projektile. Süsteemide automaatika- ja reguleerimisseadmed, reguleerimise alakeskused, trafod, termostaadid, releed jne. hangib KVVK töövõtja, kes paigaldab, ühendab ja reguleerib seadmed. Elektritöövõtja paigaldab kaablid peajaotuskilbist kuni seadmete klemmikarpideni. Tehnoloogiliste seadmetega komplektis olevad kilbid paigaldatakse seadmetega kaasas olevate tehniliste dokumentatsioonide järgi.

Elamu kütteks on olemasolev keskküttekatel, mida ei vahetata välja.

Elamusse on ette nähtud sundtagastusega ventilatsioon. Ventilatsioonitorud jooksevad vahelae talade vahel, teise korruse katuselae ja põranda nurgas ning vajadusel ka mööda katuslage. Torud peavad müra vähendamise eesmärgil olema isoleeritud ka sisetingimustes ning vajadusel tuleb ka torud esteetika mõttes kinni katta.

### **12.7.2 Elektritoite ühendussüsteemid**

Elektrijuhtmestikud ehitatakse Cu-soontega plastisolatsiooni ja -kestaga kaablitega XPJ 2,5 mm<sup>2</sup>. Kaitstakse 16A automaatikakaitseülilititega. Pistikupesade paigalduskõrgus on 0.2 m põrandast, kui plaanjoonistel ei ole märgitud teisiti.

Kõik pistikupesade rühmad sh tavakasutaja pistikupesade rühmad varustatakse rikkevoolukaitseülilititega rakendusvooluga alla 30 mA. Suure niiskusega ruumides peavad pistikupesad olema kaitseastmega mitte vähem kui IP44. Pistikupesade paigaldamisel vältida pistikupesade paigaldamist teine-teisel pool seina kohakuti, et vältida seinte helipidavuse vähenemist.

Pistikupesade margid valib töövõtja koostöös tellijaga. Pistikupesade valimisel valida maanduskontaktiga pinnapealsed ja süvistatud pistikupesasid.

### **12.7.3 Valgustussüsteemid**

Projektis tuuakse valgustite tehnilised parameetrid. Täpse valgustite tüübi valib Tellija. Üldjuhul ruumide valgustuseks kasutada LED-valgusteid. Paigaldatavad valgustid peavad olema projekteeritud valgustitega sarnaste valgustus-, konstruktsiooni- ja korrosioonikaitseomadustega. Valgustite paigaldamisel järgida tootja tehnoloogilist juhendit.

Valgustuse rühmaliinid ehitatakse kaabliga XPJ 1,5 mm<sup>2</sup>. Kaitstakse 10A nimivooluga automaatikaitseülilitega. Kõik liinid paigaldatakse paralleelselt ehituskonstruktsioonidega, Lülitid paigaldatakse ukse käepideme poolsele küljele. Üldjuhul lülite paigalduskõrgus on 1,0 m põrandast.

Nõutud valgustite kaitseastmed:

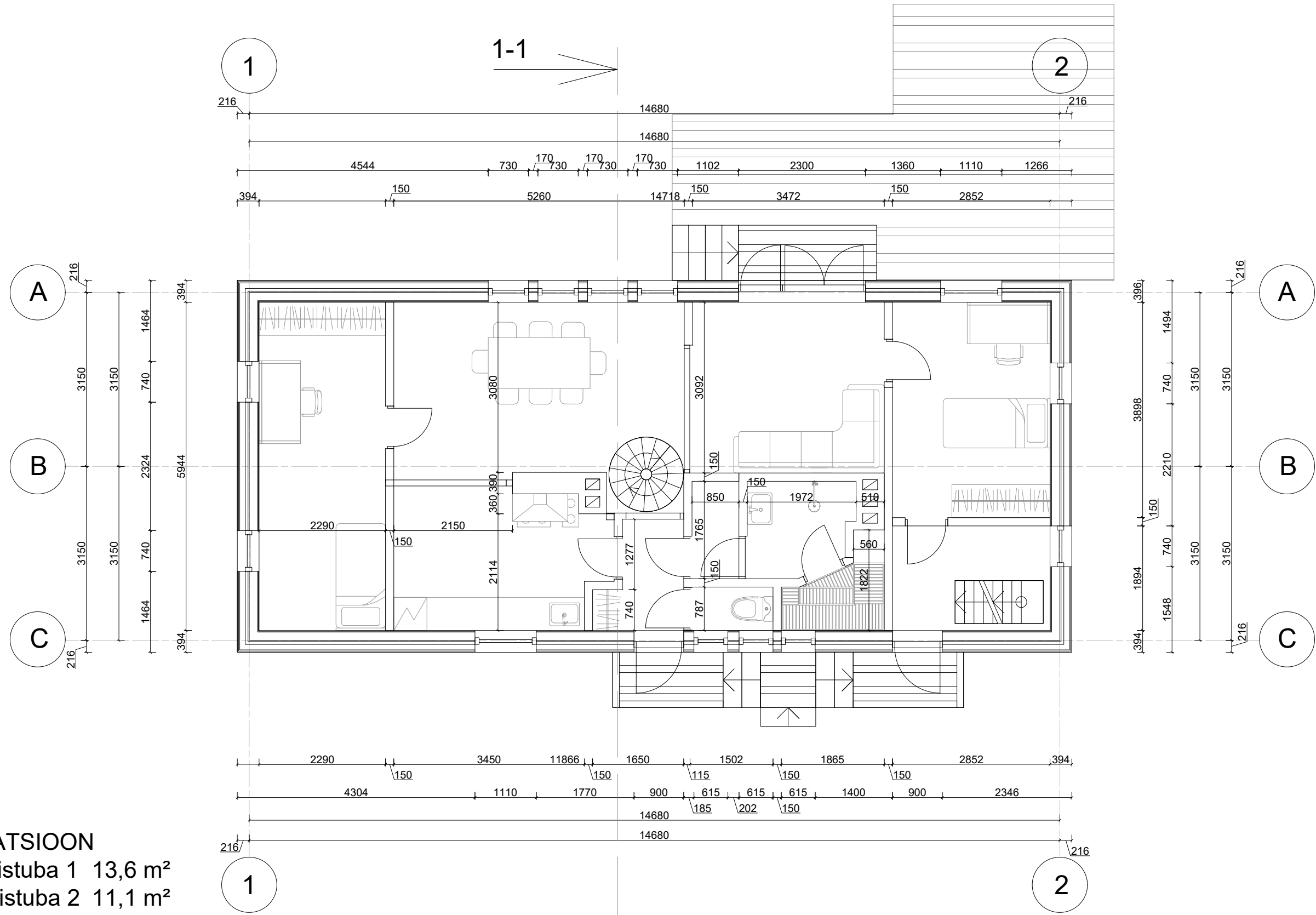
- üldruumides IP20
- niisketes ruumides ja hoonest väljas IP44

Turvavalgustust ei projekteerita. Elektrivarustuse graafiline osa lahendatakse eriprojektiga.

## **13 NÕRKVOOL**

Nõrkvooluklapp NVK paigaldatakse keldrisse peajaotuskilbi PJK kõrvale.


Nõrkvoolupaigaldis (sidevõrk, valvesignalisatsioon, videovalve, vesipõrandakütte automaatika jne.) lahendatakse eriprojektiga.

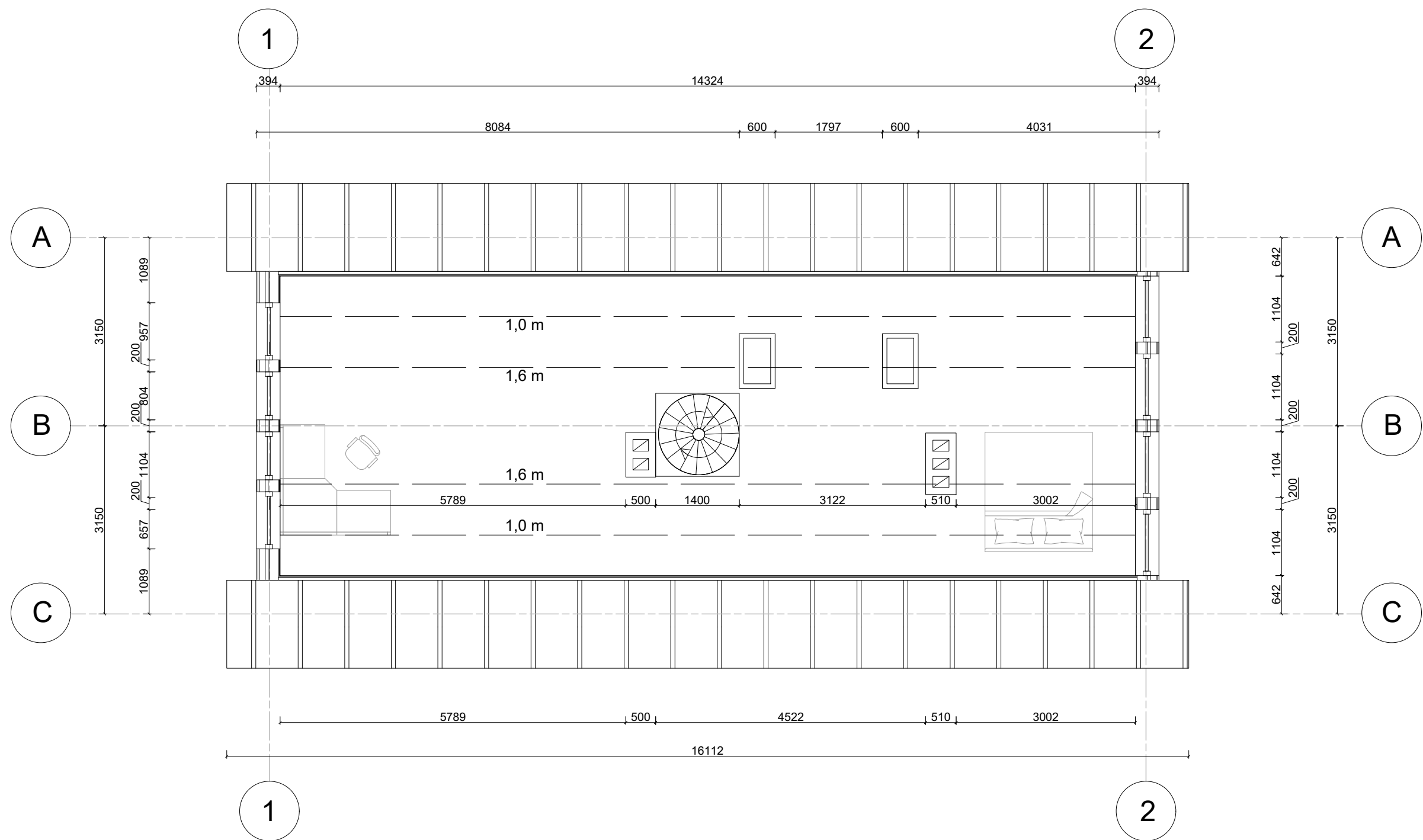


**EKSPLIKATSIOON**


- 1) Magamistuba 1 13,6 m<sup>2</sup>
- 2) Magamistuba 2 11,1 m<sup>2</sup>
- 3) Elutuba-köök 38,6 m<sup>2</sup>
- 4) Esik 2,6 m<sup>2</sup>
- 5) WC 1,2 m<sup>2</sup>
- 6) Eesruum 1,5 m<sup>2</sup>
- 7) Pesuruum 3,1 m<sup>2</sup>
- 8) Leiliruum 2,3 m<sup>2</sup>
- 9) Majandusruum 5,4 m<sup>2</sup>

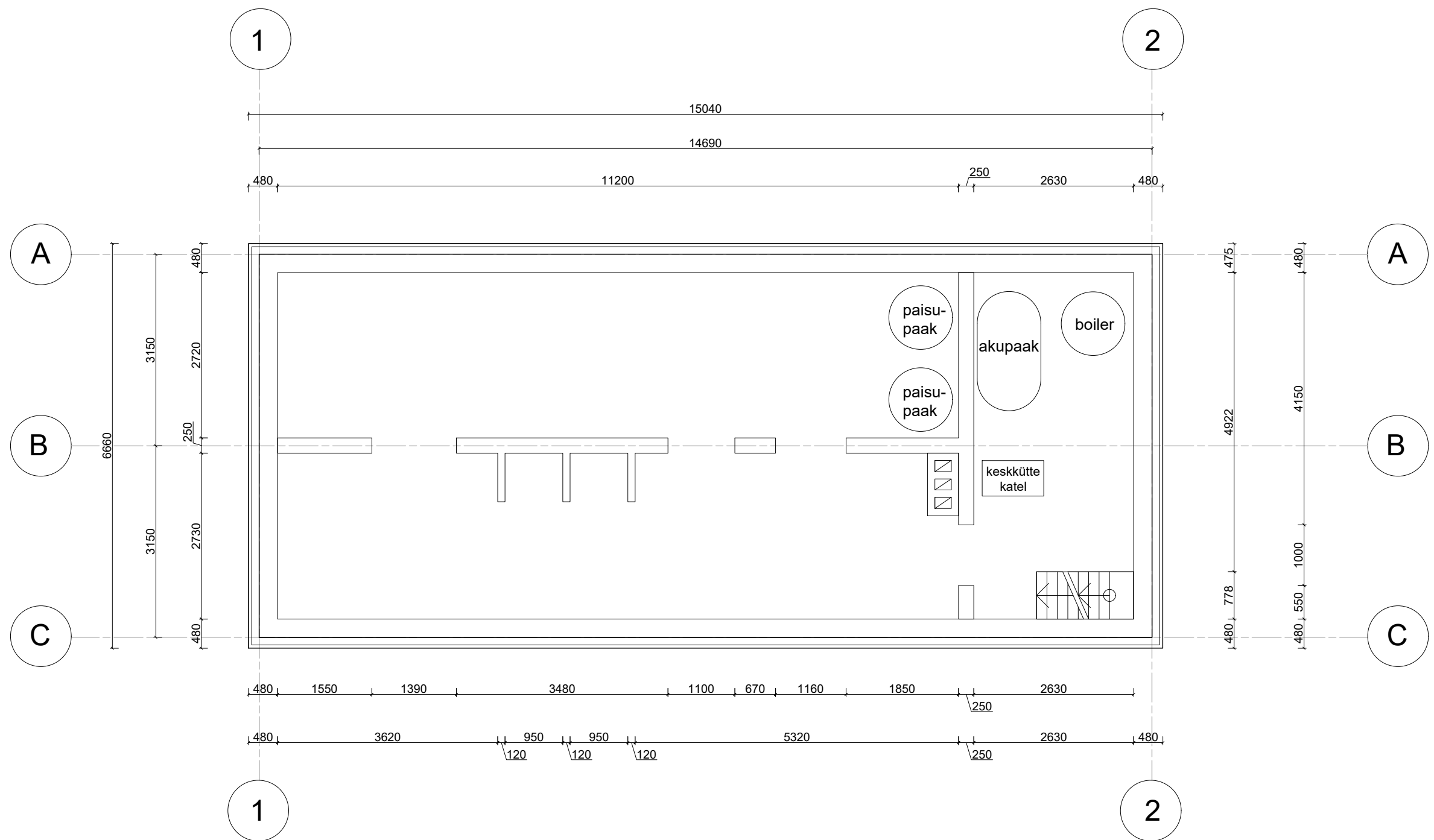
M 1:75

	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>1/9</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>1. korruse põhiplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:		Tartu kolledž	




M 1:75

	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>2/9</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>2. korruse põhiplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
Tartu kolledž				



M 1:75

	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>3/9</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>Keldri põhiplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
Tartu kolledž				



**VS-1**

- 1) Voodrilaudis 22 mm
- 2) Horisontaalne distantsliist 22x100 mm 22 mm
- 3) Vertikaalne distantsliist 22x100 mm 22 mm
- 3) Tuuletõke Isover RKL Facade 100 mm
- 4) Roovitus 50x50 mm, vahel Isover Premium 33 50 mm
- 5) Laudis 22 mm
- 6) Puitkarkass 50x150 mm sammuga 600 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33 150 mm
- 7) OSB-plaat, liitekohad teibitud 22 mm
- 8) Kipsplaat 12 mm

**S-1**

- 1) Krohv 5 mm
- 2) Styrofoam 250 SL-A-N 50 mm
- 3) Styrofoam 250 SL-A-N 100 mm
- 4) Hüdroisolatsioon 5 mm
- 5) Raudbetoonplakk 300 mm

**P-1**

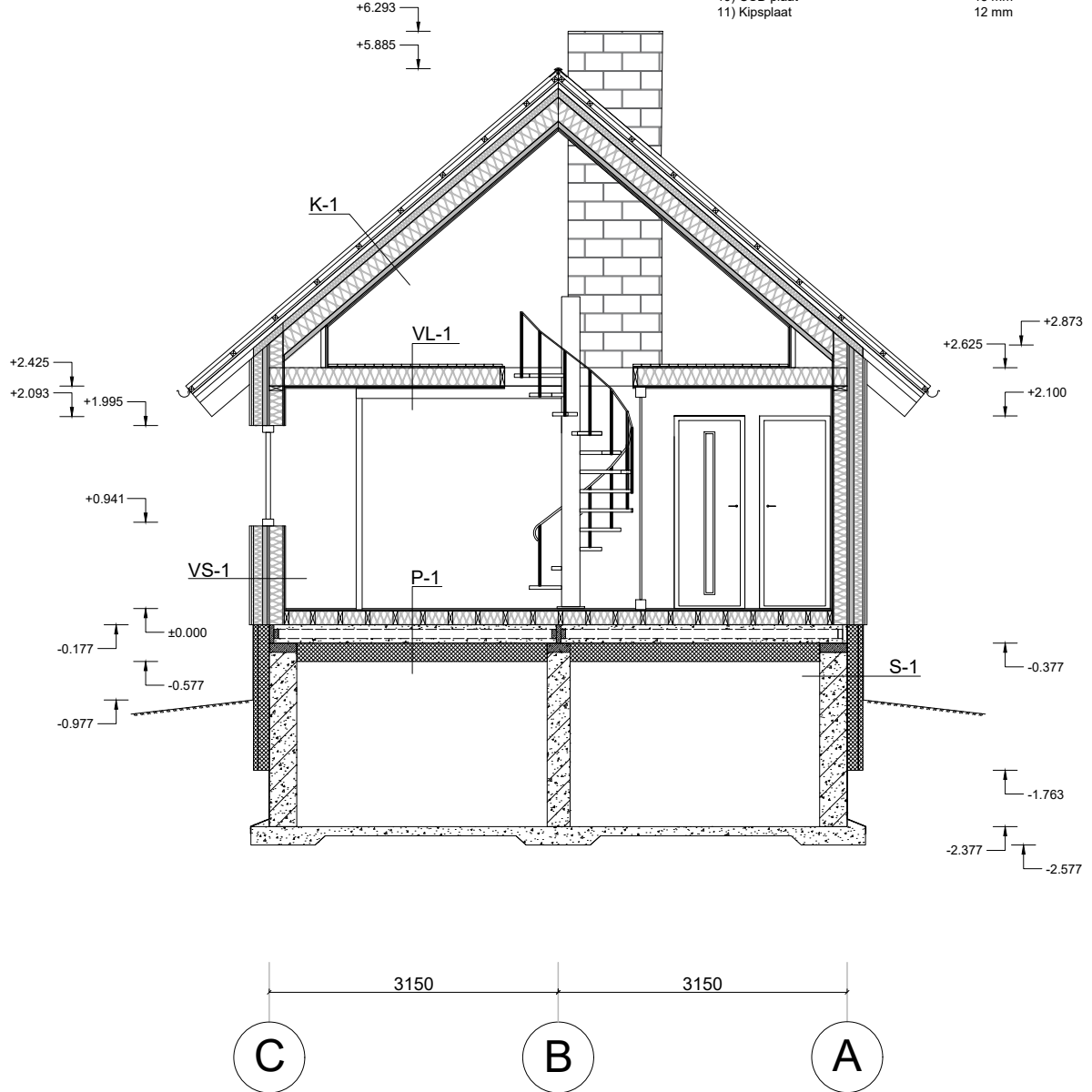
- 1) Parkett 14 mm
- 2) Alusvaip 1 mm
- 3) Veekindel vineer 22 mm
- 4) Laagid 50x150 mm, vahel Isover Premium 33 150 mm
- 5) Öönespaneel 220 mm
- 6) EPS 60 200 mm

**VL-1**

- 1) Täispuit parkett 22 mm
- 2) OSB-plaat 15 mm
- 2) Puittala 50x200 mm, vahel Isover Premium 33 200 mm
- 3) OSB-plaat 15 mm
- 4) Kipsplaat 12 mm

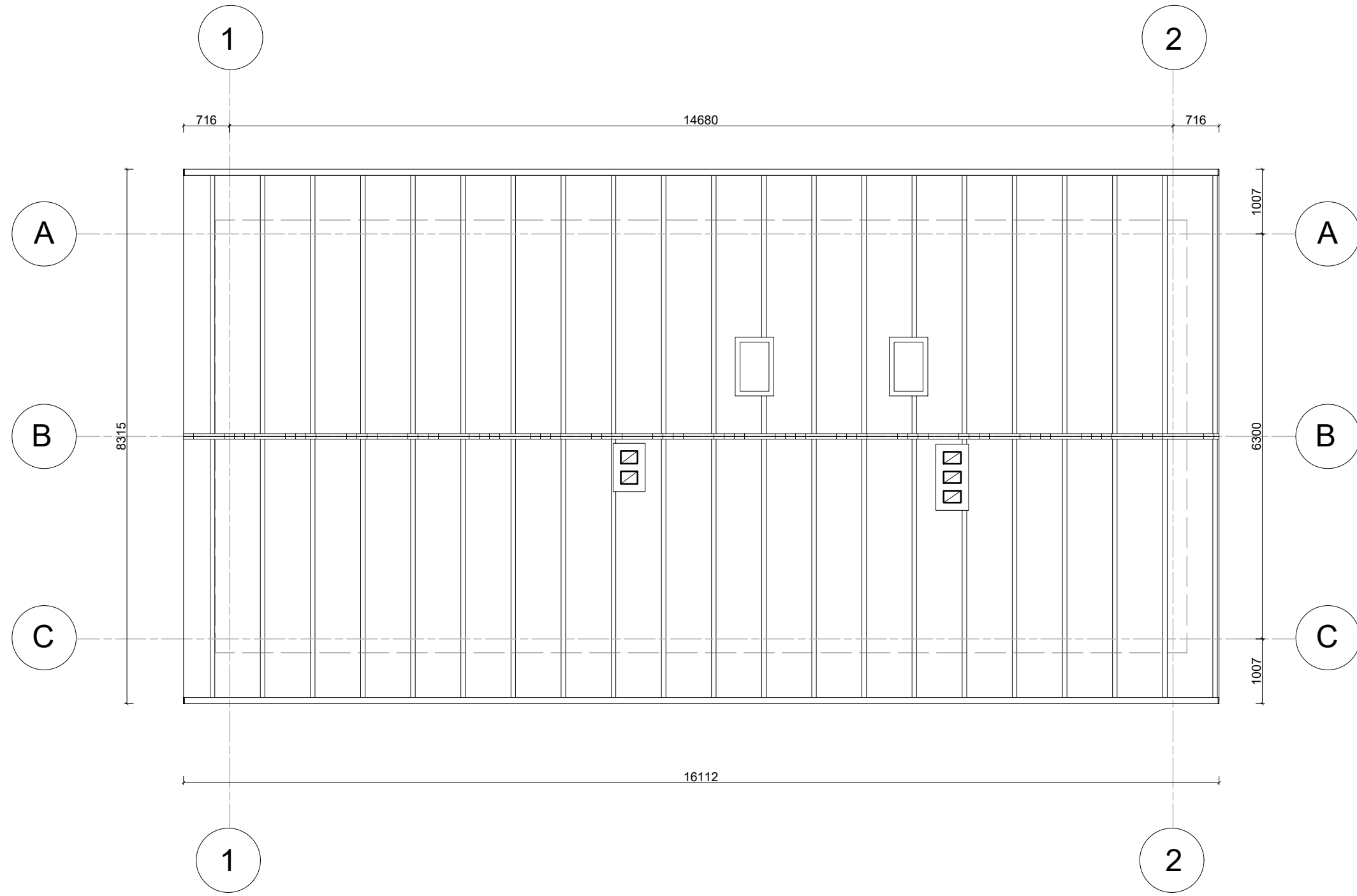
**K-1**

- 1) Eternitplaat Eternit Klassik 6...40 mm
- 2) Roovitus 50x50 mm 50 mm
- 3) Distantsliist 22x50 mm 22 mm
- 4) Aluskate Masterfol 1,5 mm
- 5) Distantsliist 50x50 mm 50 mm
- 6) Tuuletõke Isover RKL Facade 75 mm
- 7) Sarikad 50x200 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33 200 mm
- 8) Õhutõkmemembraan 1 mm
- 9) Roovitus 50x100 mm, vahel mineraalvill Isover Premium 33 50 mm
- 10) OSB-plaat 15 mm
- 11) Kipsplaat 12 mm




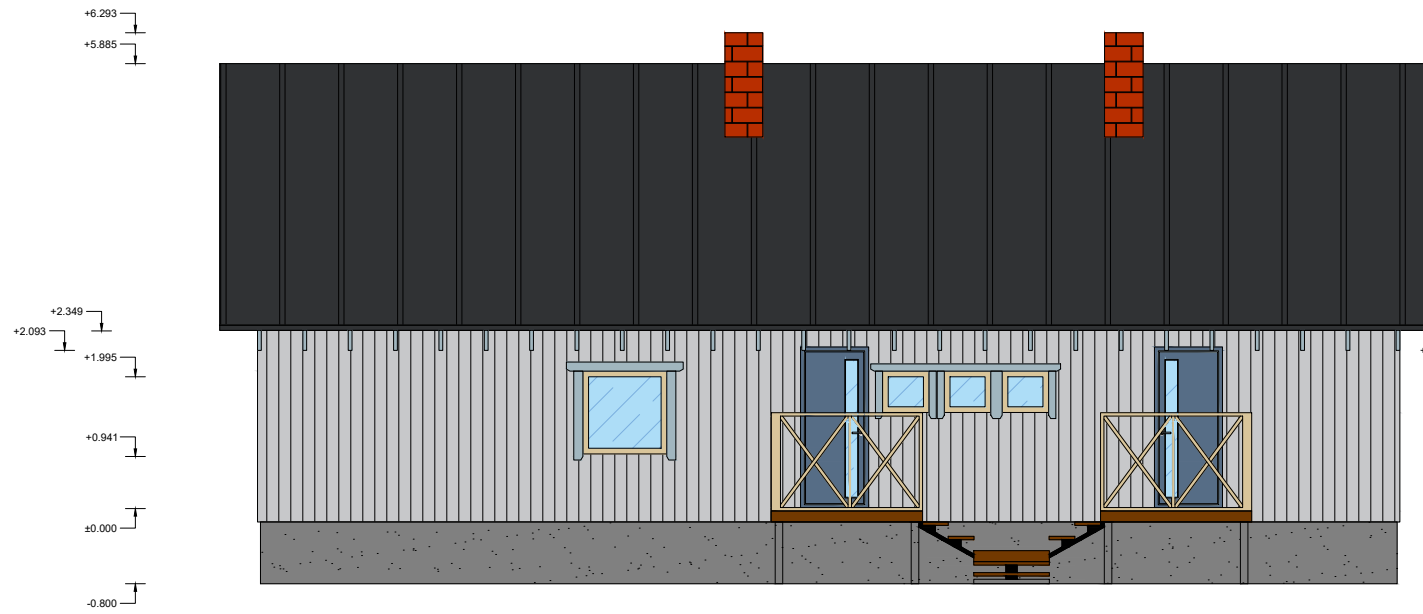
M 1:75

<b>TAL TECH</b>	<b>INSENERITEADUSKOND</b>	<b>Magistritöö</b>	Leht/lehti: <b>4/9</b>
Koostaja: <b>Triinu Bergmann</b>	Allkiri ja kuupäev:	<b>Lõige 1-1</b>	
Juhendaja: <b>Aime Ruus</b>	Allkiri ja kuupäev:		
<b>Tartu kolledž</b>			

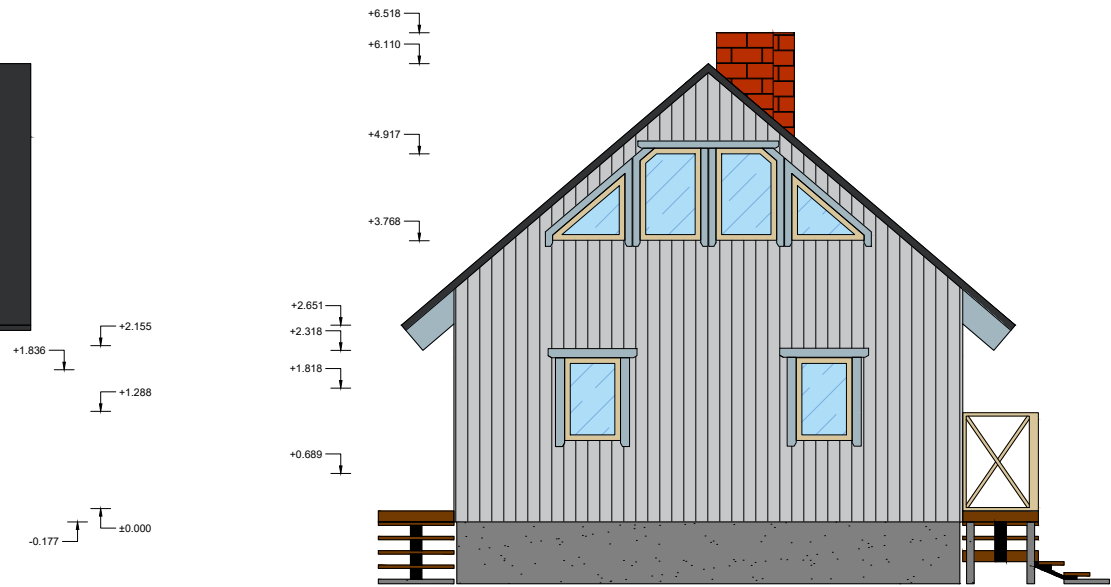


M 1:75

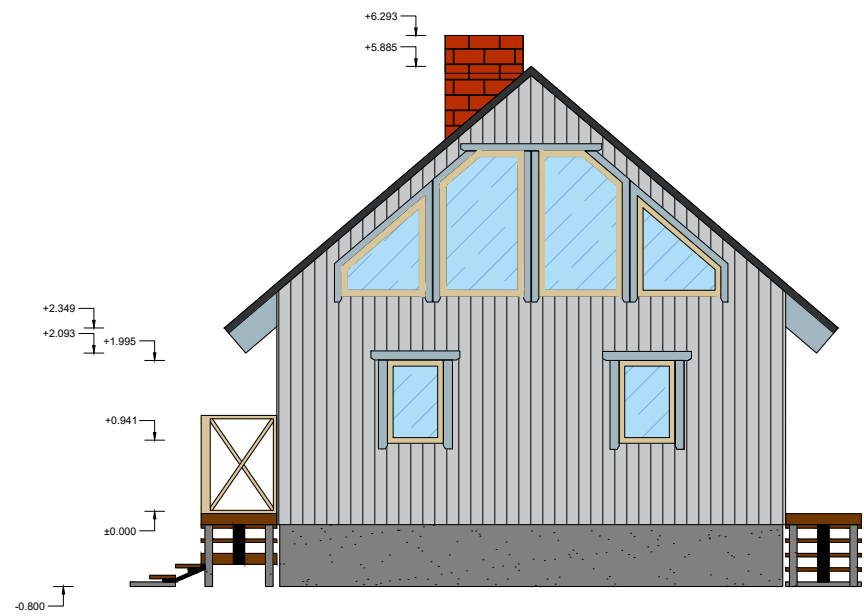
	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>5/9</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>Katuseplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
<b>Tartu kolledž</b>				



Vaade põhjast



Vaade idast




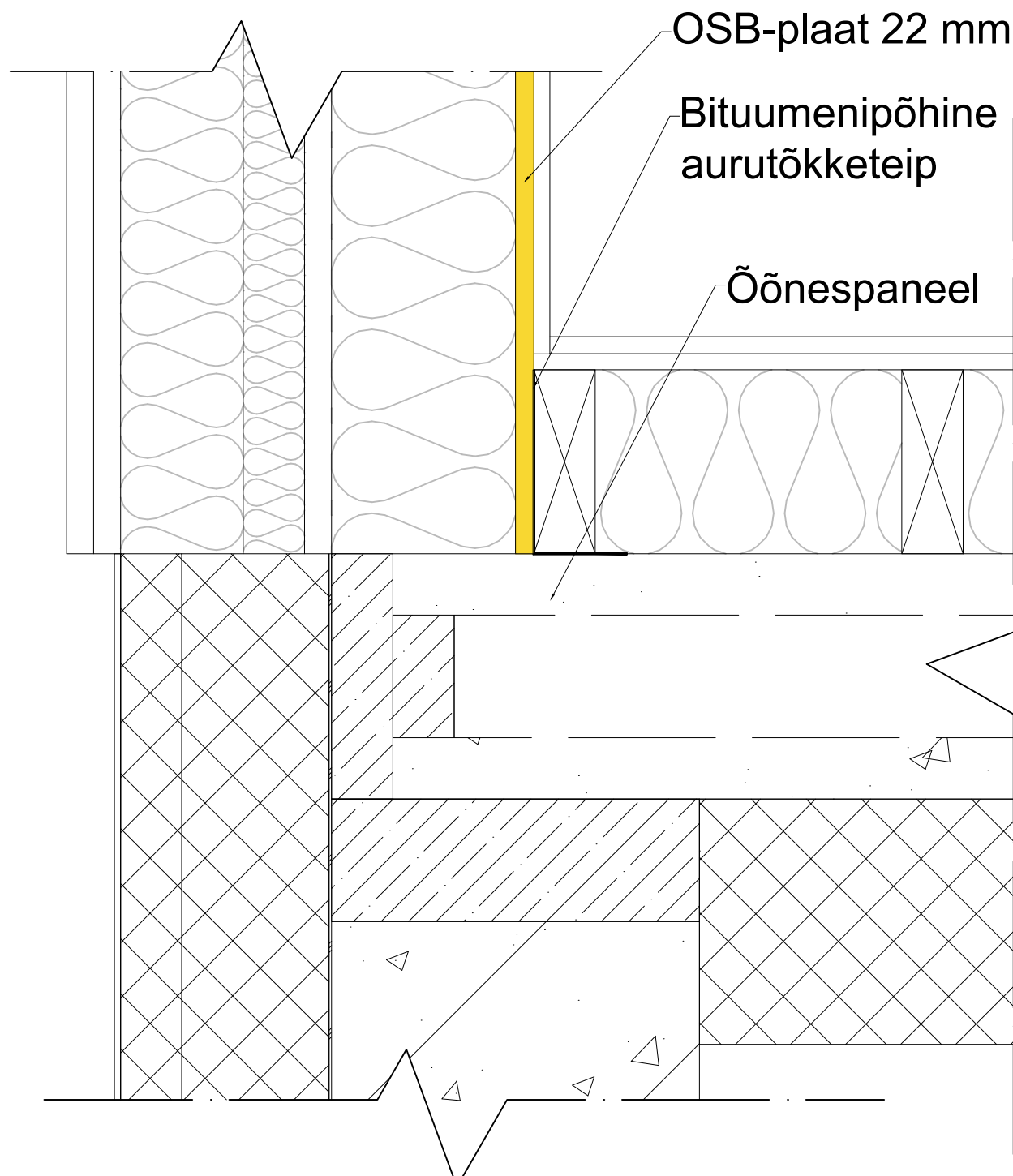
Vaade läänest



Vaade lõunast

M 1:100

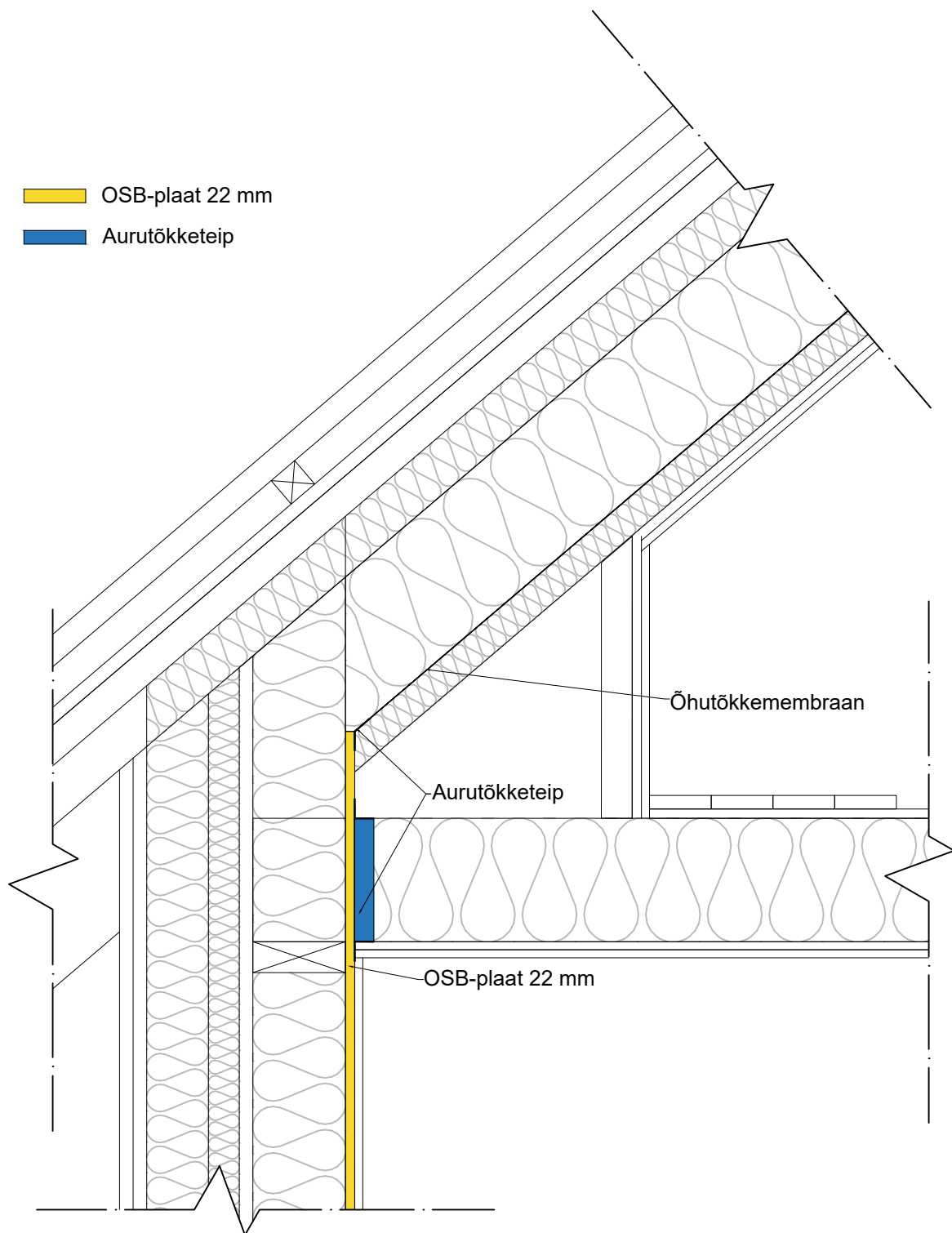
	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>6/9</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		Vaated
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
Tartu kolledž				




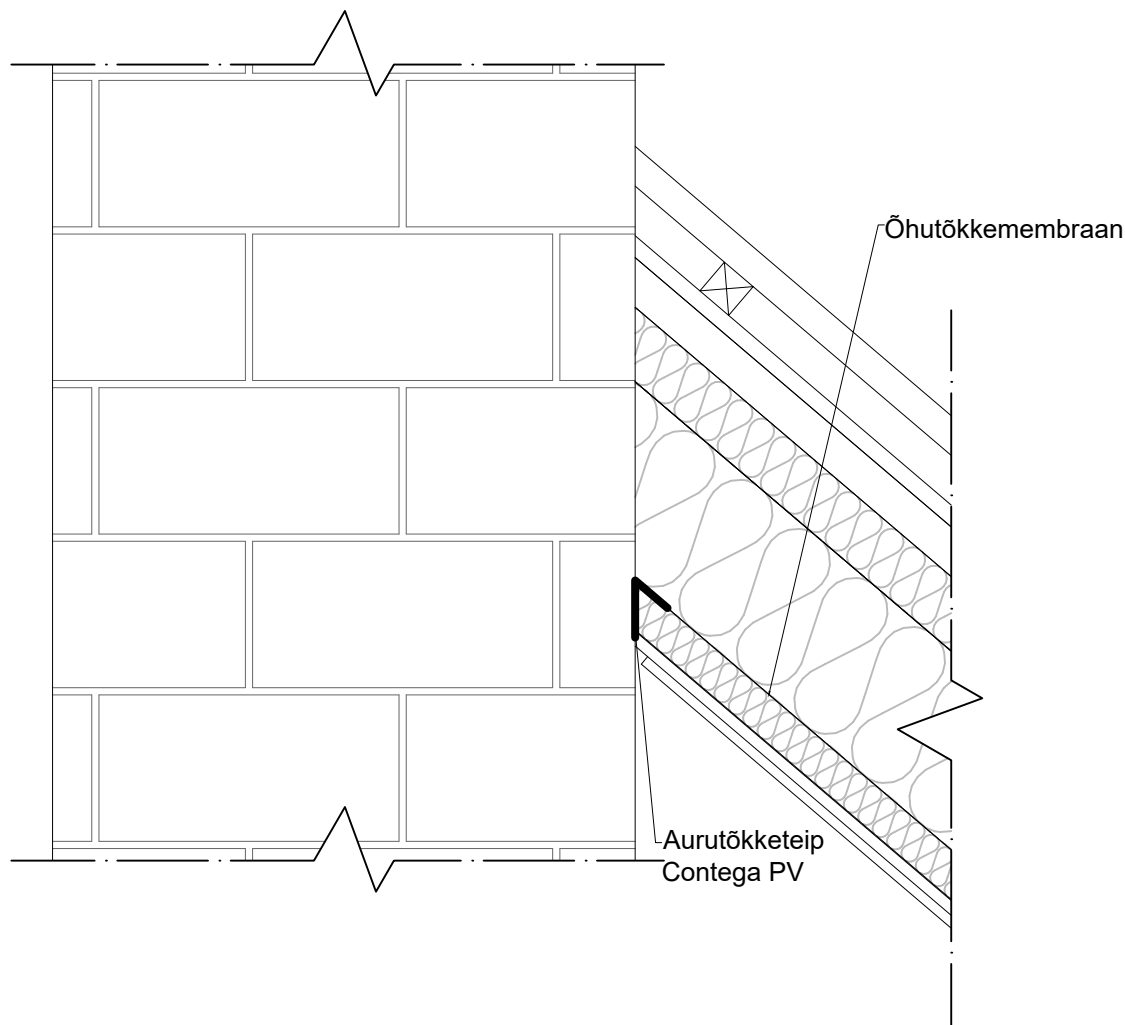
- Bituumenipõhine aurutõkketeip
- OSB-plaat 22 mm

M 1:5

<b>TAL TECH</b>	INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Leht/lehti: <b>7/9</b>
Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:	<b>Sokkel-välissein-põrand ühendussõlm</b>	
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:		
<b>Tartu kolledž</b>			

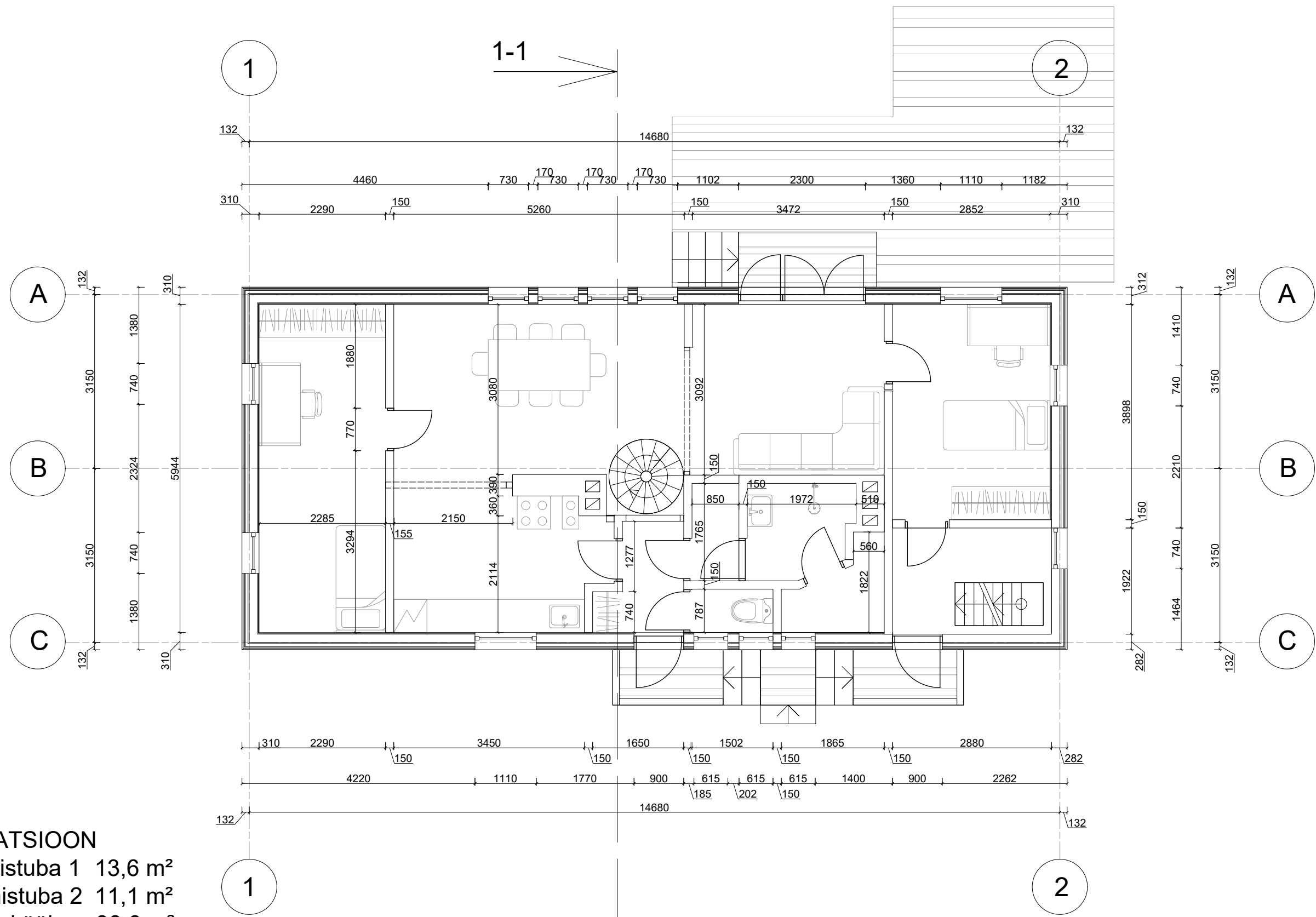


	<p>INSENERITEADUSKOND</p>	<p>Magistritöö</p>	<p>Leht/lehti: 8/9</p>
<p>Koostaja: Triinu Bergmann</p>	<p>Allkiri ja kuupäev:</p>	<p>Välissein-katus-vahelagi ühendussõlm</p>	
<p>Juhendaja: Aime Ruus</p>	<p>Allkiri ja kuupäev:</p>		
<p>Tartu kolledž</p>			



M 1:10

	<p>INSENERITEADUSKOND</p>	<p>Magistritöö</p>	<p>Leht/lehti: 9/9</p>
<p>Koostaja: Triinu Bergmann</p>	<p>Allkiri ja kuupäev:</p>	<p>Korstna läbiviik katusest</p>	
<p>Juhendaja: Aime Ruus</p>	<p>Allkiri ja kuupäev:</p>		
<p>Tartu kolledž</p>			

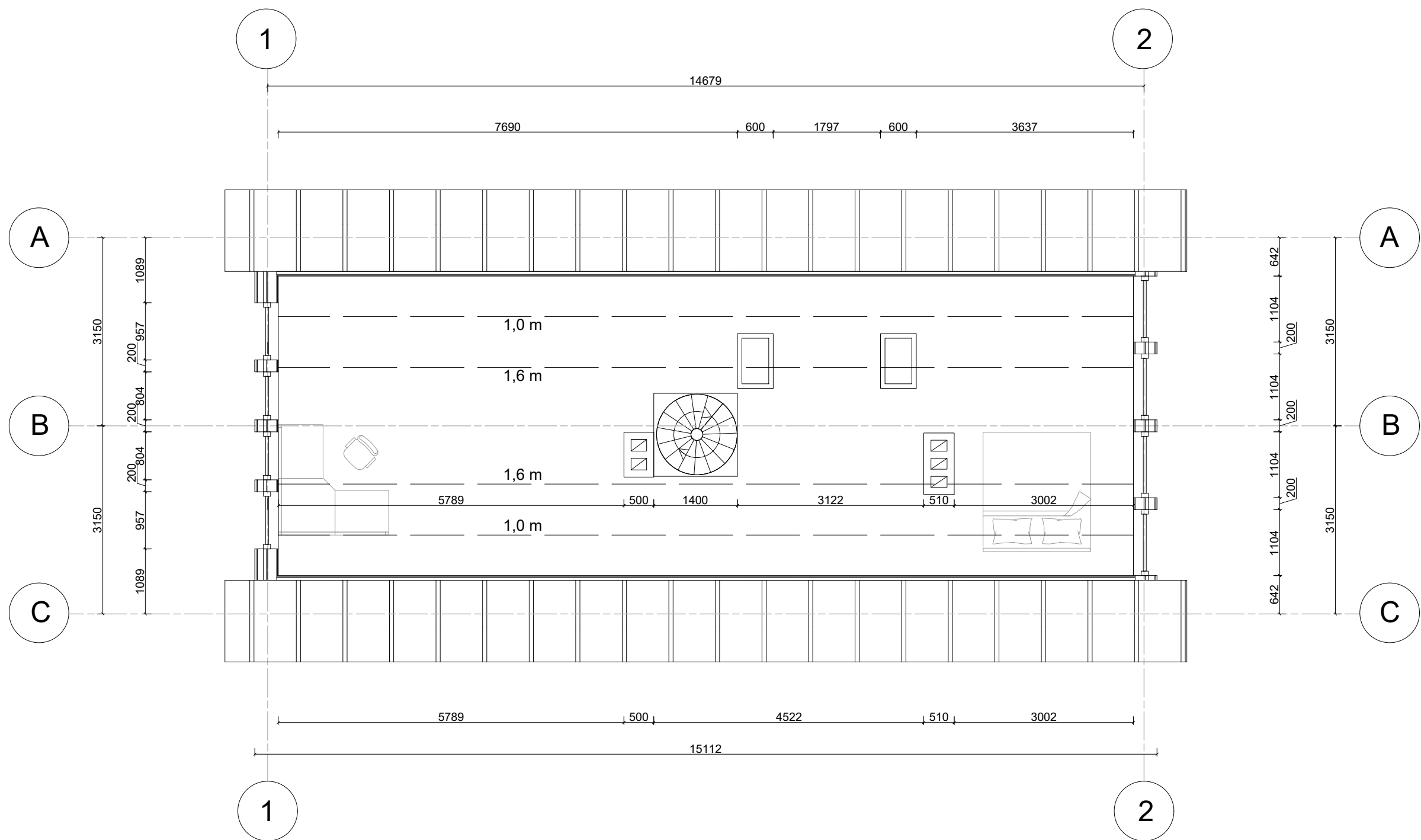


**EKSPLIKATSIOON**


- 1) Magamistuba 1 13,6 m<sup>2</sup>
- 2) Magamistuba 2 11,1 m<sup>2</sup>
- 3) Elutuba-köök 38,6 m<sup>2</sup>
- 4) Esik 2,6 m<sup>2</sup>
- 5) WC 1,2 m<sup>2</sup>
- 6) Eesruum 1,5 m<sup>2</sup>
- 7) Pesuruum 3,1 m<sup>2</sup>
- 8) Leiliruum 2,3 m<sup>2</sup>
- 9) Majandusruum 5,4 m<sup>2</sup>

M 1:75

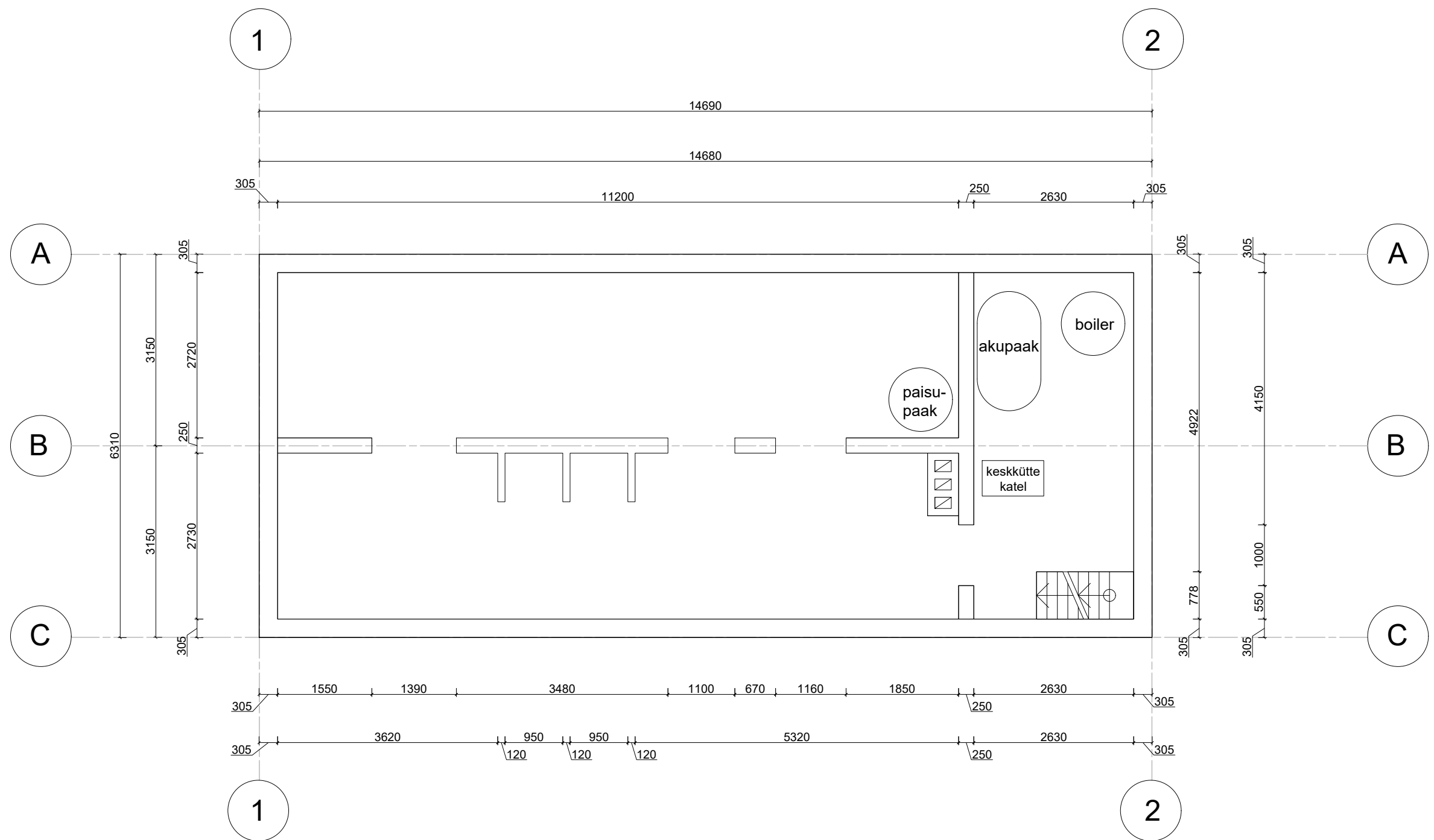
	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>1/6</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>Olemasoleva hoone                  1. korruse põhiplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:		Tartu kolledž	




M 1:75

	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>2/6</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>Olemasoleva hoone                  2. korruse põhiplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
Tartu kolledž				





M 1:75

	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>3/6</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>Olemasoleva hoone keldri põhiplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
Tartu kolledž				

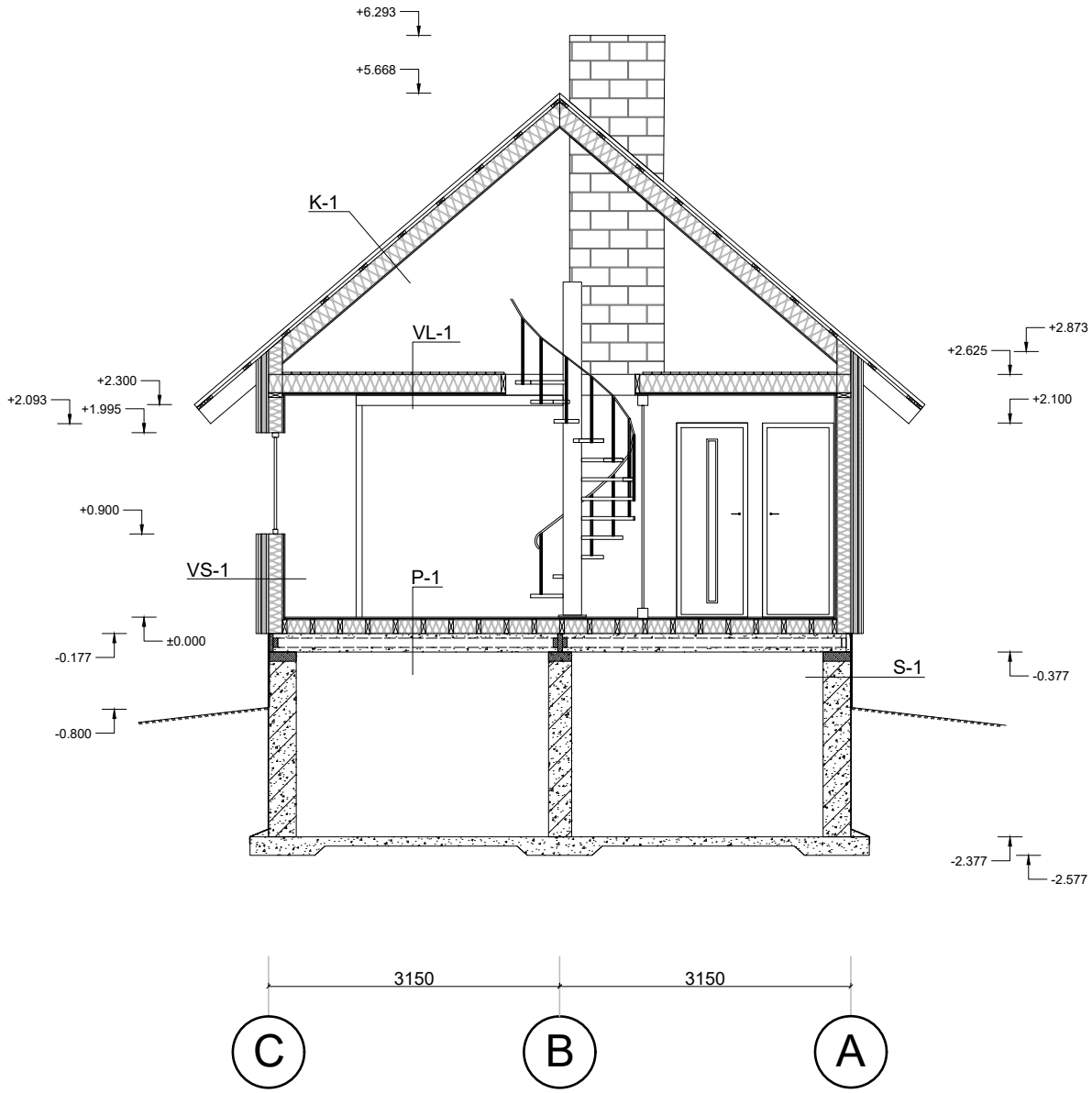
- VS-1**
- 1) Voodrilaudis 22 mm
  - 2) Distantliist 25x50 mm 25 mm
  - 3) Tuuletõke 13 mm
  - 4) Roovitus 50x50 mm, vahel mineraalvill 50 mm
  - 5) Horisontaalne hõre laudis 22 mm
  - 6) Puitkarkass 50x150 mm, vahel mineraalvill 150 mm
  - 7) OSB-plaat 15 mm
  - 8) Kipsplaat 12 mm

- S-1**
- 1) Tsementkrohv 5 mm
  - 2) Vundamendiplokk (raudbetoon) 300 mm


- K-1**
- 1) Eterniit 6...40 mm
  - 2) Roovitus 32x100 mm 32mm
  - 3) Aluskate 1 mm
  - 4) Sarikad, vahel mineraalvill 200 mm
  - 5) OSB-plaat 15 mm

- P-1**
- 1) Parkett 18 mm
  - 2) OSB-plaat 13 mm
  - 3) Laagid 50x150 mm, vahel mineraalvill 150 mm
  - 4) Öönespaneel 220 mm

- VL-1**
- 1) Täispuit parkett 22 mm
  - 2) Puitjala 50x200 mm, vahel mineraalvill 200 mm
  - 3) OSB-plaat 15 mm
  - 4) Kipsplaat 12 mm

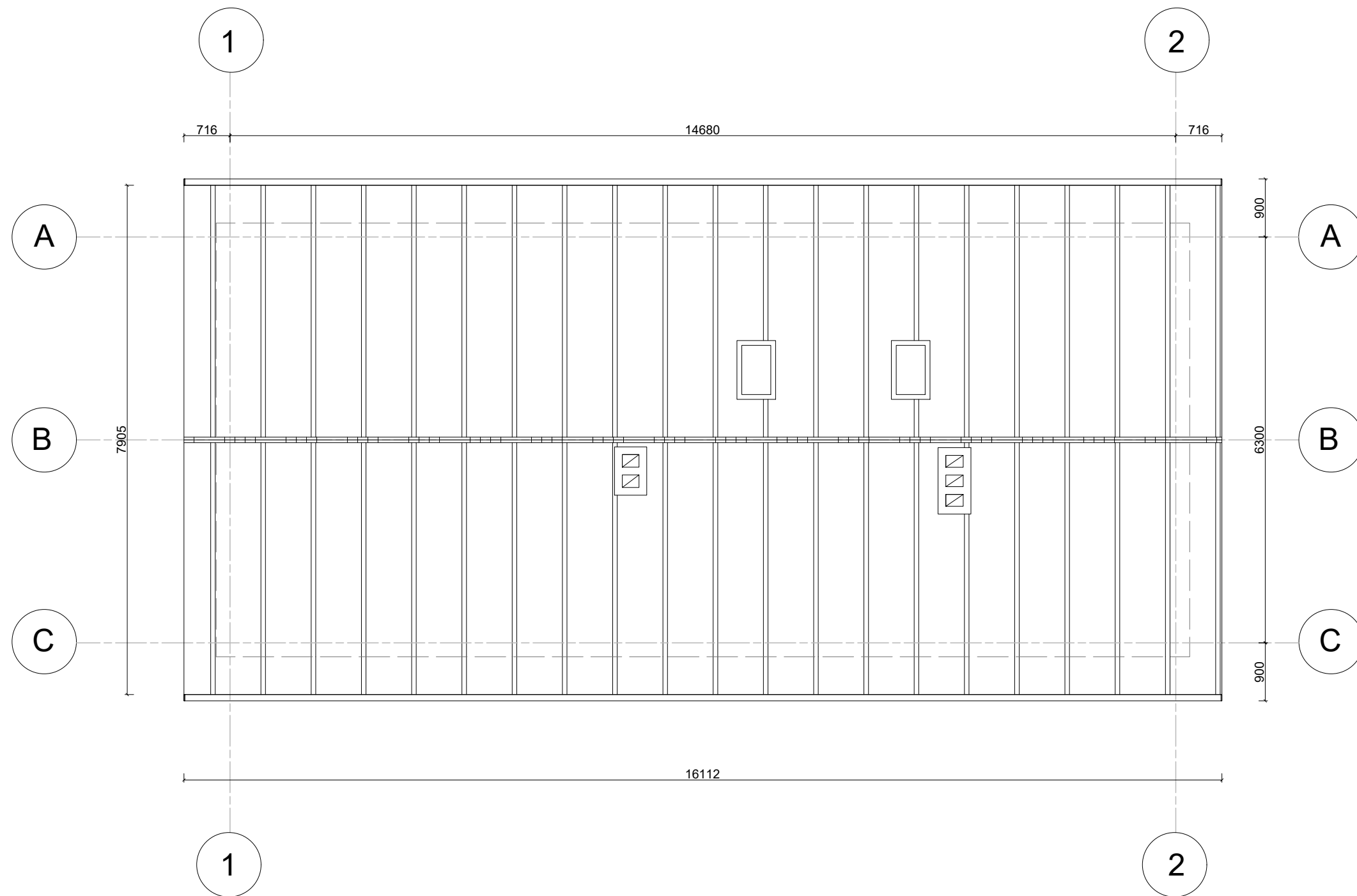


M 1:75


	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>4/6</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:	<b>Olemasoleva hoone lõige 1-1</b>	
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
<b>Tartu kolledž</b>				

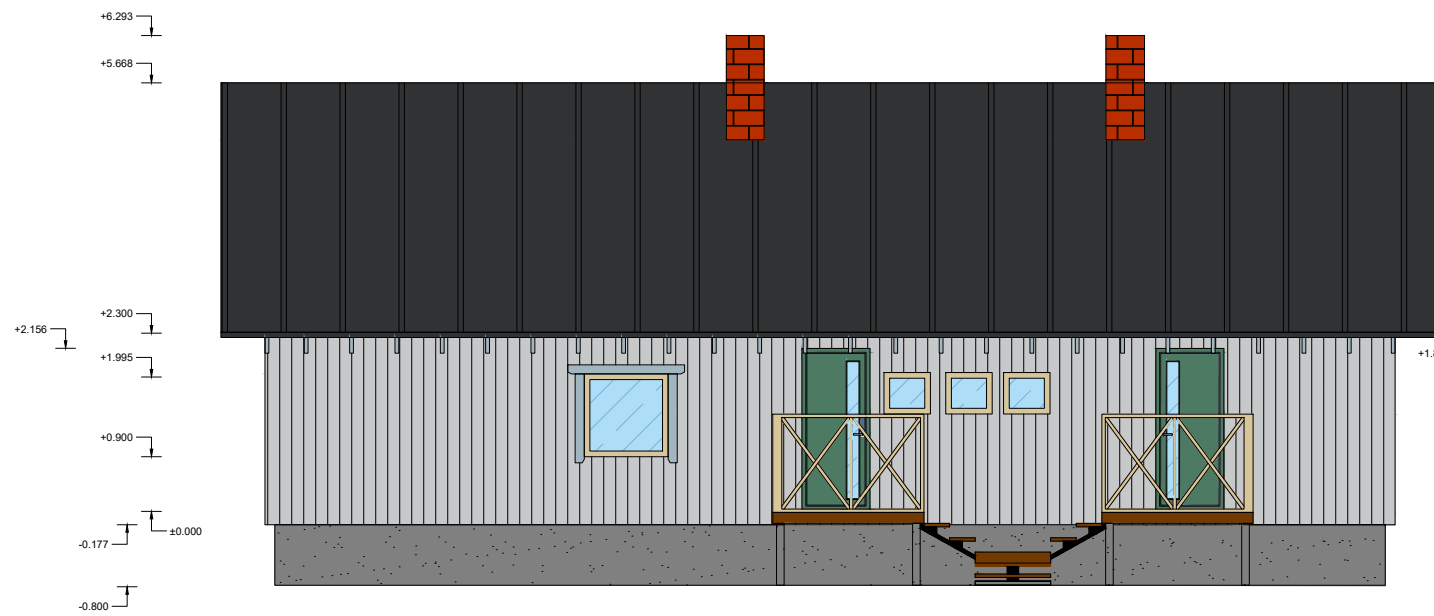
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

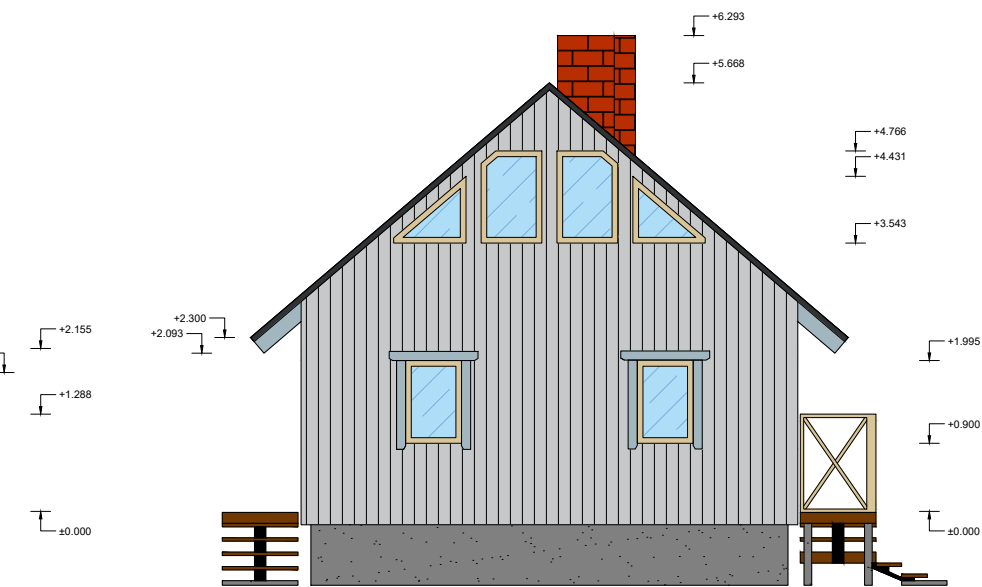


M 1:75

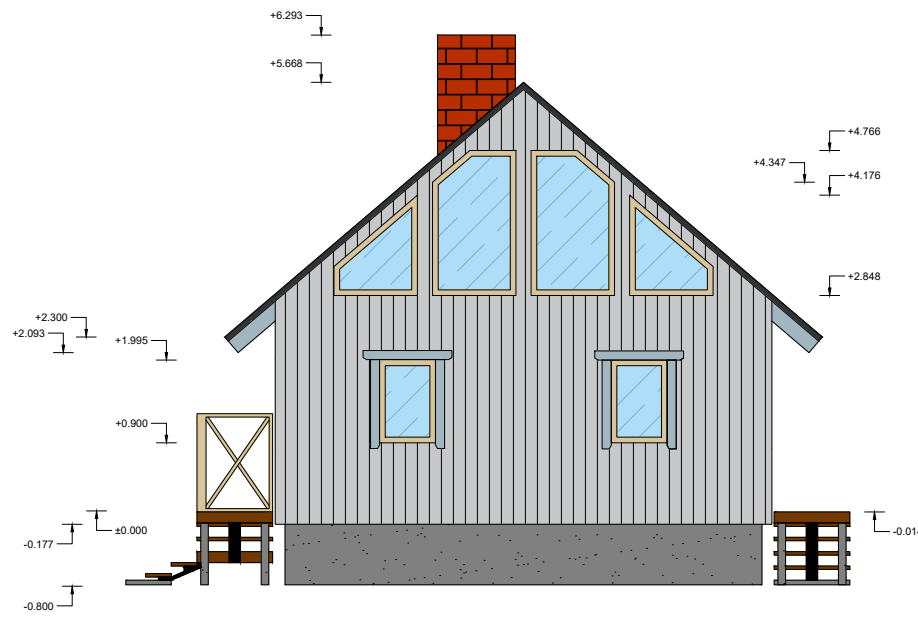
	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>5/6</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		<b>Olemasoleva hoone katuseplaan</b>
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
<b>Tartu kolledž</b>				



Vaade põhjast



Vaade idast




Vaade läänest



Vaade lõunast

M 1:100

	<b>INSENERITEADUSKOND</b>		Magistritöö	Leht/lehti: <b>6/6</b>
	Koostaja: Triinu Bergmann	Allkiri ja kuupäev:		Olemasoleva hoone vaated
Juhendaja: Aime Ruus	Allkiri ja kuupäev:			
Tartu kolledž				