

ERINEVA FASSAADIKONSTRUKTSIOONIGA HOONETE EHITUSFÜÜSIKALISE TOIMIVUSE VÕRDLEMINE VESILINNU TEE ÜKSIKELAMUTE NÄITEL

EFFECT OF THE EXTERNAL WALL STRUCTURE ON THE
BUILDING PERFORMANCE OF A SINGLE FAMILY
RESIDENTIAL DWELLING

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Merilin Mutli

Üliõpilaskood: 192723EAEI

Juhendaja: Mihkel Kiviste
Kaasjuhendaja: Kaarel Sepp

AUTORIDEKLARATSIOON

(trükitakse tiitellehe pöördele)

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.

24. mai 2021

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." 20.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ REPRODUTSEERIMISEKS JA LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS

Mina, Merilin Mutli,

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

ERINEVA FASSAADIKONSTRUKTSIOONIGA HOONETE EHITUSFÜÜSIKALISE TOIMIVUSE VÕRDLEMINE VESILINNU TEE ÜKSIKELAMUTE NÄITEL

mille juhendaja on Mihkel Kiviste ja kaasjuhendajaks Kaarel Sepp

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.

_____24.05.2021_____ (kuupäev)

Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: **MERILIN MUTLI**

Üliõpilaskood **192723EAEI**

Õppekava: **EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine**

Peeriala: Ehitiste restaureerimine

Lõputöö teema:

ERINEVA FASSAADIKONSTRUKTSIOONIGA HOONETE EHTUSFÜÜSIKALISE TOIMIVUSE VÕRDLEMINE VESILINNU TEE ÜSIKELAMUTE NÄITEL

Effect of the external wall structure on the building performance of a single family residential dwelling

Juhendaja: **Professor, Mihkel Kiviste**

mihkel.kiviste@taltech.ee

Kaasjuhendaja: **Kajaja Acoustics OÜ keskkonnamüra valdkonna juht/konsultant, Kaarel Sepp**

Kaarel.sepp@kajaja.ee

Lõputöö konsultandid:

Tiitel või ametikoht, Ees- ja Perekonnanimi	Kontakt (e-post või telefon)	Allkiri ja kuupäev

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Erinevate konstruktsioonidega üksikelamute soojapidavuse hindamine
2. Erinevate konstruktsioonidega üksikelamute välisseinte heliisolatsioonivõime hindamine

Töö keel: eesti keel **NB! (Trükitakse kahepoolset)**

Lõputöö etapid ja ajakava:

Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1. Lõputöö kondikava koostamine	01.03.2021
2. Lõputöö materjalide uurimine ja mudelite koostamine	15.04.2021
3. Soojapidavuse katsete teostamine	09.04.2021
4. Soojapidavuse tulemuste analüüsimine	01.05.2021
5. Välisseinte heliisolatsiooni katsete teostamine	01.05.2021
6. Välisseinte heliisolatsioonivõime tulemuste analüüsimine ja arvutamine	01.05.2021
• Teoreetilise tausta kirjutamine	01.05.2021
• Fassaadide akustilise toimivuse arvutamine	01.05.2021
7. Lõputöö valmiskirjutamine	10.05.2021
Kokkuvõtte eesti keeles	10.05.2021
Kokkuvõtte inglise keeles	10.05.2021

Lõputööde 95% ülevaatus, mille läbimine on kaitsmise eelduseks	
	10.05.2021

Esitlusmaterjalid kaitsmisel: A1 joonised

Kirjeldus	Tähtaeg
1	17.05.2021
2	17.05.2021
3	17.05.2021
4	17.05.2021
5	17.05.2021

Lõputöö esitamise tähtaeg: 17. mai 2021

Lõputöö ülesanne välja antud: 01.03.2021

Juhendaja:

Mihkel Kiviste

Ülesande vastu võtnud:

Merilin Mutli

Avalikustamise
piirangu tingimused: puuduvad

SISUKORD

EESSÕNA.....	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	8
SISSEJUHATUS.....	11
1. VARASEM TEADUSTÖÖ JA UURITAVATE OBJEKTIDE PÕHIINFORMATSIOON	13
1.1 VARASEM TEADUSTÖÖ MÖLEMA UURITAVA TEGURI KOHTA.....	13
1.2 UURITAVAD OBJEKTID	13
2. KÜLMASILLAD.....	18
2.1 KÜLMASILDADE TASE	18
2.2 TERMOGRAAFILISED MÕÕTMISED	19
2.2.1 Termografeerimine.....	21
2.2.2 Välise termografeerimise tulemused	23
2.2.3 Sisemise termografeerimise tulemused Vesilinnu tee 6 üksikelamul.....	26
2.2.4 Sisemise termografeerimise tulemused Vesilinnu tee 1 üksikelamul ja võrdlus Vesilinnu tee 6 üksikelamuga.....	37
2.3 KÜLMASILDADE MODELLEERIMINE TEMPERatuurivälja tarkvaraga THERM 7.7	48
2.3.1 Vesilinnu tee 6 välissein-välissein liites ja välissein-vundamendi sõlmes välisseina mine,aalvilla soojuseri juhtivuste leidmine	52
2.3.2 Vesilinnu tee 1 välissein-välissein liites ja välissein-vundamendi sõlmes välisseina mineraalvilla soojuseri juhtivuste leidmine	56
2.4 TEMPERatuurivälja tarkvara THERM 7.7 TULEMUSED VESILINNU TEE 6 ÜKSIKELAMUL	60
2.5 TEMPERatuurivälja tarkvara THERM 7.7 TULEMUSED VESILINNU TEE 1 ÜKSIKELAMUL JA VÕRDLUS VESILINNU TEE 6 ÜKSIKELAMUGA.....	66
2.6 VARASEM TEADUSTÖÖ	73
3. HELIISOLATSIOON.....	75
3.1 TEOREETILINE TAUST	75
3.1.1 Heli füüsikalised omadused.....	75
3.1.2 Heliisolatsioon ehituses.....	77
3.1.3 Hoonetele esitatavad akustilised nõuded ja Eestis kehtiv seadusandlus	80
3.2 VARASEM TEADUSTÖÖ	82
3.3 FASSAADIDE AKUSTILINE TOIMIVUS.....	83
3.3.1 Vesilinnu tee 6 üksikelamu fassaadi teoreetiline heliisolatsioonivõime.....	83
3.3.2 Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadi teoreetiline heliisolatsioonivõime.....	85
3.4 VÄLISSEINTE HELIISOLATSIOONI MÕÕTMISED	90
3.4.1 Mõõtmiste eeltöö ja läbiviimine	90
3.5 FASSAADIDE HELIISOLATSIOONIVÕIME KOKKUVÕTE JA TÕLGENDAMINE	96
KOKKUVÕTE.....	99
SUMMARY	101
KASUTATUD KIRJANDUS	103
LISAD	107

EESSÕNA

Käesoleva magistritööga selgitatakse välja kahe mõõtmelt ja põhiplaani sarnaste, kuid erinevate välisseina konstruktsiooniga ja vundamentitüübiga üksiklamute soojapidavuse ja välisseinte heliisolatsiooni näitajate erinevus ning ehituskvaliteet. Teema algatus tuli autorilt, kes pidas nõu Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži programmijuhi ja dotsendi Aime Ruusiga, professor Mihkel Kivistega ja Valga vallaarhitekti Jiri Tinteraga. Töö on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži eriala Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine spetsialiseerumisega ehitiste restaureerimisele lõputööna. Põhilised andmed üksiklamute kohta on kogutud Ehisregistri, majaomanike ja omanikujärelevalve Andrus Mutli kaasabil. Heliisolatsioonivõime mõõtmiste teostajaks, konsultandiks ja kaasjuhendajaks oli Kajaja Acoustics OÜ keskkonnamüra valdkonna juht/konsultant Kaarel Sepp.

Suur tänu kõigile lõputöö valmimisele kaasa aidanud isikutele ning eriline tänu juhendajale Mihkel Kivistele ja kaasjuhendajale Kaarel Sepp. Töö autor tänab Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledžit mõõtmisvahendite eest. Magistritöö autor soovib nõuannete eest tänada samuti Aime Ruusi ja Vesilinnu tee 1, Saadjärve, Tartu vald elanikke oma eluruumides mõõtmiste läbiviimise lubamise eest.

Bauroc välisseinaga hoone, puitkarkassvälisseinaga hoone, soojapidavus, heliisolatsioon, magistritöö

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Ladina suurtähed

A – uuritava ruumi helineeldepind (m^2)

A_0 – helineeldumise võrdluspind ($A_0=10 m^2$) (m^2)

A_2 – vastuvõtva ruumi neeldepind (m^2)

C_{tr} – spektrilähendustegur

$D_{Is,2m,n}$ – taandatud helitasemetevahe iga tertsriba jaoks (dB)

$D_{Is,2m,n,w}$ – kaalutud helirõhutasemete vahe (dB)

$L_{1,2m}$ - keskmise helirõhutase väliskeskkonnas 2 m kaugusel hoone fassaadist (dB)

L_p – helirõhutase (dB)

$L_{p,1}$ - allikaruumi helirõhutase (dB)

$L_{p,2}$ – vastuvõtva ruumi helirõhutase (dB)

L_{2D} - 2D arvutusega saadud tarindite liitekoha arvutusulatuse soojuserikadu, $W/(m \cdot K)$

L_2 - vastuvõtva ruumi keskmine helirõhutase (dB)

R – tarindiosa soojustakistus (m^2K/W)

R – õhuheliisolatsioonivõime (dB)

R_{ideal} – kõrgeim võimalik õhuheliisolatsioonivõime väärtus, mille kahekordne plaatsein on võimeline saavutama/ sidumata küljeplaatidega vaheseina heliisolatsioonivõime (dB)

R_{se} - piirdekonstruktsiooni välispinna soojustakistus (m^2K/W)

R_{si} - piirdekonstruktsiooni sisepinna soojustakistus ($m^2 \cdot K/W$)

R_w – kaalutud heliisolatsiooniindeks (dB)

R_1 -plaatpinna number 1 heliisolatsioonivõime (dB)

R_2 -plaatpinna number 2 heliisolatsioonivõime (dB)

S – ruume eraldava ehitiseosa pindala (m^2)

T_2 – vastuvõtva ruumi järelkõlakestus (s)

V_2 – vastuvõtva ruumi ruumala (m^3)

W_i – tarindile langev helivõimsus (W)

W_t – tarindit läbinud helivõimsus (W)

$X_{A,2}$ – erinevus A-korrigeeritud helitasemete vahel allikaruumis (või fassaadi ees vabas õhus) ja vastuvõturuumis liiklusrüüra puhul

X_w – asjakohane normgraafikul põhinev ühearvuline suurus

Ladina väiketähed

b_{td} - arvutusulatuse pikkus (m)

c_0 – heli kiirus õhus (=343 m/s) (m/s)

d - soojuslikult mittehomogeense kihi paksus (m)

d - õhkvahe laius (m)

d_j - tarindisse kuuluva homogeense kihi paksus (m)

f – sagedus (Hz)

f_{mam} - mass-õhk-mass resonantssagedus (Hz)

f_{Rsi} - temperatuuriindeks

f_1 – piirsagedus (Hz)

m' - mass pindalaühiku kohta (kg/m^2)

m'_0 – normatiivmasss elemendi pindalaühiku kohta (=1 kg/m^2) (kg/m^2)

m'_1 – plaatpinna 1 pinnamass (kg/m^2)

m'_2 – plaatpinna 2 pinnamass (kg/m^2)

p - helirõhk (Pa)

p_0 - standardse helirõhu nullväärtus (= 20 μPa) (μPa)

t_e - välistemperatuur ($^{\circ}C$)

t_i - sisetemperatuur ($^{\circ}C$)

t_{se} - välispinnatemperatuur ($^{\circ}C$)

t_{si} - sisepinnatemperatuur ($^{\circ}C$)

Kreeka tähed

λ - vastava materjali soojuseri juhtivus (W/m^2K)

λ' - soojuslikult mittehomogeense kihi taandatud soojuseri juhtivus ($W/m \cdot K$)

λ_j - märgitud homogeensete kihtide soojuseri juhtivus ($W/m \cdot K$)

ρ_0 - õhu tihedus (=1,18 kg/m^3) (kg/m^3)

SISSEJUHATUS

Ehitusfüüsikalised näitajad on olnud tähtsal kohal inimesele läbi aegade, sest sellest sõltub otseselt inimese heaolu, rahulolu ja elu kvaliteet. Seetõttu on väga oluline ehitusfüüsikaliste parameetritega tegeleda, et inimesel oleks oma kodus elamine hubane ja kvaliteetne.

Eestis ehitatakse hooneid välisseintega, mille kandekonstruktsioon on nii puitkarkassist kui ka kivist, sealhulgas kergplokkidest. Töö eesmärgiks oli välja selgitada kumb hoone tüüp on soojapidavam ja konstruktsiooni välisseinad heli isoleerivamad ning kuidas need näitajad erinevad kahe peaaegu identse hoone võrdluses. Samas ka saada aimu ehituskvaliteedist kahe näitaja põhjal. Lõputöö teema valiku põhjuseks oli poorbetoonkergplokist välisseina kandekonstruktsiooniga väikeelamu ostmine ning valiku õigsuse uurimine. Naabermaja on sarnase põhiplaani ja mõõtmetega puitkarkassvälisseinaga hoone ning sellega kaasneb hea võimalus võrrelda kahte peaaegu identset, kuid erineva välisseina konstruktsiooni ja vundamenditüübiga hoonete soojapidavuse ja heliisolatsiooni näitajaid. Ilmselt huvitaks teema ka noori, kes on lähitulevikus endale eluaset soetamas. Küllap oleks teemast huvitatud ka ühiskond üldiselt, kes on endale eluaset vahetamas või ostmas.

Eestis on uuritud tasapinnaliste puitkarkasselementidega soojustatud kortermajade ehitusfüüsikalisi parameetreid ja arvutatud soojustehnilisi näitajaid erinevate materjalide kasutamisel välisseintes, kuid täpselt sellist uuringut kahe maja võrdluses pole leidnud.

Töös on kasutatud ehituskonstruktsioonide soojustehniliste omaduste modelleerimiseks ja analüüsimiseks programmi THERM 7.7, mis on LBNL (Larence Barkley National Laboratory) poolt loodud programm. THERMI 7.7 mudeli aluspõhja joonistamiseks kasutati ka Autodesk AutoCAD 2020. Tabelite joonistamiseks ja THERM 7.7 andmete põhjal arvutamiseks kasutati programmi Microsoft Excel. Lisaks kasutati programmi Flir Tools, millega analüüsiti termokaameraga tehtud pilte. Töös on kasutatud fassaadi heliisolatsiooni tulemuste analüüsimiseks Nti Audio tarkvara „Sound insulation reporter“ ja heliisolatsiooni teoreetilistes arvutustes Marshall Day Acoustics spetsiaaltarkvara Insul 9.0.23.

Magistritöös on lähtunud järgmistest regulatsioonidest:

- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 6946:2017. „Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetodid“, Tallinn, 2017;

- Eesti Standardikeskus, EVS EN 13187:2001 „Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method“, Tallinn, 2001;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite soojus-ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid“, Tallinn, 2012;
- Eesti Standardikeskus, EVS 842:2003 „Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest“, Tallinn, 2003;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 7345:2018 „Thermal performance of buildings and building components – Physical quantities and definitions“, Tallinn, 2018;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 10211:2017. „Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused“, Tallinn, 2017;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 12354-1:2017. „Ehitusakustika. Hoonete akustilise toimivuse hindamine elementide akustilise toime põhjal. Osa 1: Ruumidevaheline õhuheli isolatsioon“, Tallinn, 2017;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 717-1:2021 „Hoonete ja ehituselementide heliisolatsiooni hindamine. Osa 1: Õhuheli isolatsioon“, Tallinn, 2013;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 16283-3:2016 „Acoustics Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation “, Tallinn, 2016;
- Sotsiaalminister. „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid. “ Redaktsiooni jõustumise kp: 01.01.2021;
- Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 16283-1:2014 „Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation“, Tallinn, 2014.

1. VARASEM TEADUSTÖÖ JA UURITAVATE OBJEKTIDE PÕHIINFORMATSIOON

1.1 Varasem teadustöö mõlema uuritava teguri kohta

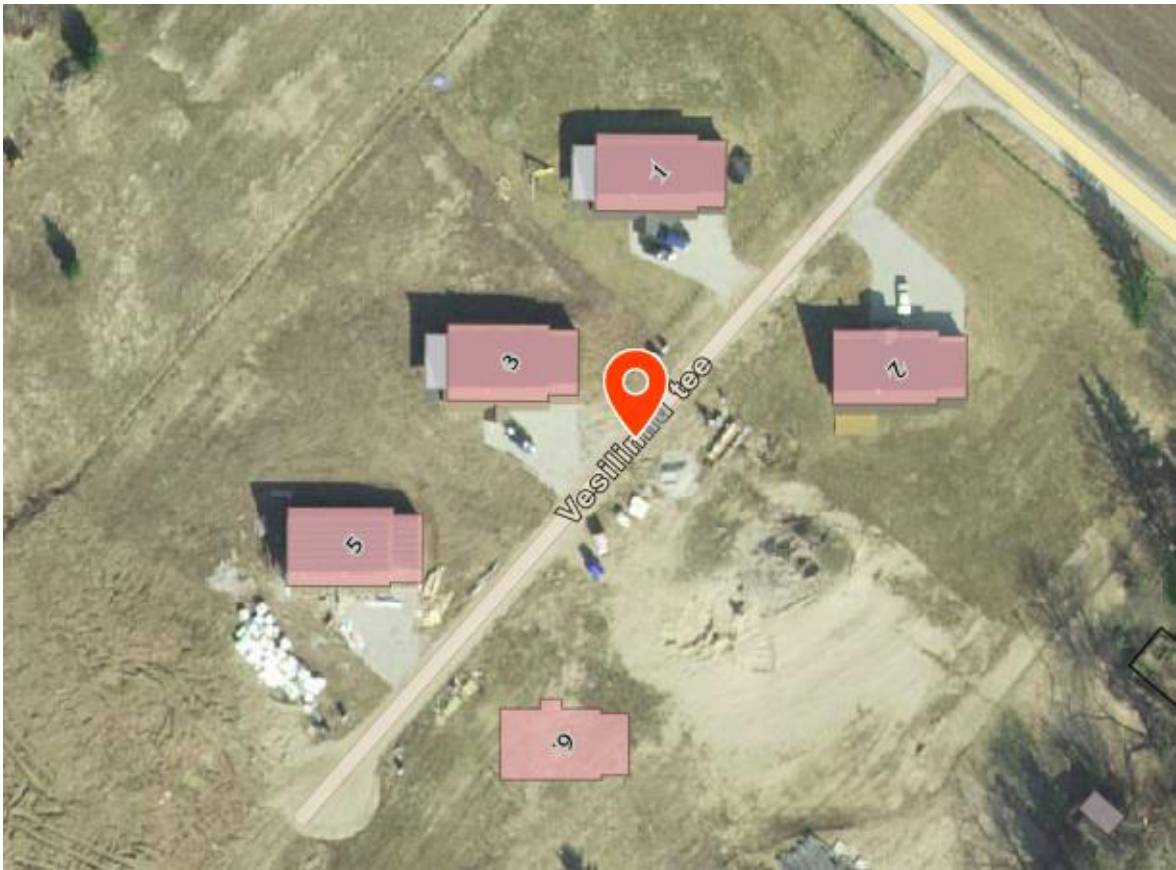
Kaunase Tehnikaülikoolis (Leedu) on uuritud välise soojusisolatsiooni komposiitsüsteemi ETICS (External Thermal Insulation Composite System) kasutamise mõju soojapidavusele ja heliisolatsioonile. Tulemused näitavad, et 140 mm silikaattellistest mõlemalt poolt krohvitud seinale ETICSi lisamine, kus soojusisolatsioonimaterjalina on kasutatud vahtpolüstüreeni, soojuspidavus suureneb 4,88 m²K/W võrra, kuid heliisolatsioonivõime R'_w ei parane. Samale seinale ETICSi lisamine, kus soojusisolatsioonimaterjalina aga on kasutatud mineraalvilla, soojapidavus paraneb 5,09 R m²K/W võrra ja heliisolatsiooni võime paraneb R'_w kuni 4 dB võrra. Kui aga lisada krohvi kiht ETICSi kihi peale, parandaks see mõlemal juhul seina helisolatsiooni võimet 3 kuni 7 dB võrra. [1]

Eelnevalt toodi välja artikkel, kus on kajastatud ja uuritud mõlemaid magistritöös uuritavaid ehitusfüüsikalise omadusi. Ainult soojapidavust kajastavad mõned varasemad teadustööd on kajastatud peatükis 2.6 ja ainult heliisolatsiooni puudutavad mõned varasemad teadustööd on toodud välja peatükis 3.2.

1.2 Uuritavad objektid

Uuritavateks objektideks on sama põhiplaani hooned, mille mõõtmed on peaaegu samad. See annab aluse võrrelda sama põhiplaani erinevate konstruktsioonidega ehitusfüüsikalisi näitajaid. Mõlemad hooned asetsevad ka samas kohas ehk Tartu maakonnas Saadjärve külas Vesilinnu tee tänavas (vt joonis 1.2.1), mistõttu on ka välistingimused mõlemale hoonele samad. Hoonete ruumide paigutus on täpselt peegelpildis. Hoonete konstruktsiooniline erinevus seisneb välisseinakonstruktsioonis ja vundamenditüübis.

Vesilinnu tee 1 üksikelamut hakati ehitama 2015. aasta jaanuaris ja valmis 2017. aasta märtil. Vesilinnu tee 6 üksikelamut hakati ehitama 2020. aasta jaanuaris ja valmis 2021. aasta veebruariks.



Joonis 1.2.1 Vesilinnu tee 1 elamu ja Vesilinnu tee 6 elamu asukoht Tartumaal Saadjärve külas (Maa-amet 2021)

Vesilinnu tee 6 elamu asetseb rohkem järve pool võrreldes Vesilinnu tee 1 elamuga. Vesilinnu tee 6 elamu näol on tegemist Bauroc-kergplokkidest välisseina kandva osaga hoonega, mille vundament on lahendatud plaatvundamentsüsteemina. Hoone on toodud välja järgmisel joonisel 1.2.2.



Joonis 1.2.2 Vesilinnu tee 6 üksikelamu (foto autor: Allar Loot)

Vesilinnu tee 1 elamu asetseb rohkem Mullavere-Saadjärve tee ääres võrreldes Vesilinnu tee 6 elamuga. Tegemist on hoonega, mille välisseina kandev osa on puitkarkassist ja mille vundament on projekteeritud 240 mm laiustest seest betoneeritud õõnesplokkidest. Vundamendi taldmikud on 300 mm paksusest raudbetoonist laiusega 600 mm. Hoone ebaühtlase vajumise ärahoidmiseks on paigaldatud ümber perimeetri vundamendi taldmiku alumisse ja ülemisse ossa armatuurvardad. Hoone on toodud välja järgmisel joonisel 1.2.3.



Joonis 1.2.3 Vesilinnu tee 1 üksikelamu (foto autor: Allar Loot)

Elamute tehnilisi andmeid võrreldes ilmneb, et Vesilinnu tee 6 elamu on pisut kõrgem ja ka pikkus ning laius on pisut suuremate väärtustega (vt tabel 1.2.1). Tabelis 1.2.1 on toodud välja Vesilinnu tee 6 ja Vesilinnu tee 1 üksikelamu tehnilised andmed (Ehitisregister 2021). Vesilinnu tee 1 elamul pole Ehitisregisris nii palju andmeid toodud võrreldes Vesilinnu tee 6 elamuga, sest on varasemalt ehitatud.

Tabel 1.2.1 Vesilinnu tee 6 elamu ja Vesilinnu tee 1 elamu tehnilised andmed (Ehitisregister 2021)

Andmed	Vesilinnu tee 6 elamu	Vesilinnu tee 1 elamu
Ehitisealune pind:	192,9 m ²	229,2 m ²
Maapealse osa alune pind:	192,9 m ²	-
Kõrgus:	7,9 m	7,3 m
Maapealsete korruste arv:	1	1
Absoluutne kõrgus:	63,5 m	-
Laius:	11,7 m	10,2 m
Pikkus:	18,7 m	18,6 m
Suletud netopind:	156,8 m ²	149,9 m ²
Sügavus:	0 m	0 m
Köetav pind:	124,4 m ²	119 m ²
Maht:	1 100 m ³	801,6 m ³
Maapealse osa maht:	1 100 m ³	801,6 m ³
Üldkasutatav pind:	0 m ²	0 m ²
Tehnopind:	3,9 m ²	-
Maa-aluste korruste arv:	0	0

Vesilinnu tee 6 elamu välisseina ja aluspõranda läbilõige on toodud peatükis 2.3.1 ja Lisa 5 joonisel ning Vesilinnu tee 1 elamu ja aluspõranda läbilõige on toodud peatükis 2.3.2 ja Lisa 6 ja Lisa 8 joonistel.

2. KÜLMASILLAD

Tarindi osa, mille soojajuhtivus on tarindi muudest piirkondadest suurem, nimetatakse külmasillaks. Külmasildasid jagatakse geomeetrilisteks ja konstruktsioonilisteks, joon-, koht- ja punktkülmasildadeks. [2] Geomeetrilisteks külmasildadeks on näiteks põranda ja välisseina liitumine, välisseina nurk ning katuslae ja välisseina liitumine. Ehitustehniliste külmasildade alla kuuluvad näiteks välisvoodri sidemed ja läbiviigud tarinditest. Eraldi arvestatakse sisse kohad, kus on tõenäoliselt lisasoojuskaod. Nendeks on punktkülmasillad ja joonkülmasillad. [3]

Külmasildadega tuleb arvestada mitmetel põhjustel:

- Külmasillad on hoonete energiakulu suurendamise üheks põhjuseks;
- Külmasillad võivad põhjustada tarindi sisepinnal või tarindis mikroorganismide arengu, mis on tingitud külmasilla suuremast soojusjuhtivusest põhjustatud madalamast sisepinna temperatuurist ja sellest omakorda põhjustatud kõrgemast suhtelisest niiskusest. Hallituse arenguks sobib suhteline niiskus toas alates 75...80% juures;
- Madalate pinnatemperatuuride varieeruvus mõjuvad inimestele ebamugavalt, kuna põhjustavad õhuliikumist ning ebasümmeetrilist kiirgust. [3]

Külmasildade arvutamisel lähtuti järgmistest regulatsioonidest: EVS-EN ISO 7345:2018 „Thermal performance of buildings and building components – Physical quantities and definitions“, EVS-EN ISO 6946:2017. „Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojusläbivus. Arvutusmeetodid“ ja EVS-EN ISO 10211:2017 „Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused“ [4] [5] [6].

2.1 Külmasildade tase

Temperatuuriindeks f_{Rsi} iseloomustab külmasildade taset. Tegemist on suhtega sisepinnatemperatuuri ning välistemperatuuri ja sisetemperatuuri vahel [7]. See arvutatakse standardi EVS EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite

soojus-ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid" põhjal järgneva valemiga: [8]

$$f_{R_{si}} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T}, \quad (2.1.1) [8]$$

kus $f_{R_{si}}$ - temperatuuriindeks,

t_e - välistemperatuur, °C,

R_{si} - piirdekonstruktsiooni sisepinna soojustakistus, m²·K/W,

t_{si} - sisepinnatemperatuur, °C,

R_T - piirdekonstruktsiooni kogusoojustakistus, m²·K/W,

t_i - sisetemperatuur, °C.

Temperatuuriindeksi suurus tänapäevastel hoonetel peaks olema järgmine: $f_{R_{si}} \geq 0,8$ [8].

2.2 Termograafilised mõõtmised

Pinnad kiirgavad soojust, kui nende temperatuur on kõrgem kui absoluutne null. Infrapunakaamera aitab leida pinna temperatuuri, kus arvestatakse materjali pinnalt peegeldunud või kiirgunud soojaenergiat, vastava pinna omadusi ja ümbruse keskkonnatingimusi. Termografeerimine võimaldab ehitustehnikas teostada mitmeid uuringuid ilma tarindit avamata. Termografeerimise põhilised eesmärgid on järgmised [7]:

- Hinnata, kui palju erineb hoone välispiirete soojusjuhtivus vastavalt erinevatele pinnatemperatuuridele;

- Õhulekkekohtade leidmine ja nende suuruste hindamine termograafiliste mõõtmiste teel normaaltingimustes ja ala- või ülerõhu tingimustes;
- Põranda- ja seinasiseste veetorude ning ülekuumenenud elektrijuhtmete leidmine;
- Hoonepiirete pinnatemperatuuride varieeruvuse määramine;
- Ehituskvaliteedile hinnagu andmine. [7]

Termografeerimisel lähtuti standardis EVS EN 13187:2001 „Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method“ toodud infrapuna meetodist [9]. Termografeerimisel saadakse objekti pinna temperatuurijaotus, mis aitab hinnata tarindi soojustehnilist toimivust [10]. Termokaameraga saab mõõta ainult hetkelist pinnatemperatuuri. Tulemust kasutatakse arvutusliku temperatuurindeksi määramisel. Termografeerimise kvaliteedi eelduseks on järgmised asjaolud: kompetentne mõõtja, termopiltide korrektne arusaamine ja kvaliteetsed mõõteriistad. [7]

Tulenevalt niiskuskooormusest, on temperatuurindeksite piirväärtused nii veeauru kondenseerumiseks kui ka hallituse kasvuks välja arvutatud vastavalt standardi EVS EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite soojus-ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisise kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid“ ja professor T. Kalamees teadustöö põhjal [8] [11]. Järgnevas tabelis 2.2.1 on toodud välja vastavad temperatuurindeksi piirväärtused [8] [11]. Vesilinnu tee 6 üksikelamu ja Vesilinnu tee 1 üksikelamu kuuluvad pigem esimesse tabelis toodud rühma ehk hea ventilatsiooniga ja madala asustusega elamud, kuid kuna tegemist on uute elamutega, siis seadus nõuab, et temperatuurindeks oleks suurem, võrdne kui 0,8 [8].

Tabel 2.2.1 Temperatuuriindeksi piirväärtused vastavalt standardile EVS EN ISO 13788:2012 ja T.Kalamees teadustööle [8] [11]


Niiskukoormus		Temperatuuriindeksi piirsuurus F_{Rsi}	
		Hallituse tekkimise vältimine	Kondenseerumise tekkimise vältimine
Niiskuselise suvel $+1,5 \text{ g/m}^3$ ja talvel $+4 \text{ g/m}^3$	Hea ventilatsiooniga ning madala asustusega elamud	$\geq 0,65$	$\geq 0,55$
Niiskuselise suvel $+2,5 \text{ g/m}^3$ ja talvel $+6 \text{ g/m}^3$	Halva ventilatsiooniga ning kõrge asustusega elamud	$\geq 0,8$	$\geq 0,7$

2.2.1 Termografeerimine

Termografeerimine toimus peamiselt hoones seestpoolt vastavalt infrapuna meetodile standardi EVS-EN 13187:2001 „Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method“ põhjal [9]. Mõõtmisi teostati välissein-välissein nurgaliidetes, välissein-vundamendi ühendustes ja akna-välisseina ühendustes, sest need on peamised külmasillad ühekorruselistes elamutes [7]. Nende mõõtmistega saadi teada kui pädevalt on liited tehtud ja kas vastavad THERM 7.7 arvutatud tulemustele.


Mõõtmisi teostati tingimustes, kus vastavalt digitaalse termomeetriga Velleman TA20 mõõtes oli Vesilinnu tee 1 sisetemperatuur $t_i = 24,5 \text{ }^\circ\text{C}$, kuid kahes toas idapoolses küljes (vt Lisa 2 korruseplaani), kus olid välisnurgad, oli sisetemperatuur $t_i = 23,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Vesilinnu tee 6 sisetemperatuur vastavalt termomeetrile oli maja keskel $t_i = 24,0 \text{ }^\circ\text{C}$, 4. toas $t_i = 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$, elutoa lõunapoolses küljes $t_i = 21,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ja 1. toas ehk magamistoas $t_i = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (vt Lisa 1 korruseplaani). Välistemperatuur oli mõlema maja mõõtmisel termomeetri ja Tartu-Tõravere ilmajaama andmetel $t_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ [12]. Termografeerimised toimusid varahommikul ning ilm oli olnud pilvine, et päike tulemusi ei mõjutanud. Sise- ja välistemperatuuri erinevus oli kõige rohkem $24-24,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ning kõige vähem $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Digitaalse termomeetri Velleman TA20 tehnilised andmed on toodud välja järgmises tabelis 2.2.1.1 [13].

Tabel 2.2.1.1 Digitaalse termomeetri Velleman TA20 tehnilised andmed [13]

Katseseadeldis	Mõõtevahemik	Mõõtetäpsus
	<p>-10°C kuni +50°C (sisetemperatuuril)</p> <p>-50°C kuni +70°C (välistemperatuuril)</p>	<p>0,1 °C</p>

Hoone hindamiseks sobiv termokaamera peab olema tasakaalustatud, kuvav ja mõõtev mõõteseade [10]. Termograafilised mõõtmised teostati termokaameraga FLIR E6. Aparaaadi tehnilised andmed on välja toodud järgnevalt esitatud tabelis 2.2.1.2. [14]

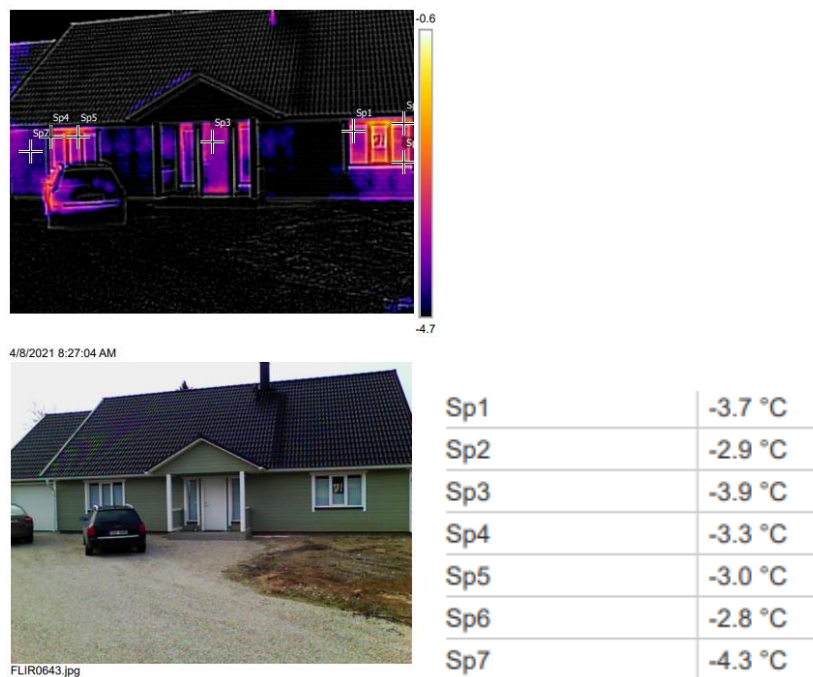
Tabel 2.2.1.2 Termokaamera FLIR E6 tehnilised andmed [14]

Katseseadeldis	Mõõtevahemik	Mõõtetäpsus
	<p>-20 kuni +250 °C</p>	<p>2°C (±2% lugemist)</p>

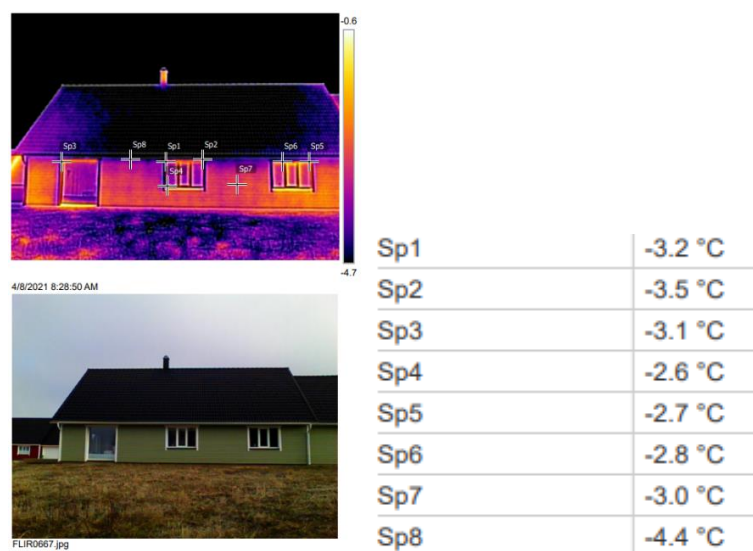
Sisetemperatuuri ja välistemperatuuri mõõdeti digitaalse termomeetriga. Programmiga Flir Tools töödeldi termokaameraga tehtud pilte, kus tehtud fotole sai määrata konkreetseid punkte, mille temperatuur kuvati ekraanil. Vastavalt minimaalsetele temperatuuridele arvutati Microsoft Exceli abil temperatuurindeksid.

2.2.2 Välise termografeerimise tulemused

Hoonete välisfassaad termografeeriti termokaamera nii infrapuna- kui ka tavakaamerafunktsiooniga. Piltide asukohad on leitavad hoone plaanidelt (vt Lisa 1 kuni Lisa 2).

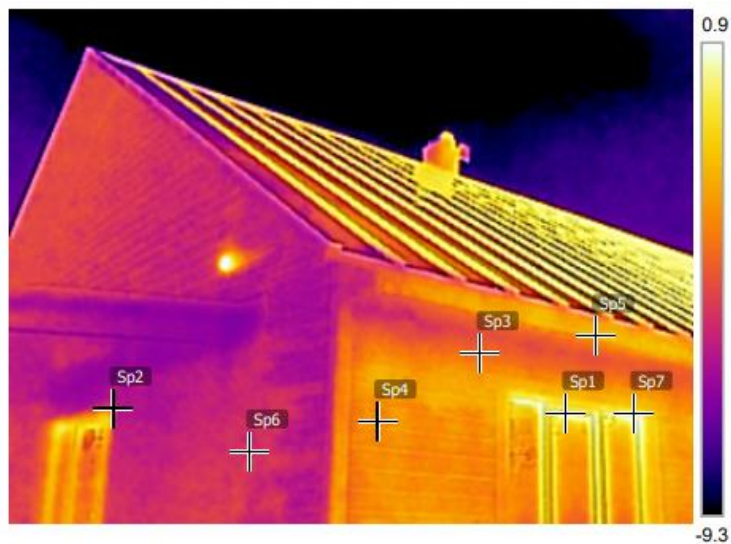


Joonis 2.2.2.1 Vesilinnu tee 6 üksikelamu põhja külje välisfassaadi termopilt ja foto



Joonis 2.2.2.2 Vesilinnu tee 6 üksikelamu lõuna külje välisfassaadi termopilt ja foto

Välisest termografeerimisest võib järeldada, et Vesilinnu tee 6 üksikelamu seinakonstruktsiooni välispinna temperatuur jäi vahemikku $t_{se} = -4,4...-3 \text{ °C}$ (vt joonised 2.2.2.1 ja 2.2.2.2). Akende raamide välispinna temperatuur jäi vahemikku $t_{se} = -3,7...-2,6 \text{ °C}$ (vt joonised 2.2.2.1 ja 2.2.2.2).



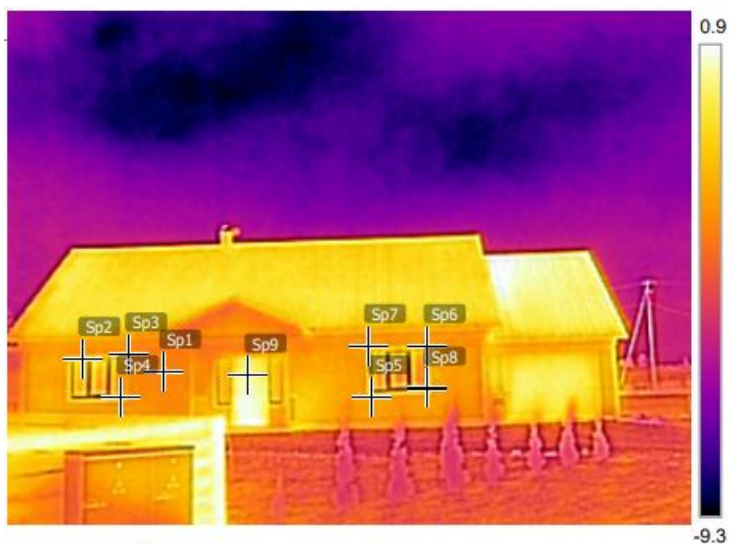
4/8/2021 8:22:39 AM



FLIR0589.jpg

Sp1	-0.8 °C
Sp3	-4.5 °C
Sp5	-3.2 °C
Sp2	-4.7 °C
Sp4	-3.9 °C
Sp6	-5.2 °C
Sp7	-1.1 °C

Joonis 2.2.2.3 Vesilinnu tee 1 üksikelamu edela külje välisfassaadi termopilt ja foto



4/8/2021 8:21:50 AM



FLIR0581.jpg

Sp1	-3.1 °C
Sp2	-1.7 °C
Sp3	-2.6 °C
Sp4	-2.9 °C
Sp5	-2.2 °C
Sp6	-1.9 °C
Sp7	-2.5 °C
Sp8	-2.5 °C
Sp9	-0.2 °C

Joonis 2.2.2.4 Vesilinnu tee 1 üksikelamu lõuna külje välisfassaadi termopilt ja foto

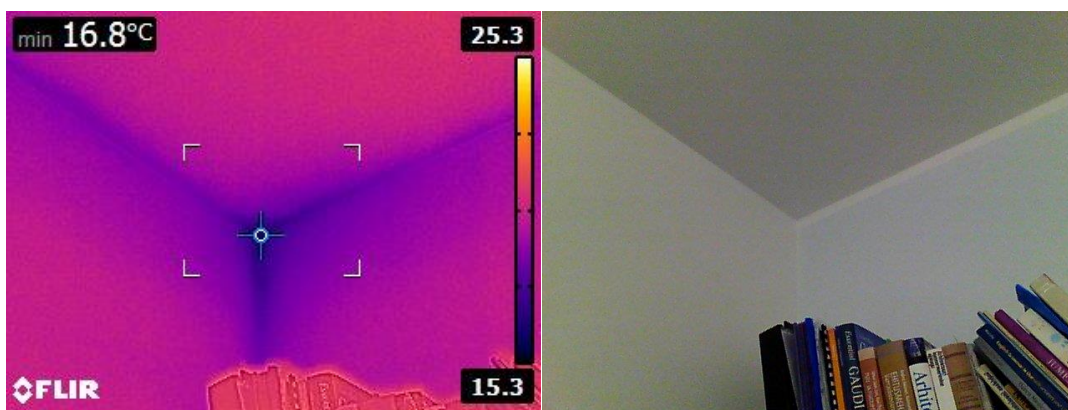
Termografeerimisest võib järeldada, et seinakonstruktsioonide välispinna temperatuur Vesilinnu tee 1 üksikelamul jäi vahemikku $t_{se} = -5,2...-2,6$ °C (vt joonised 2.2.2.3 ja 2.2.2.4). Akende raamide juures jäi välispinna temperatuur vahemikku $t_{se} = -2,9...-0,8$ °C (vt joonised 2.2.2.3 ja 2.2.2.4).

Vesilinnu tee 1 üksikelamu seinakonstruktsioon oli lõuna pool kohati soojem, kuid see võib olla põhjustatud akende vahelt lekkivast soojusest, sest aknad on jooniste järgi paremini soojustatud ja tihendatud Vesilinnu tee 6 elamul. Vesilinnu tee 1 elamul kohati esines soojalekkeid akende ümbruses rohkem võrreldes Vesilinnu tee 6 elamuga.

2.2.3 Sisemise termografeerimise tulemused Vesilinnu tee 6 üksikelamul

Hoonete siseruumides teostati termokaameraga nii tava- kui ka termofotosid ja piltide tegemise asukohad on märgitud hoone plaanil (vt Lisa 1 põhiplaanilt). Põhirõhk sisemisel pildistamisel termokaameraga oli hoone välisnurkadel, välissein-vundamendi ühendustel ja akna-välisseina liidetal.

Välissein-välissein nurgauhendused

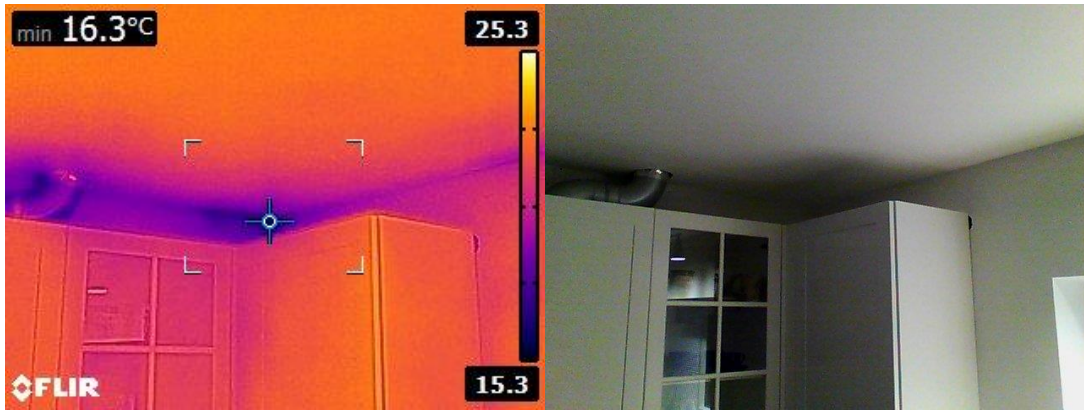


Joonis 2.2.3.1 Vesilinnu tee 6 hoone kirdenurga välissein-välissein ühendus panipaiga ja välisõhuga termopilt ning foto

Kirdenurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 16,8 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.1). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 21 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.1) nurk vastab uutele elamutele kehtestatud nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega pole veel ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.1 Vesilinnu tee 6 üksikelemau kirdenurga välissein-välissein nurgauhenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.1	16,8	0	21	0,80

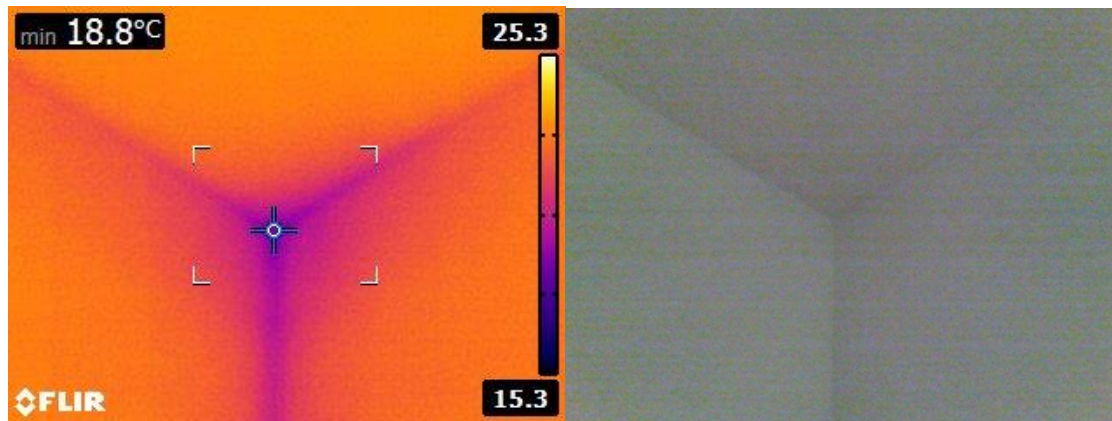


Joonis 2.2.3.2 Vesilinnu tee 6 hoone loodenurga välissein-välissein nurgäühenduse termopilt ning foto

Loodenurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 16,3 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.2). Selle toa temperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 21,8 \text{ °C}$, nurk temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.2) aga ei vasta uutele hoonetele kehtestatud nõuetele vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 [8]. Oht kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks on piiripealne (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Põhjuseks võib olla õhupuhasti väljatõmbetoru lähedus, mis on halvasti tihendatud.

Tabel 2.2.3.2 Vesilinnu tee 6 üksikelamu loodenurga välissein-välissein nurgäühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.2	16,3	0	21,8	0,75

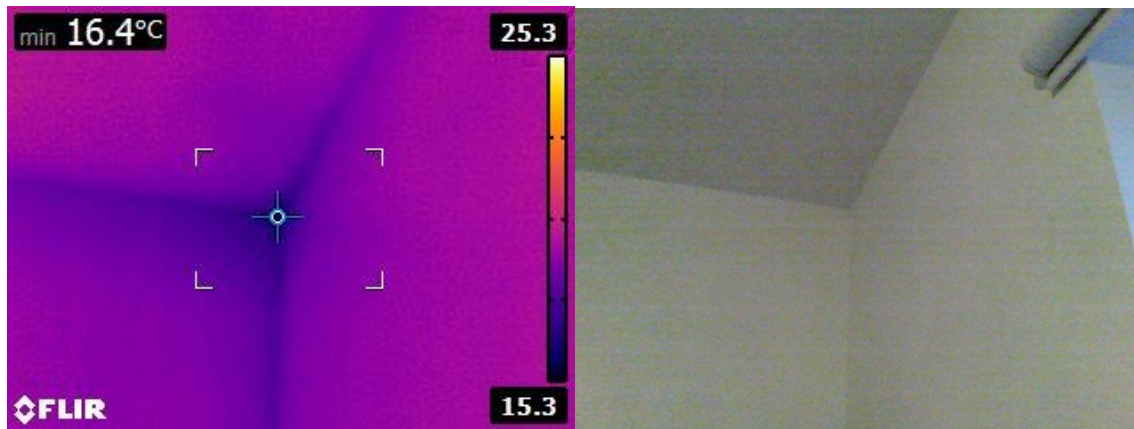


Joonis 2.2.3.3 Vesilinnu tee 6 hoone edelanurga välissein-välissein nurgaühenduse termopilt ning foto

Edelanurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 18,8 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.3). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24 \text{ °C}$, nurga temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.3) ei vasta see napilt uutele elamutele kehtestatud nõuetele vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 [8]. Oht kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks on piiripealne (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Põhjuseks võib olla suurte klaaspindade lähedus või halb soojustamine nurgaühenduse juures.

Tabel 2.2.3.3 Vesilinnu tee 6 üksikelamu edelanurga välissein-välissein nurgaühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.3	18,8	0	24	0,78



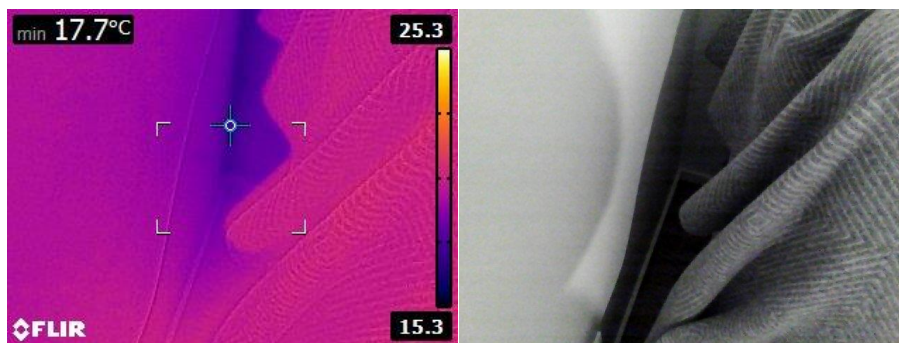
Joonis 2.2.3.4 Vesilinnu tee 6 hoone kagunurga välissein-välissein ühendus panipaiga ja välisõhuga termopilt ning foto

Kagunurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 16,4 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.4). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 20,5 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel nurk (vt tabel 2.2.3.4) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.4 Vesilinnu tee 6 üksikelamu kagunurga välissein-välissein nurgaühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.4	16,4	0	20,5	0,80

Välissein-vundamendi ühendused

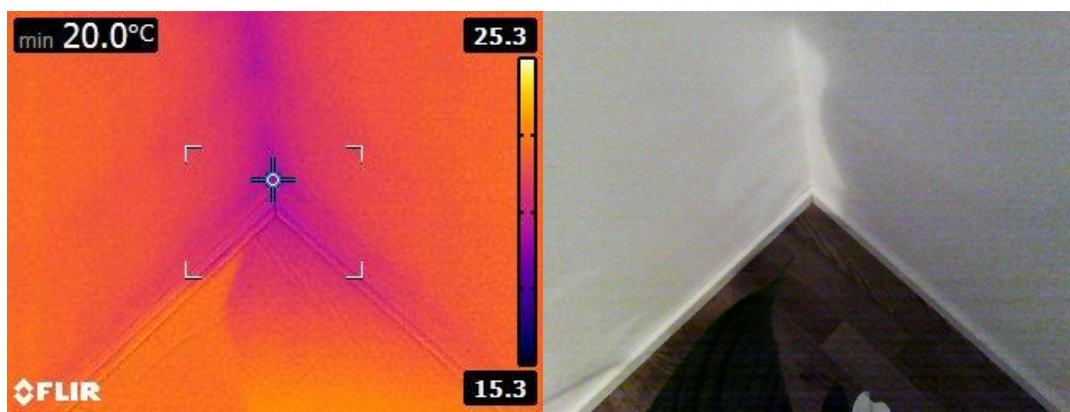


Joonis 2.2.3.5 Vesilinnu tee 6 hoone kirdenurga välissein-vundamendi ühenduse termopilt ning foto

Kirdenurga välissein-vundamendi ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 17,7 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.5). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 21 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.5) ühendus vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Loodenurga välissein-vundamendi ühendusele köögimööbli tõttu ligi ei pääsenud.

Tabel 2.2.3.5 Vesilinnu tee 6 üksikelamu kirdenurga välissein-vundamendi ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.5	17,7	0	21	0,84

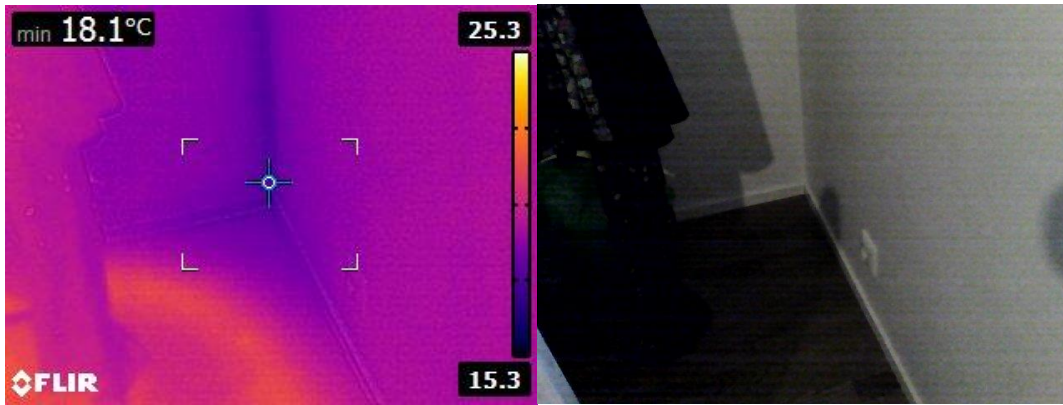


Joonis 2.2.3.6 Vesilinnu tee 6 hoone edelanurga välissein-vundamendi ühenduse termopilt ning foto

Edelanurga välissein-vundamendi ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 20 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.6). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.6) ühendus vastab täielikult nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.6 Vesilinnu tee 6 üksikelamu edelanurga välissein-vundamendi ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.6	20	0	24	0,83



Joonis 2.2.3.7 Vesilinnu tee 6 hoone kagunurga välissein-vundamendi ühenduse termopilt ning foto

Kagunurga välissein-vundamendi ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 18,1$ °C (vt joonist 2.2.3.7). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 20,5$ °C. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.3.7) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.7 Vesilinnu tee 6 üksikelamu kagunurga välissein-vundamendi ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.7	18,1	0	20,5	0,88

Akna- ja välisseinaühendused

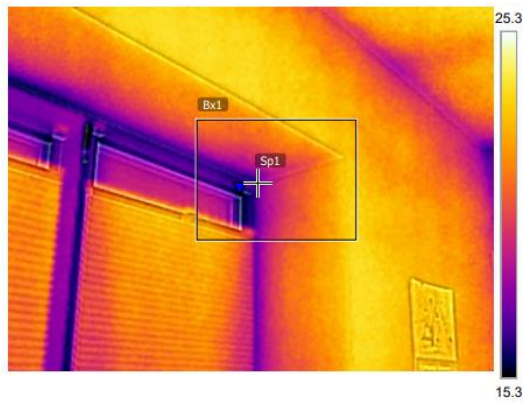


Joonis 2.2.3.8 Vesilinnu tee 6 üksikelamu tuba 1 akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 1 jooniselt)

Toa 1 akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 17,6 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.8). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 20,5 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.3.8) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.8 Vesilinnu tee 6 üksikelamu tuba 1 akna-välisseina ühenduses temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.8	17,6	0	20,5	0,86



4/9/2021 5:49:08 AM



FLIR0727.jpg

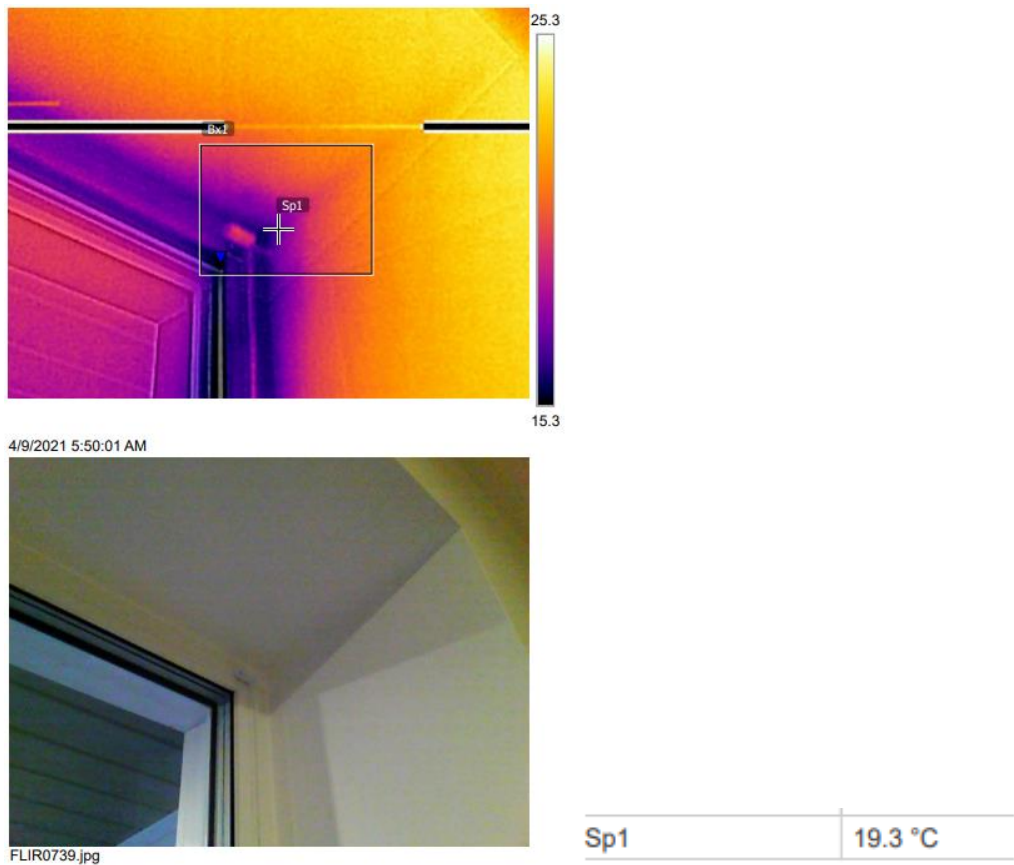
Sp1 17.4 °C

Joonis 2.2.3.9 Vesilinnu tee 6 üksikelamu tuba 5 akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 1 jooniselt)

Toa 5 akna-välisseina sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 17,4$ °C (vt joonist 2.2.3.9). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 20,5$ °C. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.3.9) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.9 Vesilinnu tee 6 üksikelamu tuba 5 akna-välisseina ühenduses temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.9	17,4	0	21	0,83

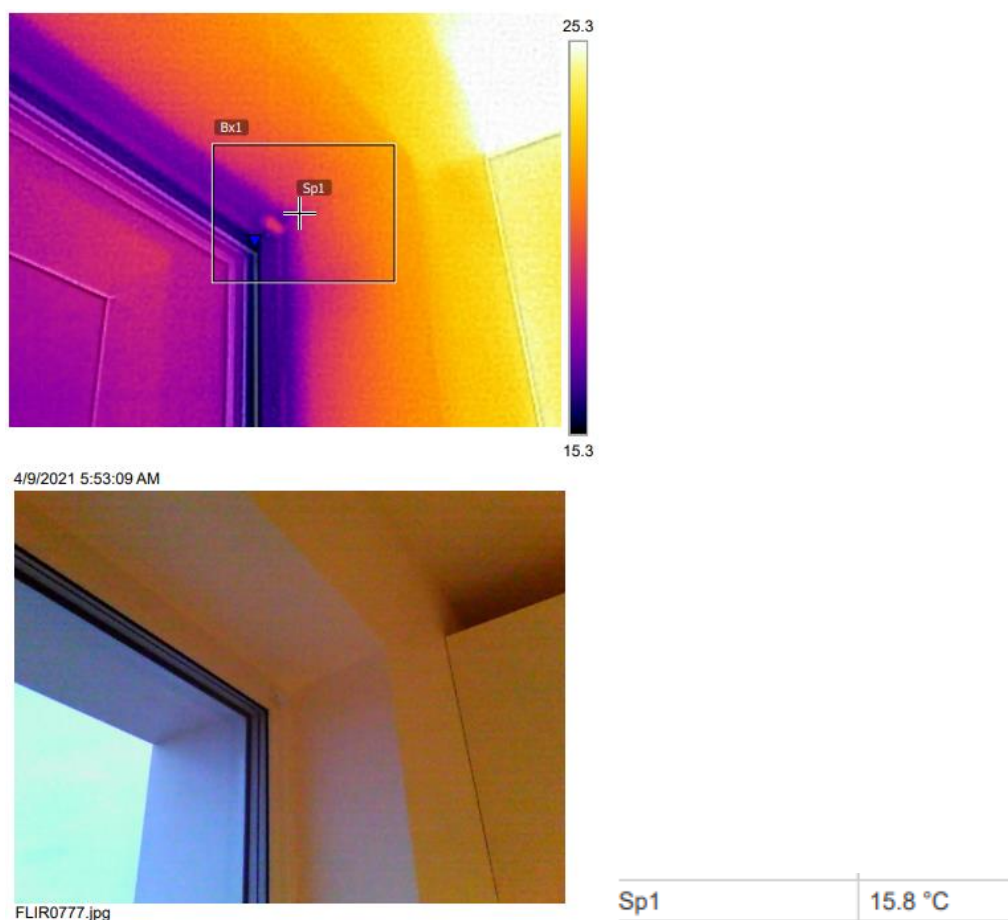


Joonis 2.2.3.10 Vesilinnu tee 6 üksikelamu tuba 3 akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 1 jooniselt)

Toa 3 akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 19,3 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.10). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.3.10) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.3.10 Vesilinnu tee 6 üksikelamu tuba 3 akna-välisseina ühenduses temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.10	19,3	0	24	0,80



Joonis 2.2.3.11 Vesilinnu tee 6 üksikelamu elutoa akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 1 jooniselt)

Elutoa akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 15,8 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.11). Toa sisetemperatuur oli $t_i = 20,5 \text{ °C}$. Nurga temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.11) vastavalt toa temperatuurile ei vasta ühendus napilt uutele elamutele kehtestatud nõuetele vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 ning oht kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks on piiripealne (vastavalt tabelile 2.2.1) [8] [11]. Põhjuseks võib olla akna ebakorrekne ja -piisav tihendamine.

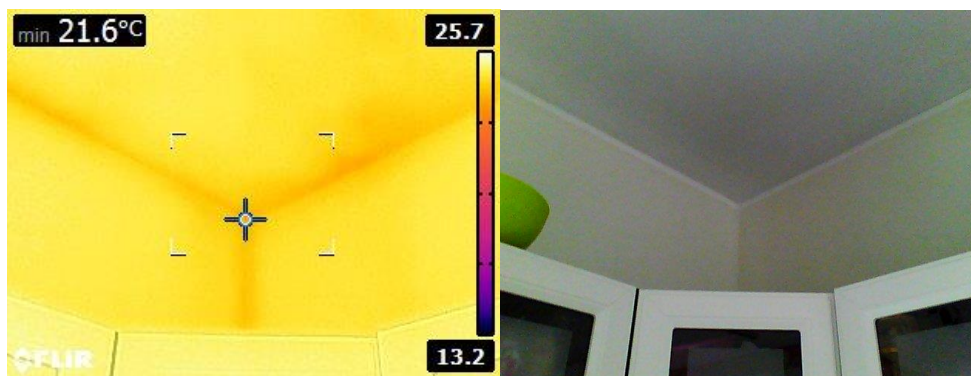
Tabel 2.2.3.11 Vesilinnu tee 6 üksikelamu elutoa akna-välisseina ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.3.11	15,8	0	20,5	0,77

2.2.4 Sisemise termografeerimise tulemused Vesilinnu tee 1 üksikelamul ja võrdlus Vesilinnu tee 6 üksikelamuga

Hoonete siseruumides teostati termograafilisi mõõtmisi termokaameraga, millega tehti nii tava- kui ka termofotosid ja piltide asukohad on märgitud hoone plaanilt (vt Lisa 2 põhiplaanilt). Põhirõhk sisemisel pildistamisel termokaameraga oli välisnurkadel, välisseina-vundamendi nurkadel ja akna-välisseina liidetel.

Välissein-välissein nurgäihendused

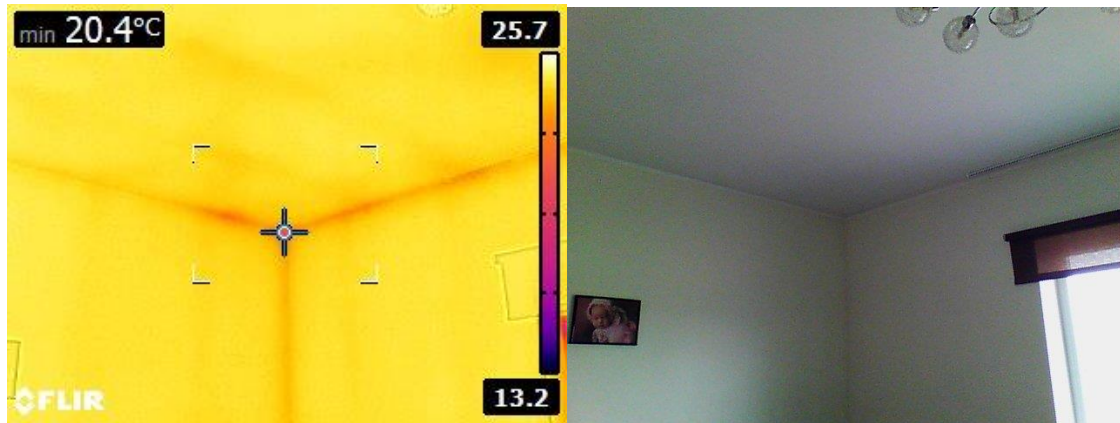


Joonis 2.2.4.1 Vesilinnu tee 1 hoone edelanurga välissein-välissein sõlme termopilt ning foto

Edelanurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 21,6 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.1). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.4.1) nurk vastab täielikult nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Võrreldes Vesilinnu tee 6 üksikelamuga, kus temperatuuriindeks $f_{Rsi} = 0,78$ oli uutele elamutele kehtestatud nõuetega alla normi, on edelanurga sõlm Vesilinnu tee 1 üksikelamul paremini teostatud.

Tabel 2.2.4.1 Vesilinnu tee 1 üksikelamu edelanurga välissein-välissein nurgäihenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.1	21,6	0	24,5	0,88

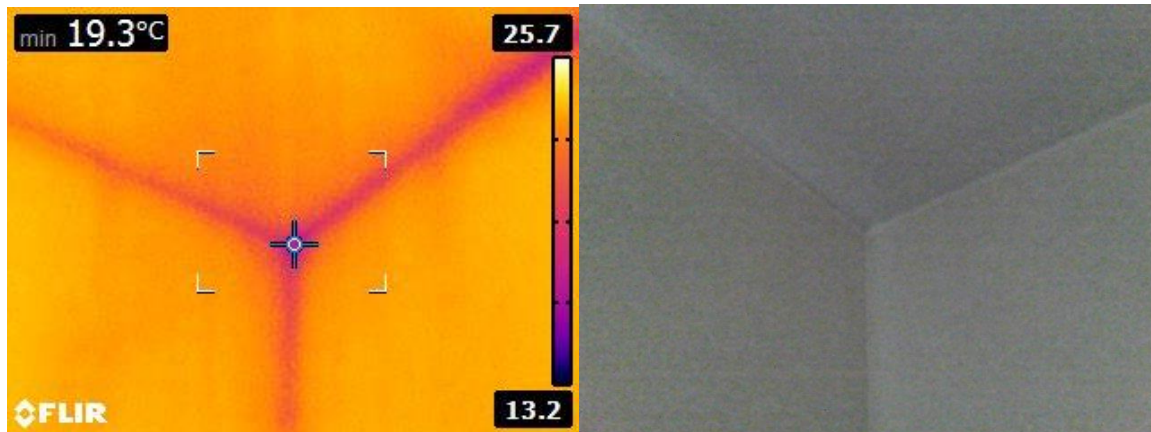


Joonis 2.2.4.2 Vesilinnu tee 1 hoone loodenurga välissein-välissein sõlme termopilt ning foto

Loodenurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 20,4 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.2). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.4.2) nurk vastab täielikult nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Võrreldes Vesilinnu tee 6 üksikelamuga, kus loodenurga temperatuuriindeks $f_{Rsi} = 0,75$ oli alla normi, on loodenurga sõlm Vesilinnu tee 1 üksikelamul paremini teostatud.

Tabel 2.2.4.2 Vesilinnu tee 1 üksikelamu loodenurga välissein-välissein nurgäühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.2	20,4	0	24,5	0,83

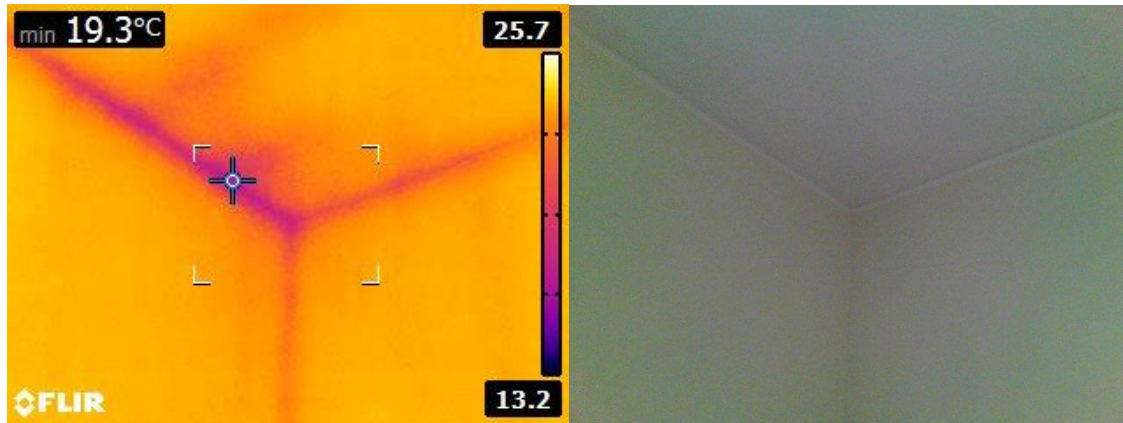


Joonis 2.2.4.3 Vesilinnu tee 1 hoone kagunurga välissein-välissein sõlme termopilt ning foto

Kagunurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 19,3 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.3). Selle toa sisetemperatuur oli suure toaga võrreldes madalam, täpselt $t_i = 23 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.4.3) nurk vastab täielikult nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Võrreldes Vesilinnu tee 6 üksikelamuga, kus kagunurga temperatuuriindeks oli $f_{Rsi} = 0,80$, on kagunurga sõlm Vesilinnu tee 1 üksikelamul paremini teostatud.

Tabel 2.2.4.3 Vesilinnu tee 1 üksikelamu kagunurga välissein-välissein nurgaühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.3	19,3	0	23	0,84



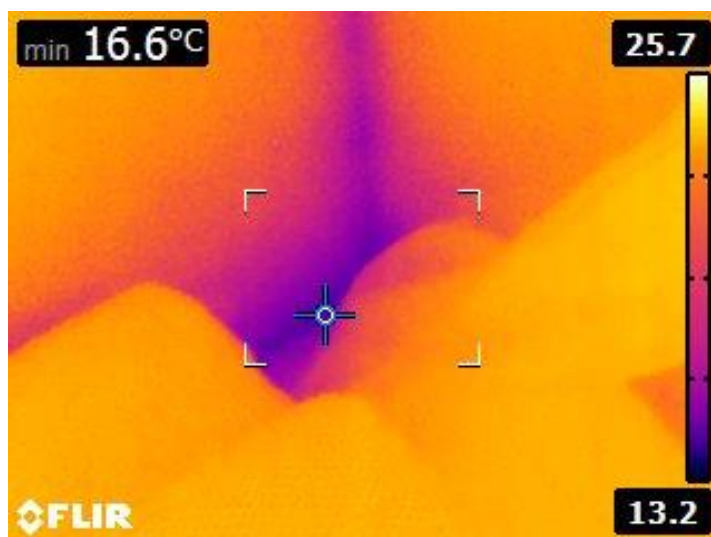
Joonis 2.2.4.4 Vesilinnu tee 1 hoone kirdenurga välissein-välissein sõlme termopilt ning foto

Kirdenurga välissein-välissein ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 19,3 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.4). Selle toa sisetemperatuur oli suure toaga võrreldes madalam, täpselt $t_i = 23 \text{ °C}$, millega temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.4.4) nurk vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 järgi [8]. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Võrreldes Vesilinnu tee 6 üksikelamuga, kus kirdenurga temperatuuriindeks oli $f_{Rsi} = 0,80$, on kirdenurga sõlm Vesilinnu tee 1 üksikelamul paremini teostatud.

Tabel 2.2.4.4 Vesilinnu tee 1 üksikelamu kirdenurga välissein-välissein nurgaühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.4	19,3	0	23	0,84

Välissein-vundamendi ühendused

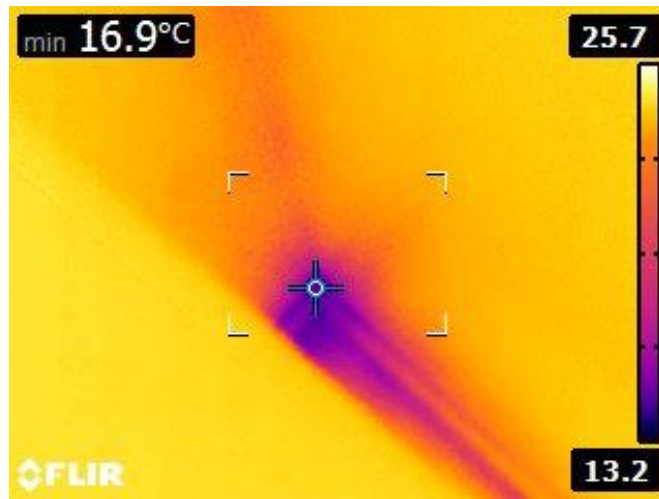


Joonis 2.2.4.5 Vesilinnu tee 1 hoone kagunurga välissein-vundamendi ühenduse termopilt

Kagunurga välissein-vundamendi ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 16,6 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.5). Selle toa sisetemperatuur oli madalam kui suures toas, täpsemalt $t_i = 23 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.4.5) ei vasta uutele elamutele kehtestatud nõuetele vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 [8]. Põhjuseks võib olla vundamendi ebapiisav soojustamine. Oht kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks on piiripealne (vastavalt tabelile 2.2.1) [11]. Võrreldes Vesilinnu tee 6 üksikelamuga, kus kagunurga temperatuuriindeks oli $f_{Rsi} = 0,88$, on kagunurga välisseina -vundamendi ühendus Vesilinnu tee 1 üksikelamul halvemini teostatud. Kagunurga ja loode nurga välisseina-vundamendi temperatuuri polnud suure mööbli tõttu võimalik mõõta.

Tabel 2.2.4.5 Vesilinnu tee 1 üksikelamu kagunurga välissein-vundamendi ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.5	16,6	0	23	0,72



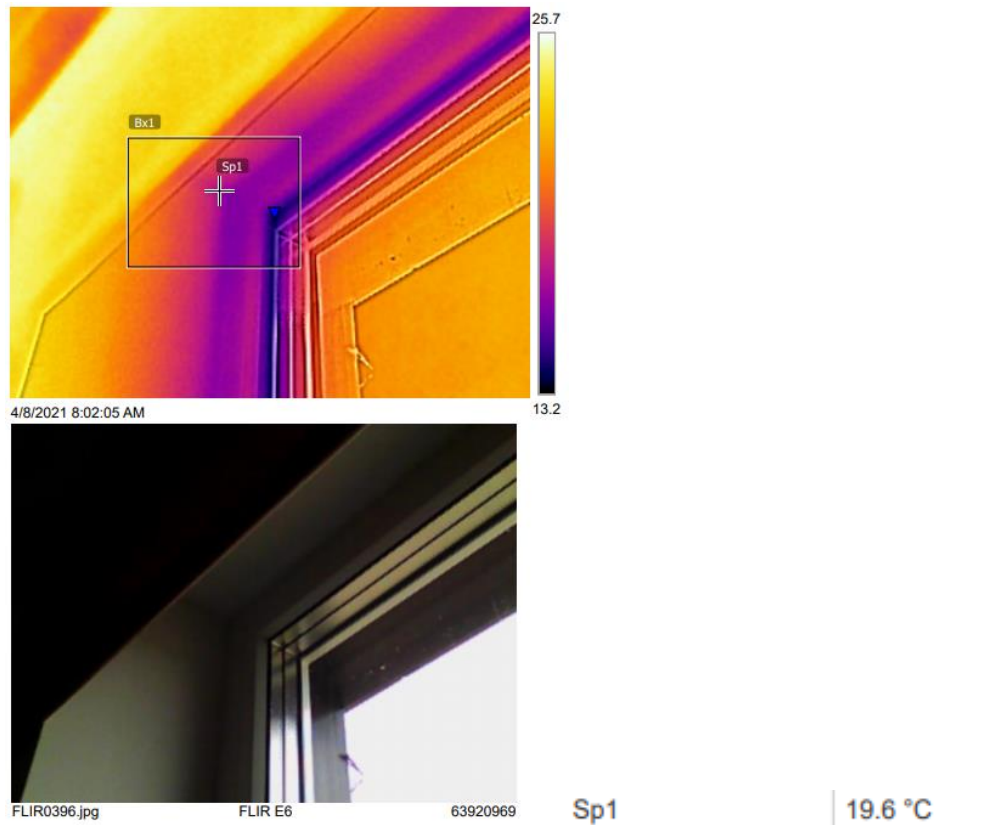
Joonis 2.2.4.6 Vesilinnu tee 1 hoone loodenurga välissein-vundamendi ühenduse termopilt

Loodenurga välissein-vundamendi ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 16,9 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.6). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.4.6) ei vasta uutele elamutele kehtestatud nõuetele vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 [8]. Põhjuseks võib olla vundamendi ebapiisav soojustamine. Oht kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks on väga piiripealne (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.4.6 Vesilinnu tee 1 hoone loodenurga välissein-vundamendi ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.6	16,9	0	24,5	0,69

Akna- ja välisseinaühendused

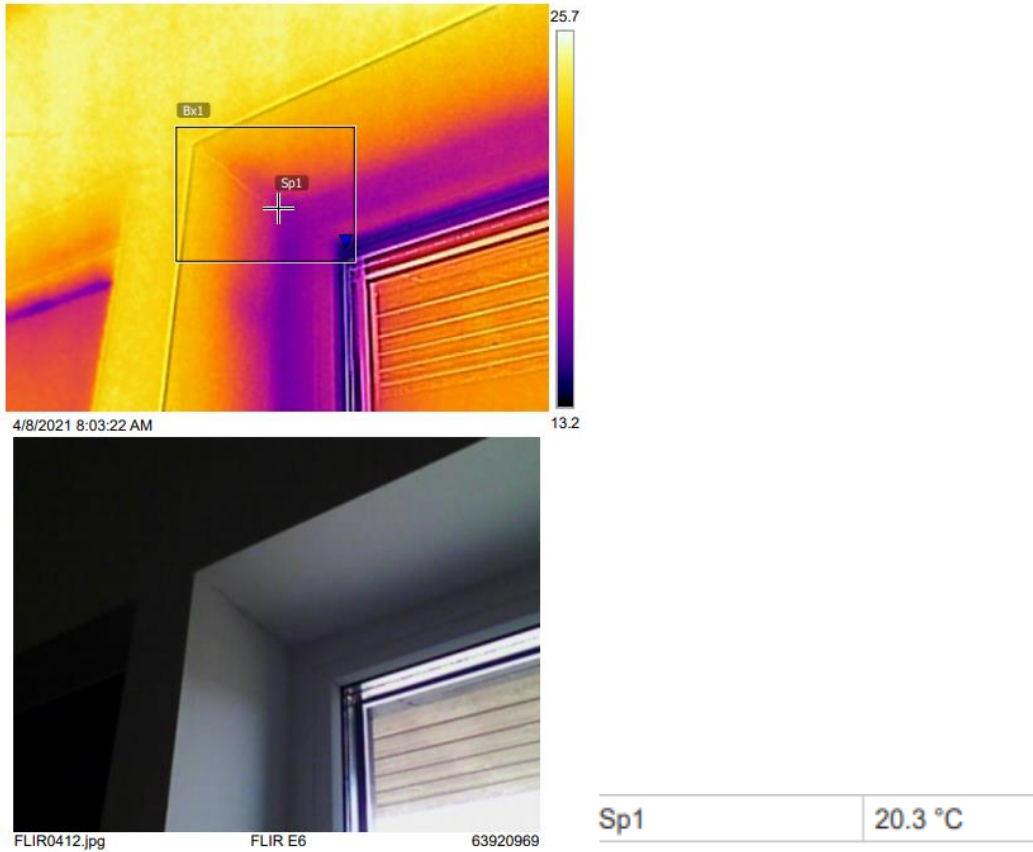


Joonis 2.2.4.7 Vesilinnu tee 1 üksikelamu elutoa põhjapoolse akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 2 jooniselt)

Elutoa põhjapoolse akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 19,6 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.7). Selle toa sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.4.7) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Järelikult aken on korrektset tihendatud. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.4.7 Vesilinnu tee 1 üksikelamu akna-välisseina ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sise-temperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.7	19,6	0	24,5	0,80

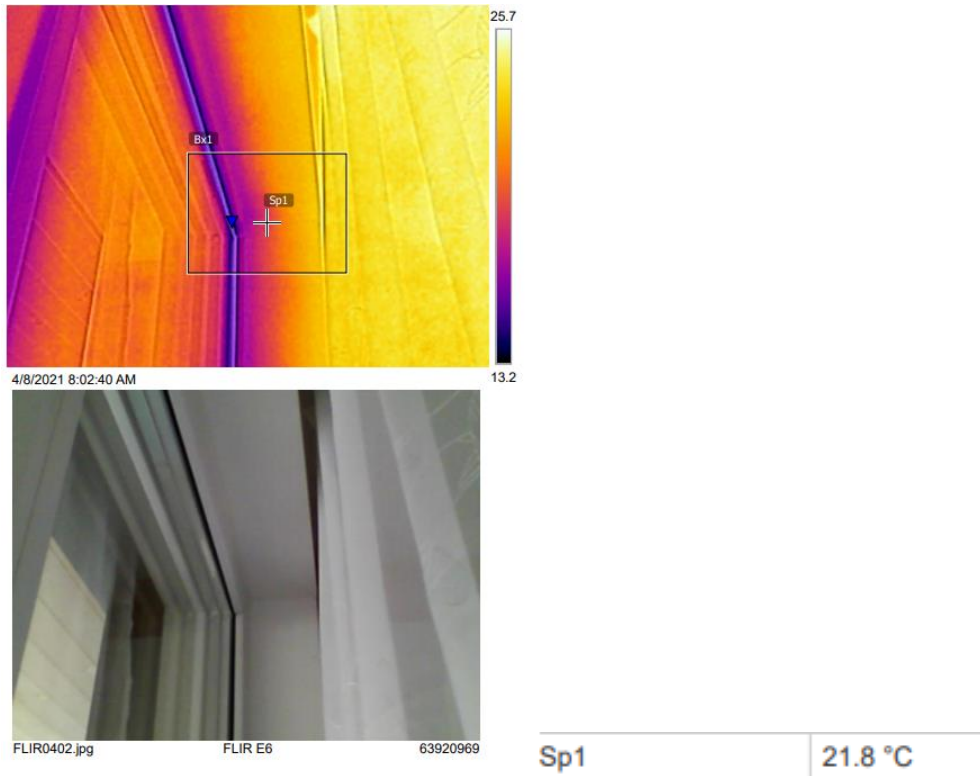


Joonis 2.2.4.8 Vesilinnu tee 1 üksikelamu esiku vasakpoolse akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 2 jooniselt)

Esiku vasakpoolse akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 20,3 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.8). Esiku sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.4.8) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Järelikult aken on korrektselt tihendatud. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.4.8 Vesilinnu tee 1 üksikelamu esiku vasakpoolse akna-välisseina temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.8	20,3	0	24,5	0,83

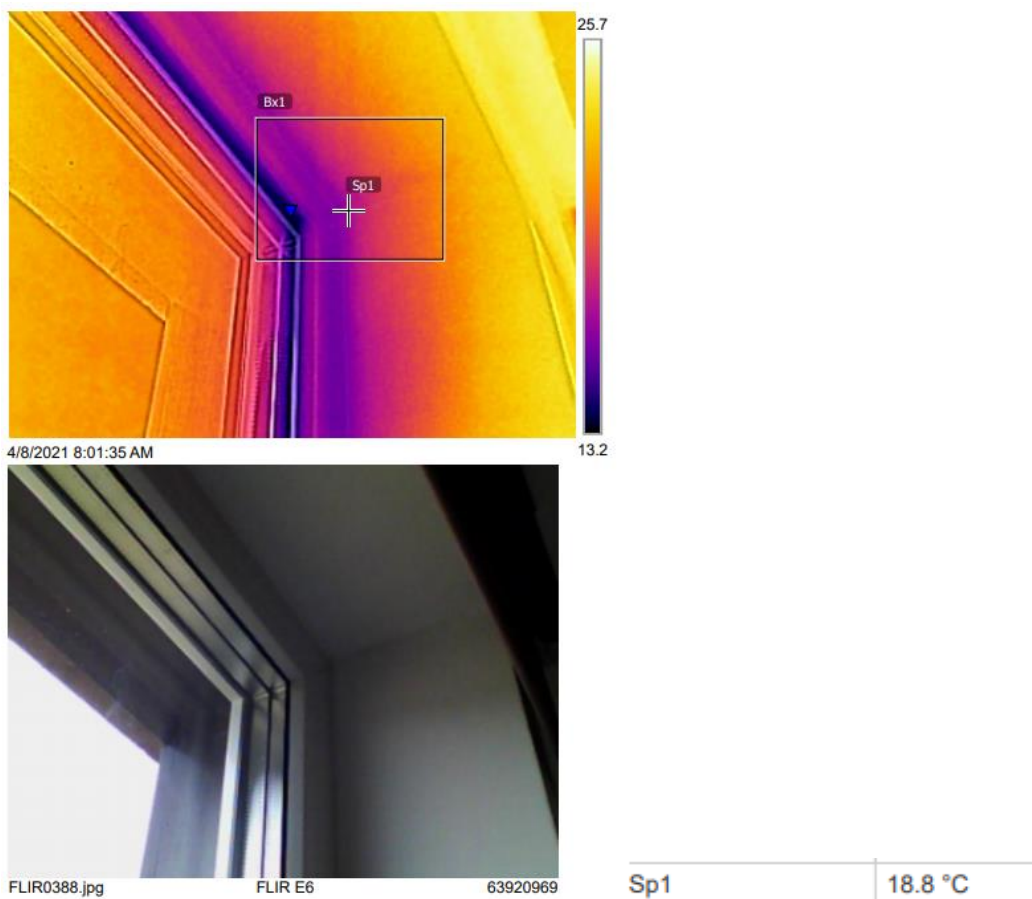


Joonis 2.2.4.9 Vesilinnu tee 1 üksikelamu elutoa läänepoolse akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 2 jooniselt)

Elutoa läänepoolse akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 21,8 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.4.9). Elutoa sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$. Temperatuuriindeksi arvutamisel ühendus (vt tabel 2.2.4.9) vastab nõuetele standardi EVS-EN ISO 13788:2012 põhjal [8]. Järelikult aken on korrektselt tihendatud. Selle tulemusega ei ole ohtu kondenseerumisele ega hallituse tekkeks (vastavalt tabelile 2.2.1) [11].

Tabel 2.2.4.9 Vesilinnu tee 1 üksikelamu elutoa läänepoolse akna-välisseina ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.9	21,8	0	24,5	0,89



Joonis 2.2.4.10 Vesilinnu tee 1 üksikelamu põhjapoolse külje keskmise toa akna-välisseina ühenduse termopilt ja foto (vt Lisa 2 jooniselt)

Põhjapoolse külje keskmise toa akna-välisseina ühenduse sisepinna temperatuur oli $t_{si} = 18,8 \text{ °C}$ (vt joonist 2.2.3.10). Toa sisetemperatuur oli $t_i = 24,5 \text{ °C}$. Nurga temperatuuriindeksi arvutamisel (vt tabel 2.2.3.10) vastavalt toa temperatuurile ei vasta ühendus napilt uutele elamutele kehtestatud nõuetele vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 ning oht kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks on piiripealne (vastavalt tabelile 2.2.1) [8] [11]. Põhjuseks võib olla akna ebakorrektnete ja -piisav tihendamine.

Tabel 2.2.4.10 Vesilinnu tee 1 üksikelamu põhjapoolse külje keskmise toa akna-välisseina ühenduse temperatuuriindeksi arvutamine (vastavalt valemile 2.1.1)

Joonise number	Sisepinna temperatuur t_{si} (°C)	Välis-temperatuur t_e (°C)	Sisetemperatuur t_i (°C)	Temperatuuriindeks f_{Rsi}
2.2.4.10	18,8	0	24,5	0,77

Kokkuvõte

Termografeerimise kokkuvõtvad tulemused on toodud tabelis 2.2.4.11. Kokkuvõttes termografeerimise tulemustest välissein-välissein nurgaühendustes on paremate temperatuuriindeksitega f_{Rsi} Vesilinnu tee 1 üksikelamu ühendused ehk vastavad ühendused on paremini ehitatud. Välissein-vundament ühendustes on parem Vesilinnu tee 6 üksikelamu ehk siis see vundamenditüüp on korrektsemalt soojustatud. Akna-välisseina tulemuste keskmise võtmisel on natuke parem temperatuuriindeksi tulemus $f_{Rsi} = 0,823$ Vesilinnu tee 6 elamul võrreldes Vesilinnu tee 1 tulemusega $f_{Rsi} = 0,815$, kuigi mõlemate majades on kohati osad aknad halvemini tihendatud kui teised.

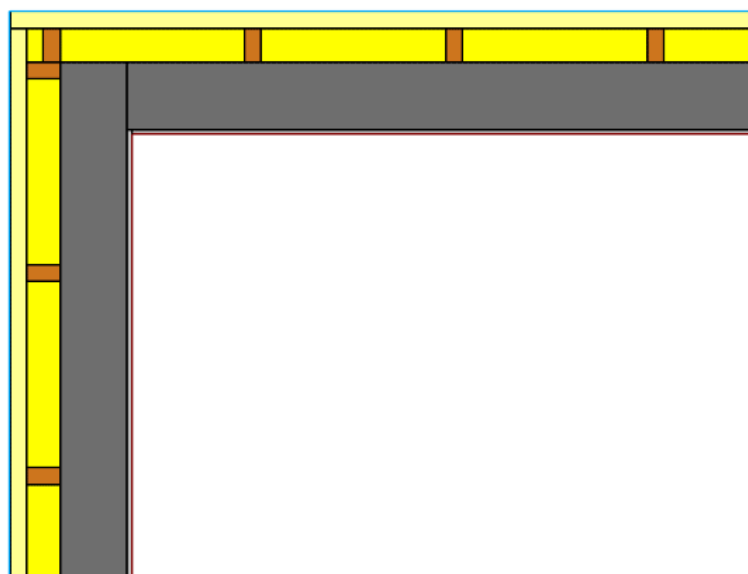
Tabel 2.2.4.11 Vesilinnu tee 6 ja Vesilinnu tee 1 termografeerimise tulemused

Ühendus	Temperatuuriindeks f_{Rsi}		Ilmakaar/tuba
	Vesilinnu tee 6 elamu	Vesilinnu tee 1 elamu	
Välissein-välissein	0,80	0,84	kirdenurk
	0,80	0,84	kagunurk
	0,78	0,88	edelanurk
	0,75	0,83	loodenurk
Keskmine	0,783	0,848	
Välissein-vundament	0,84	-	kirdenurk
	0,88	0,72	kagunurk
	0,83	-	edelanurk
	-	0,69	loodenurk
Keskmine	0,850	0,705	
Aken-välissein	0,86	0,83	lõunapoolne aken
	0,83	0,77	põhjapoolne aken
	0,80	0,80	elutuba
	0,77	0,89	elutoa külg
Keskmine	0,815	0,823	

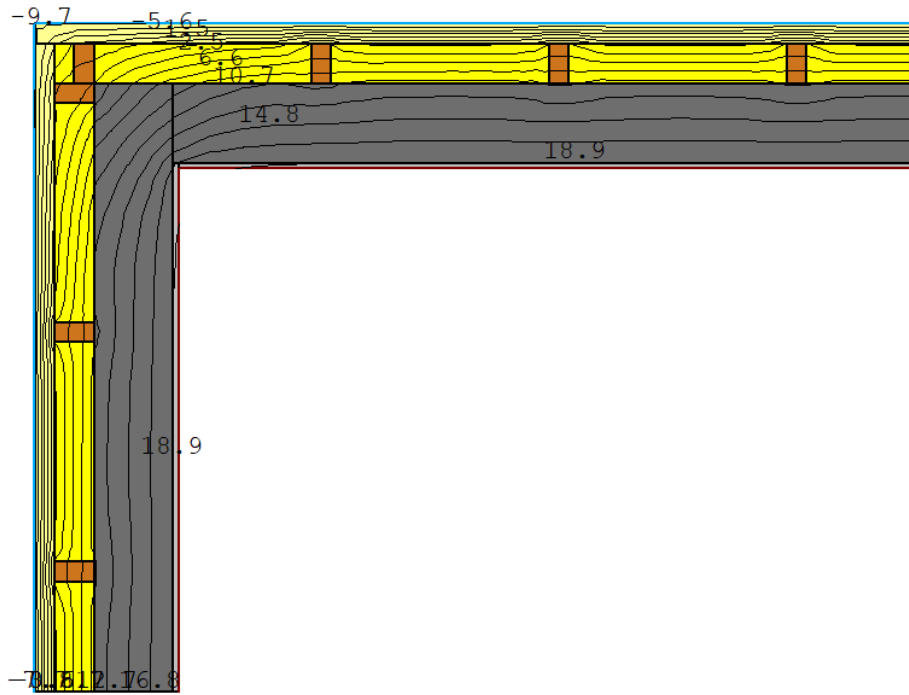
2.3 Külmasildade modelleerimine temperatuurivälja tarkvaraga THERM 7.7

THERM 7.7 on programm, mis võimaldab teha tarindi kahemõõtmelist soojusjuhtivuse analüüsi. Antud tarkvaraga on võimalik modelleerida keerulisi ehitustarindeid. Therm programmile on arendatud mitmeid täiendavaid liideseid nagu COMFEN, RESFEN, Optics, IGDB, AERCalc ja Radiance. COMFEN võtab arvesse fassaadi akende ja muude avade paigutuse mõju energiatarbimisele. RESFEN aitab leida vastava projekti jaoks kõige energiasäästlikuma ja kulutõhusama akna. Optics analüüsib klaaside ja klaaspindade optilisi andmeid. IGDB analüüsib klaaside valgusespektri läbilaskvust ja peegelduvust. AERCalci kasutatakse aknakinnituste aastase energiatõhususe arvutamiseks. Radiance võimaldab analüüsida valgustusi ja visualiseerida neid sisekujunduses. [15]

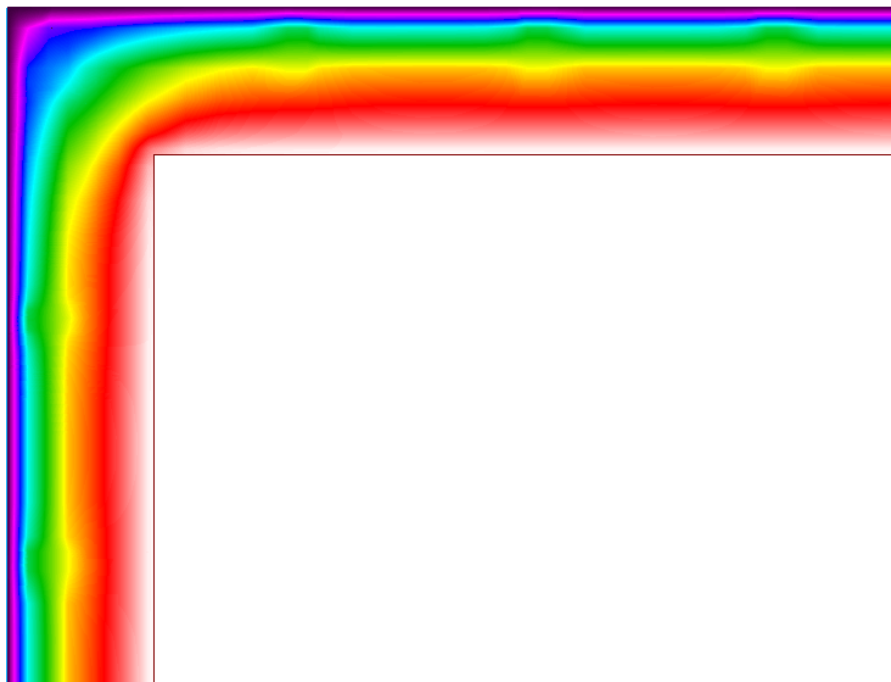
Programm THERM 7.7 abil saab modelleerida soojuse liikumist mitmesugustes hoone osades, nagu näiteks vundamendi sõlmes, välissein-välissein sõlmes ja paljudes muudes tarindi piirkondades, kus on külmasillad. Joonisel 2.3.1 on välja toodud programmiga koostatud välissein-välissein liitekohas mudel. Järgnevatel joonistel 2.3.2 ja 2.3.3 on välja toodud näited, kuidas programmiga on võimalik tulemusi erinevalt väljastada.



Joonis 2.3.1 THERM 7.7 modelleerimismudel välissein-välissein liitekohas (THERM 7.7 programm)



Joonis 2.3.2 THERM 7.7 modelleerimismudel välissein-välissein liitekoht koos isotermidega (THERM 7.7 programm)



Joonis 2.3.3 THERM 7.7 modelleerimismudel välissein-välissein liitekoht infrapuna värvides (THERM 7.7 programm)

Antud magistritöös oli eesmärk programmiga THERM 7.7 saadud tulemusi võrrelda termografeerimisel saadud tulemustega. Esiteks tuli Autodesk AutoCAD 2020 abil liitekoha, sõlme või nurga aluspõhi üles joonestada ning siis see programmi THERM 7.7 laadida. Seejärel tuli programmis materjalid ja nende soojuserijuhtivused määrata. Mitmeid vajaminevaid materjale programmis polnud, seega tuli programmi lisada puuduolevad materjalid ja soojuserijuhtivused. Kui tegemist oli mittehomogeense materjaliga, mida joonise lõike tasapinnas polnud näha, tuli leida eraldi peaaegu efektiivse kihi soojuserijuhtivus, sest kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutuses peab liituvat tarindi soojuslikult mittehomogeense materjalikihi taandama soojuslikult mittehomogeenseks materjalikihiks [16]. Soojuslikult mittehomogeense kihi taandatud soojuserijuhtivus leiti standardi EVS-EN ISO 10211:2017. „Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused“ põhjal valemiga 2.3.1 järgmiselt [6]:

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{b_{td}}{L_{2D}} - R_{si} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j} - R_{se}}, \quad (2.3.1) [6]$$

kus λ' - soojuslikult mittehomogeense kihi taandatud soojuserijuhtivus, W/(m·K),

b_{td} - arvutusulatuse pikkus, m,

d - soojuslikult mittehomogeense kihi paksus, m,

R_{si} - piirdekonstruktsiooni sisepinna soojustakistus, (m²K)/W,

λ_j - märgitud homogeensete kihtide soojuserijuhtivus, W/(m·K),

d_j - tarindisse kuuluva homogeense kihi paksus, m,

R_{se} - piirdekonstruktsiooni välispinna soojustakistus, (m²K)/W,

L_{2D} - 2D arvutusega saadud tarindite liitekoha arvutusulatuse soojuserikadu, W/(m·K),

Selleks, et valemi 2.3.1 järgi peaaegu efektiivse kihi soojuserijuhtivus leida, tuli enne leida vaadeldava piirde ülejäänud kihtide kogusoojustakistus ja kahemõõtmelise

arvutusega saadud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu [16]. Kõik teised vajaminevad näitajad oli võimalik saada THERM 7.7 mudelist.

Piirde üksikute osade soojustakistused leitakse järgmise valemiga 2.3.2 [5]:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (2.3.2) [5]$$

kus R – tarindiosa soojustakistus, $(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$,

λ – vastava materjali soojuserijuhtivus, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$,

d – soojuslikult homogeense kihi paksus, m.

Kahemõõtmelise arvutusega saadud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu leitakse järgmise valemiga 2.3.3 [6]:

$$L_{2D} = \frac{\Phi_{\text{abimudel}}}{t_i - t_e}, \quad (2.3.3) [6]$$

kus L_{2D} – 2D arvutusega saadud tarindite liitekohta arvutusulatuse soojuserikadu, $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,

Φ_{abimudel} – abimudeli soojusvool, W,

t_e välistemperatuur, °C,

t_i sisetemperatuur, °C.

Järgmisena lisati programmis ääritingimused (vt tabelid 2.3.1 ja 2.3.2) ning siis sai teostada konstruktsiooni liitekohale arvutused. Arvutustejärgselt sai kuvada jooniseid sõlmedest, liidetest, kus on kajastatud samasoojusjooni, soojusvoo suundasid ja temperatuurijaotuseid.

Tabel 2.3.1 Vesilinnu tee 6 üksikelamul THERM 7.7 kasutatud soojuslikud ääritingimused arvutusmodelis vastavalt standarditele EVS-EN ISO 6946:2017 ja EVS-EN ISO 13788:2012 [5] [8]

Soojuslikud ääritingimused arvutusmodelis		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
Sisepind (seinana)	0,13	24,0
Sisepind (laena)	0,10	24,0
Sisepind (põrandana)	0,17	24,0
Sisepind (fRsi)	0,25	24,0
Sisepind (fRsi, klaaspinnana)	0,13	24,0
Välispind (välisõhuna)	0,04	0,0
Välispind (seinana koos õhkvahega)	0,13	0,0
Välispind (laena koos õhkvahega)	0,10	0,0
Välispind (pinnasena)	0,00	0,0

Tabel 2.3.2 Vesilinnu tee 1 üksikelamul THERM 7.7 kasutatud soojuslikud ääritingimused arvutusmodelis vastavalt standarditele EVS-EN ISO 6946:2017 ja EVS-EN ISO 13788:2012 [5] [8]

Soojuslikud ääritingimused arvutusmodelis		
	R_s (m²K/W)	θ (°C)
Sisepind (seinana)	0,13	24,5
Sisepind (laena)	0,10	24,5
Sisepind (põrandana)	0,17	24,5
Sisepind (fRsi)	0,25	24,5
Sisepind (fRsi, klaaspinnana)	0,13	24,5
Välispind (välisõhuna)	0,04	0,0
Välispind (seinana koos õhkvahega)	0,13	0,0
Välispind (laena koos õhkvahega)	0,10	0,0
Välispind (pinnasena)	0,00	7,0

2.3.1 Vesilinnu tee 6 välissein-välissein liites ja välissein-vundamendi sõlmes välisseina mineraalvilla soojuserijuhtivuste leidmine

Vesilinnu tee 6 elamu välisseina läbilõige väljast sisse on toodud järgnevas tabelis 2.3.1.1 (vt Lisa 5).

Tabel 2.3.1.1 Vesilinnu tee 6 elamu välisseina läbilõige väljast sisse (vastavalt projektile)

Materjal	Laius b (m)	Paksus/Kõrgus h (m)	Samm s (m)
Laudis		0,021	
Distantssliist	0,05	0,050	0,6
Tuuletõkkekangas		0,001	
Distantssliist/Mineraalvill/ Distantssliist	0,05/-/0,05	0,150	0,6
Kergbetoonplokk Bauroc Universal 200		0,200	
Kipsplaat		0,013	
Siseviimistlus		0,002	
	Kokku:	0,437	

THERM 7.7 programmi jaoks mudeli arvutusulatus järelkult vähemalt: $0,437 \times 3 = 1,311$ (m) [16].

Vesilinnu tee 6 elamu aluspõranda läbilõige ülevalt alla on toodud järgmises tabelis 2.3.1.2 (vt Lisa 5).

Tabel 2.3.1.2 Vesilinnu tee 6 elamu aluspõranda läbilõige ülevalt alla (vastavalt projektile)

Materjal	Paksus/Kõrgus h (m)
Parkett	0,020
Parketi aluskate	0,001
Raudbetoon	0,100
Hüdroisolatsioon	0,001
Vahtpolüstüreen EPS 100	0,300
Tihendatud livaalus	0,7
Kokku:	1,122

Vesilinnu tee 6 välissein-välissein liites välisseina välimise kihi mittehomoorse mineraalvilla soojuseriitvuse leidmine

Tuuletõkkest väljaspool olevaid materjale THERMi mudelis ei arvestata, kui õhkvahe on välisõhuga tuuldud [16].

Algselt leiti vaadeldava piirde ülejäänud kihtide soojustakistused vastavalt valemile 2.3.2:

$$R_1 = \frac{0,013}{0,25} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{kipsplaat}$$

$$R_2 = \frac{0,2}{0,09} = 2,22 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{kergbetoonplokk Bauroc Universal 200}$$

$$R_3 = \frac{0,1}{0,035} = 2,857 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{mineraalvill}$$

$$R_4 = \frac{0,1}{0,13} = 0,769 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{distantssliist (puit)}$$

$$R_5 = \frac{0,001}{0,053} = 0,019 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{tuuletõke}$$

Seejärel leiti ülejäänud kihtide kogusoojustakistuse liites kõikide ülejäänud kihtide soojustakistused:

$$\Sigma(d_i/\lambda_i) = 0,052 + 2,22 + 2,857 + 0,769 + 0,019 = 5,92 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Järgnevalt leiti kahemõõtmelise arvutusega saadud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu vastavalt valemile 2.3.3:

$$L_{2D} = \frac{6,479}{24-0} = 0,270 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

Nüüd leiti peaaegu efektiivse kihi soojuseriitvust vastavalt valemile 2.3.1:

$$\lambda' = \frac{0,05}{\frac{1,8}{0,27} - 0,13 - 5,92 - 0,13} = 0,102 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

Seega Vesilinnu tee 6 välissein-välissein liites välisseina välimise kihi mineraalvilla soojuserijuhtivuseks on $\lambda' = 0,102 \frac{W}{mK}$.

Vesilinnu tee 6 välissein-vundament sõlmes välisseina sisemise mittehomogeense kihi mineraalvilla soojuserijuhtivuse leidmine

Algselt leiti vaadeldava piirde ülejäänud kihtide soojustakistused vastavalt valemile 2.3.2:

$$R_1 = \frac{0,013}{0,25} = 0,052 \left(\frac{m^2K}{W}\right) - \text{kipsplaat}$$

$$R_2 = \frac{0,2}{0,09} = 2,22 \left(\frac{m^2K}{W}\right) - \text{kergbetoonplokk Bauroc Universal 200}$$

$$R_3 = \frac{0,05}{0,035} = 1,429 \left(\frac{m^2K}{W}\right) - \text{mineraalvill}$$

$$R_4 = \frac{0,05}{0,13} = 0,385 \left(\frac{m^2K}{W}\right) - \text{distantssliist (puit)}$$

$$R_5 = \frac{0,001}{0,053} = 0,019 \left(\frac{m^2K}{W}\right) - \text{tuuletõke}$$

Seejärel leiti ülejäänud kihtide kogusoojustakistuse liites kõikide ülejäänud kihtide soojustakistused:

$$\Sigma(d_j/\lambda_j) = 0,052 + 2,22 + 1,429 + 0,385 + 0,019 = 4,106 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Järgnevalt leiti kahemõõtmelise arvutusega saadud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu vastavalt valemile 2.3.3:

$$L_{2D} = \frac{5,2493}{24-0} = 0,219 \left(\frac{W}{mK}\right)$$

Nüüd sai leida peaaegu efektiivse kihi soojuserijuhtivus vastavalt valemile 2.3.1:

$$\lambda' = \frac{0,1}{\frac{1,2}{0,219} - 0,13 - 4,106 - 0,13} = 0,089 \left(\frac{W}{mK} \right)$$

Seega Vesilinnu tee 6 välissein-vundament sõlmes välisseina mittehomogeense sisemise kihi mineraalvilla soojuseri juhtivuseks on $\lambda' = 0,089 \frac{W}{mK}$.

2.3.2 Vesilinnu tee 1 välissein-välissein liites ja välissein-vundamendi sõlmes välisseina mineraalvilla soojuseri juhtivuste leidmine

Vesilinnu tee 1 elamu välisseina läbilõige väljast sisse on toodud järgmises tabelis 2.3.2.1 (vt Lisa 8).

Tabel 2.3.2.1 Vesilinnu tee 1 elamu välisseina läbilõige väljast sisse (vastavalt Vesilinnu tee 4 elamu lõikele)

Materjal	Laius b (m)	Paksus/Kõrgus h (m)	Samm s (m)
Laudis		0,021	
Distantssliist	0,05	0,050	0,6
Tuuletõkkekangas		0,001	
Distantssliist/Mineraalvill	0,05/-	0,050	0,6
Puitkarkass/mineraalvill	0,045/-	0,200	
Aurutõkkemembraan		0,001	
Distantssliist/Mineraalvill	0,045/-	0,050	0,6
Kipsplaat		0,013	
Siseviimistlus		0,002	
	Kokku:	0,388	

THERM 7.7 programmi jaoks mudeli arvutusulatus vähemalt: $0,388 \times 3 = 1,164$ (m) [16].

Vesilinnu tee 1 elamu aluspõranda läbilõige ülevaht alla on toodud järgmises tabelis 2.3.2.2 (vt Lisa 6).

Tabel 2.3.2.2 Vesilinnu tee 1 elamu aluspõranda läbilõige ülevaht alla (vastavalt Vesilinnu tee 1 elamu lõikele)

Materjal	Paksus/Kõrgus h (m)
Parkett	0,020
Parketi aluskate	0,001
Armeeritud betoonikiht	0,100
Hüdrosolatsioon	0,001
Vahtpolüstüreen EPS 100	0,100
Vahtpolüstüreen EPS 100	0,100
Tihendatud liivaalus	0,7
Geotekstiil	0,001
Kokku:	1,123

Vesilinnu tee 1 välissein-välissein liites välisseina risti roovitusega kihtide mittehomogeense mineraalvilla soojuseriitvuse leidmine

Tuuletõkkest väljaspool olevaid materjale THERMi mudelis ei arvestata, kui õhkvahe on välisõhuga tuuldav [16].

Algselt leiti vaadeldava piirde ülejäänud kihtide soojustakistused vastavalt valemile 2.3.2:

$$R_1 = \frac{0,013}{0,25} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{kipsplaat}$$

$$R_2 = \frac{0,001}{0,33} = 0,003 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{aurutõkketile}$$

$$R_3 = \frac{0,2}{0,035} = 5,714 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{mineraalvill}$$

$$R_4 = \frac{0,195}{0,13} = 1,500 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{distantliist (puit)}$$

$$R_5 = \frac{0,005}{0,035} = 0,143 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{mineraalvill}$$

$$R_6 = \frac{0,001}{0,053} = 0,019 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{tuuletõke}$$

Seejärel leiti ülejäänud kihtide kogusoojustakistuse liites kõikide ülejäänud kihtide soojustakistused:

$$\Sigma(d_j/\lambda_j) = 0,052 + 0,003 + 5,714 + 1,500 + 0,143 + 0,019 = 7,431 \text{ (m}^2\text{K/W)}.$$

Järgnevalt leiti kahemõõtmelise arvutusega saadud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu vastavalt valemile 2.3.3:

$$L_{2D} = \frac{3,424}{24,5-0} = 0,140 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

Nüüd sai leida peaaegu efektiivse kihi soojuserijuhtivus vastavalt valemile 2.3.1:

$$\lambda' = \frac{0,095}{\frac{1,2}{0,140} - 0,13 - 7,431 - 0,13} = 0,106 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

Seega Vesilinnu tee 1 välissein-välissein liites välisseina risti roovitusega kihtide mittehomogeense mineraalvilla soojuserijuhtivuseks on $\lambda' = 0,106 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

Vesilinnu tee 1 välissein-vundament sõlmes välisseina sisemise mittehomogeense kihi mineraalvilla soojuserijuhtivuse leidmine

Algselt leiti vaadeldava piirde ülejäänud kihtide soojustakistused vastavalt valemile 2.3.2:

$$R_1 = \frac{0,013}{0,25} = 0,052 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{kipsplaat}$$

$$R_2 = \frac{0,05}{0,035} = 1,429 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{mineraalvill}$$

$$R_3 = \frac{0,05}{0,13} = 0,385 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{puitkarkass}$$

$$R_4 = \frac{0,001}{0,33} = 0,003 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{aurutõkkele}$$

$$R_5 = \frac{0,05}{0,13} = 0,385 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{puitkarkass}$$

$$R_6 = \frac{0,05}{0,035} = 1,429 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{mineraalvill}$$

$$R_7 = \frac{0,001}{0,053} = 0,019 \left(\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) - \text{tuuletõke}$$

Seejärel leiti ülejäänud kihtide kogusoojustakistuse liites kõikide ülejäänud kihtide soojustakistused:

$$\Sigma(d_i/\lambda_i) = 0,052 + 1,429 + 0,385 + 0,003 + 0,385 + 1,429 + 0,019 = 3,700 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

Järgnevalt leiti kahemõõtmelise arvutusega saadud tarindi arvutusulatuse soojuserikadu vastavalt valemile 2.3.3:

$$L_{2D} = \frac{4,6936}{24,5-0} = 0,192 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

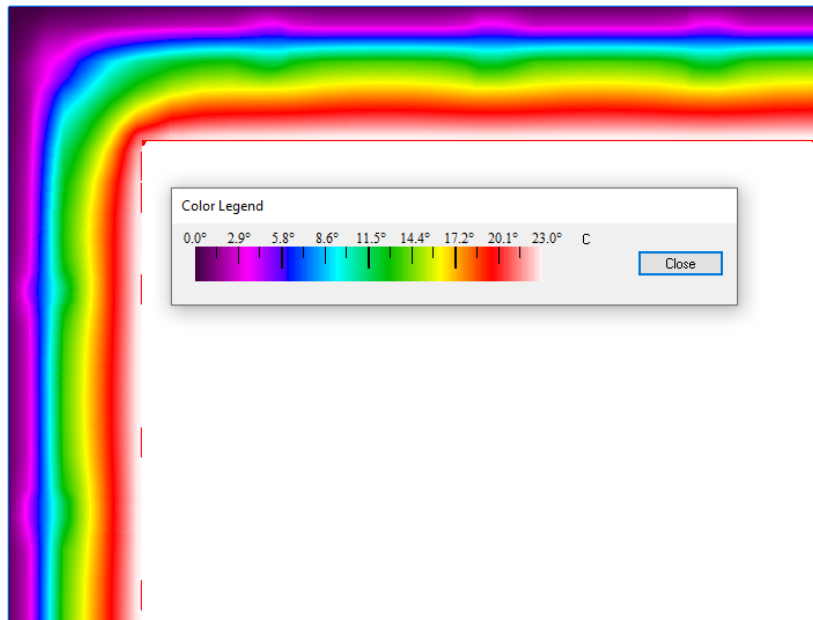
Nüüd sai leida peaaegu efektiivse kihi soojuserijuhtivus vastavalt valemile 2.3.1:

$$\lambda' = \frac{0,195}{\frac{1,198}{0,192} - 0,13 - 3,700 - 0,13} = 0,085 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right)$$

Seega Vesilinnu tee 1 välissein-vundament sõlmes välisseina sisemise mittehomogeense kihi mineraalvilla soojuserijuhtivuseks on $\lambda' = 0,085 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$.

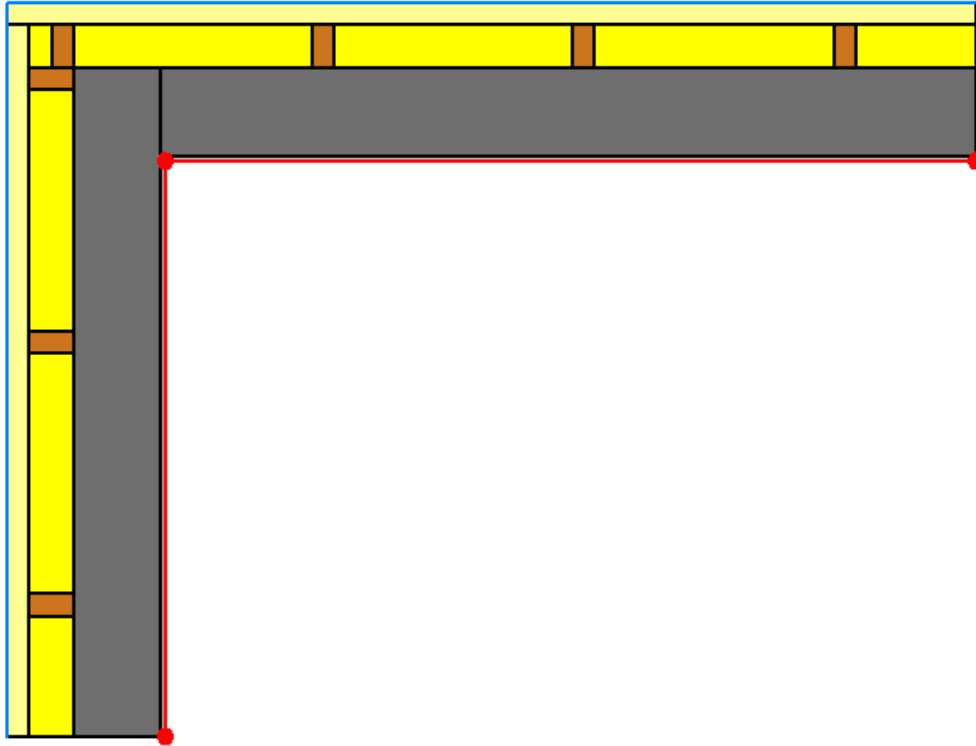
2.4 Temperatuurivälja tarkvara THERM 7.7 tulemused Vesilinnu tee 6 üksikelamul

Programmiga THERM 7.7 lahendati Vesilinnu tee 6 välissein-välissein liitekoht, mida kõrvutati termograafiliste mõõtmiste tulemustega. THERM 7.7 programmiga arvutades oli madalam sisenurga temperatuur $t_{si} = 21,3 \text{ }^\circ\text{C}$ modelleerides sisetemperatuuriga $t_i = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ ja välistemperatuuriga $t_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ (vt joonist 2.4.3).

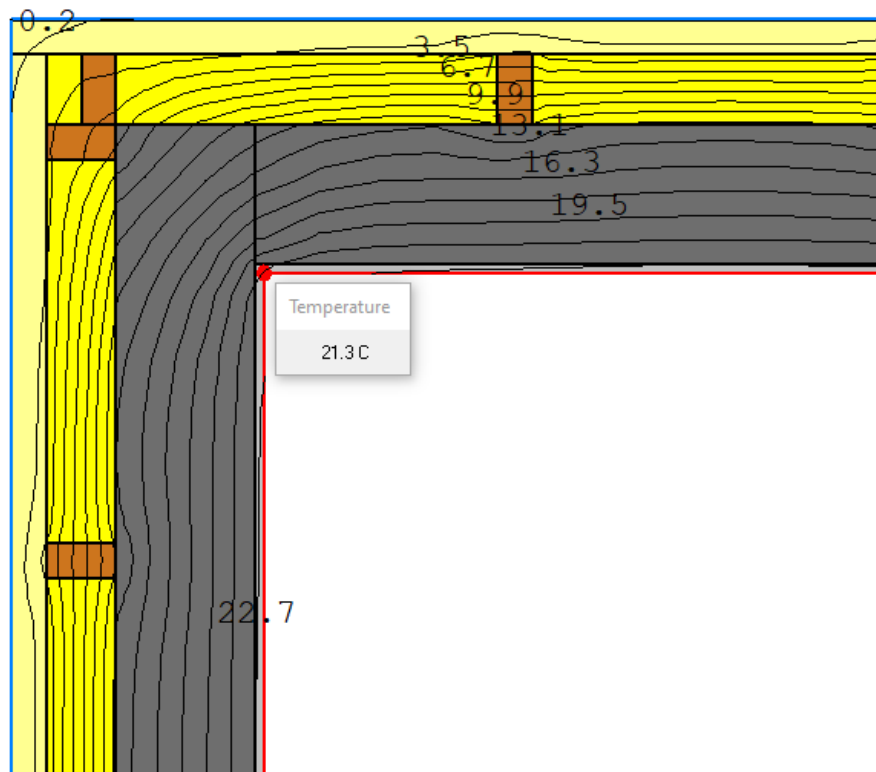


Joonis 2.4.1 THERM 7.7 programmi soojusvoo jaotus Vesilinnu tee 6 üksikelamul välissein-välissein liitekohas

Välissein-välissein soojusvoo jaotus on üsna ühtlane (vt joonis 2.4.1).



Joonis 2.4.2 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-välissein liitekoha mudel



Joonis 2.4.3 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-välissein liitekoha mudeli nurga minimaalne tempertuur

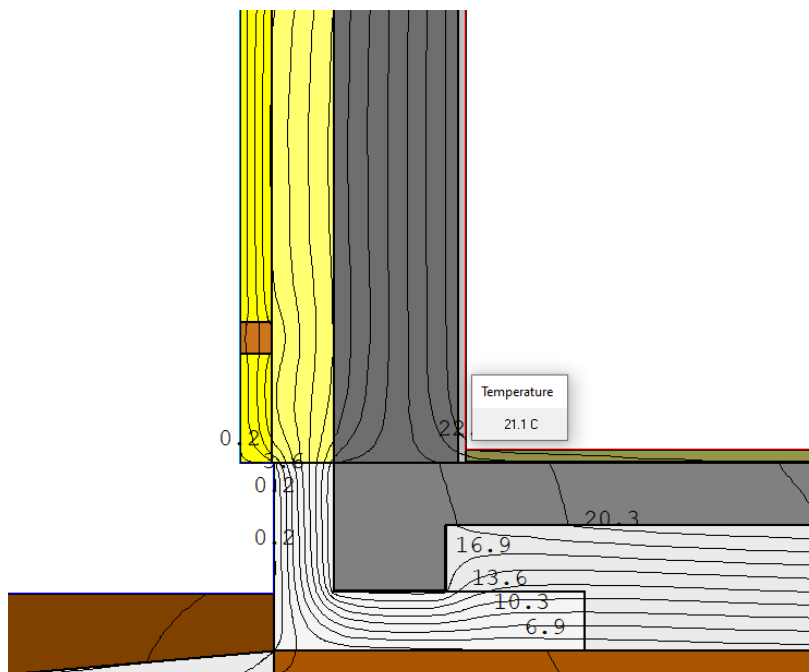
Tabel 2.4.1 Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-välissein THERMI mudeli analüüsi tulemused

Külgnevate elementide soojusjuhtvustegurid eraldi osamudelitest	Väärtused	Ühikud
Esimese külgelemendi soojusjuhtvustegur U_1	0,1823	W/m ² K
Teise külgelemendi soojusjuhtvustegur U_2	0,1823	W/m ² K
Külmasilla soojusvoog ja arvutusulatus tervikmudelist	Väärtused	Ühikud
Esimese külgelemendi arvutusulatus l_1 (sisemöötmest)	1312	mm
Esimese külgelemendi arvutusulatus l_1 (välismöötmest)	1675,9	mm
Teise külgelemendi arvutusulatus l_2 (sisemöötmest)	1862	mm
Teise külgelemendi arvutusulatus l_2 (välismöötmest)	2226,0	mm
Külmasilla arvutusulatust läbiv soojusvoog Φ	14,9725	W
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe $\theta_i - \theta_e$	24	K
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu ja joonsoojusläbivuse tulemused		
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu (2D arvutusest) L_{2D}	0,624	W/mK
Külmasilla arvutusulatuse ligikaudne soojuserikadu (sisemöötmest) $U_1 \times l_1 + U_2 \times l_2$ (1D arvutusest)	0,579	W/mK
Külmasilla arvutusulatuse ligikaudne soojuserikadu (välismöötmest) $U_1 \times l_1 + U_2 \times l_2$ (1D arvutusest)	0,711	W/mK
Külmasilla joonsoojusläbivus Ψ (sisemöötmest lähtuvalt)	0,045	W/mK
Külmasilla joonsoojusläbivus Ψ (välismöötmest lähtuvalt)	-0,087	W/mK
Soojuslikud ääritingimused arvutusmudelis ning sisepinna temperatuuriindeks	Väärtused	Ühikud
Madalaim sisepinna temperatuur	21,3	°C
Sisepinna temperatuuriindeks f_{Rsi}	0,888	
Uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$.		

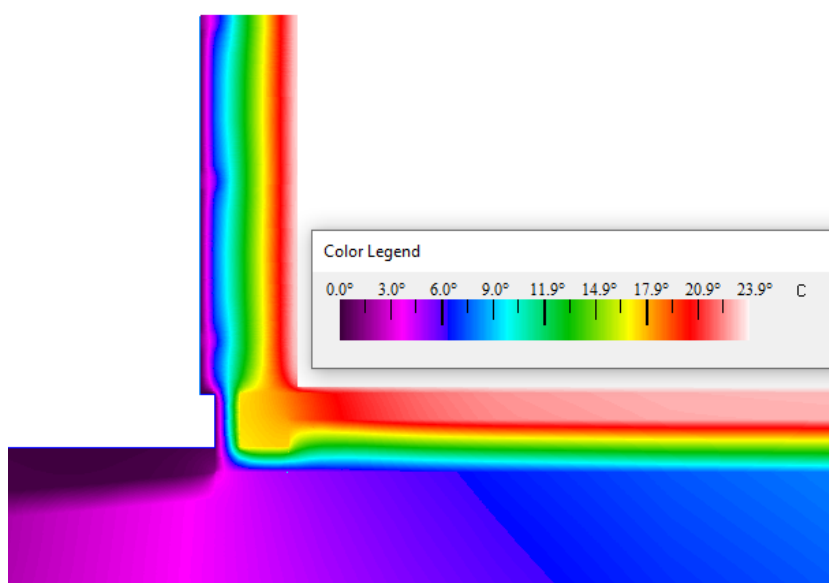
Sisestati THERMist saadud andmed Microsoft Exceli abitabelisse ning arvutati tabeli abil sisepinna temperatuuriindeks, milleks saadi $f_{Rsi} = 0,888$. Vastav temperatuuriindeks on suurem/võrdne kui 0,65 ja 0,55 ($f_{Rsi} \geq 0,65$ ja $f_{Rsi} \geq 0,55$ vastavalt tabelile 2.2.1), mis tähendab, et hallituse ja kondenseerumise risk selle konstruktsiooniga on olematu ning norm, mis uutel elamutel peab olema, on saavutatud vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 (vt tabel 2.4.1) [8] [11]. Termografeerimisel saadi keskmiselt väliseinavälisseina nurgakoha temperatuuriindeksiks $f_{Rsi} = 0,783$, mis on väiksem kui $f_{Rsi} = 0,888$ ehk näitab, et liited pole täielikult korrektselt ehitatud (vt tabel 2.2.4.11).

THERM 7.7 analüüsiti ka Vesilinnu tee 6 üksikelamu vundamendi ja välisseina sõlme, mida kõrvutati termograafiliste mõõtmiste tulemustega. THERM 7.7 programmiga

arvutades oli madalam sisenurga temperatuur $t_{si} = 21,1$ °C modelleerides sisetemperatuuriga $t_i = 24$ °C ja välistemperatuuriga $t_e = 0$ °C (vt joonist 2.4.4).

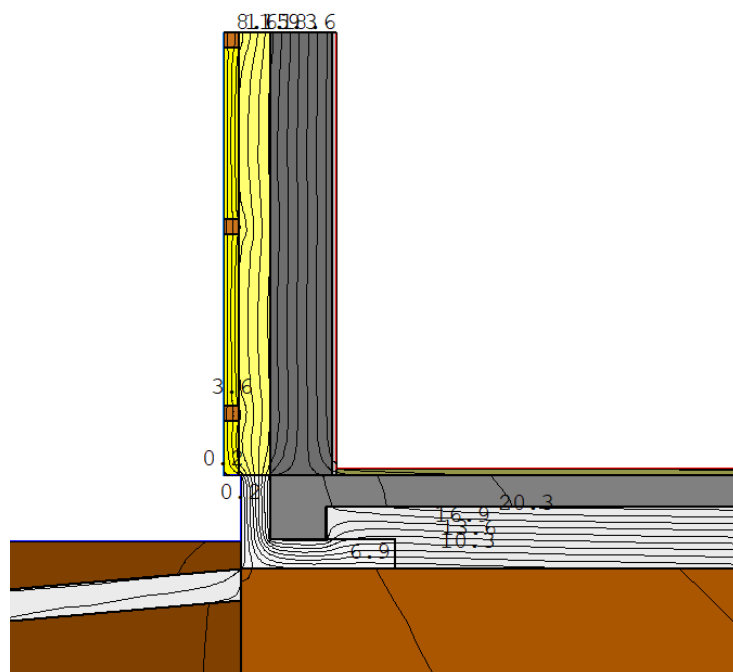


Joonis 2.4.4 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-vundamendi sõlme mudeli nurga minimaalne temperatuur

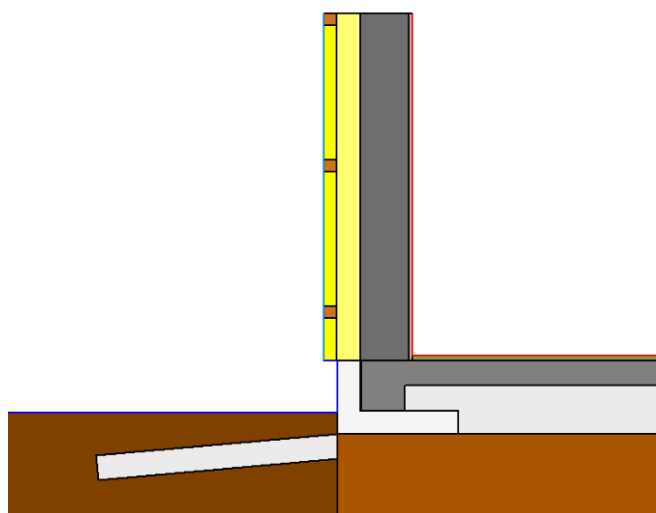


Joonis 2.4.5 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-vundamendi sõlme soojusvoo jaotus

Jooniselt 2.4.5 on näha, kuidas temperatuuri muutused toimuvad esmalt tuuletõkkes. Põranda osas on soojema temperatuuri tsoon palju suurem võrreldes seinakonstruktsiooni sooja tsooniga.



Joonis 2.4.6 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-vundamendi sõlme soojusvoolu jaotus samatemperatuuri joontega



Joonis 2.4.7 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-vundamendi sõlm

Tabel 2.4.2 Vesilinnu tee 6 üksikelamu välissein-vundamendi sõlme THERMI mudeli analüüsi Tulemused

Külgneva elemendi (välissein) soojusjuhtivustegur (eraldi osamudelid)	Väärtused	Ühikud
Külgelemendi (välisseina) soojusjuhtivustegur U_1	0,150	W/m ² K
Külmasilla arvutusulatus ja soojusvoog tervikmudelid		
Külgelemendi (välisseina) arvutusulatus l_1 (sisemõõtudest lähtuvalt)	1403,9	mm
Külmasilla arvutusulatust läbiv soojusvoog Φ	25,307	W
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe $\theta_i - \theta_e$	24	K
Põranda arvutusulatust (eraldi) läbiv soojusvool B-meetodi osamudelid		
B-osamudeli arvutusulatust läbiv soojusvoog Φ_a	16,449	W
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu ja joonsoojusläbivused		
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu (2D arvutusest) L_{2D}	1,054	W/mK
Külmasilla arvutusulatuse ligikaudne soojuserikadu $U_1 \times l_1 + L_{2D,a}$	0,896	W/mK
Külmasilla joonsoojusläbivus ψ_g (sisemõõtudega arvestades)	0,158	W/mK
Soojuslikud ääritingimused arvutusmudelid ning sisepinna temperatuuriindeks		
Madalaim sisepinna temperatuur	21,1	°C
Sisepinna temperatuuriindeks f_{Rsi}	0,879	
Uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$.		

Külmasilla joonsoojusläbivuse leidmisel on lähtutud standardis EVS-EN ISO 10211:2017 „Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailed arvutused“ välja toodud B-meetodist ja selle tõttu teise külgneva elemendi (põrand pinnasel) soojusjuhtivust eraldi ei sisestatud. Osamudel koostati vastavalt standardi EVS-EN ISO 10211:2017 ptk 10.4.3 kirjeldatud B-meetodile. Vastavalt eelnevalt välja toodud standardis esitatud. meetodikale hõlmab välisseina ja põranda sõlme joonsoojusläbivus ψ_g ka põranda ääretegurit $\psi_{g,e}$ ning pinnasekadude arvutustel on sellega arvestatud. [6]

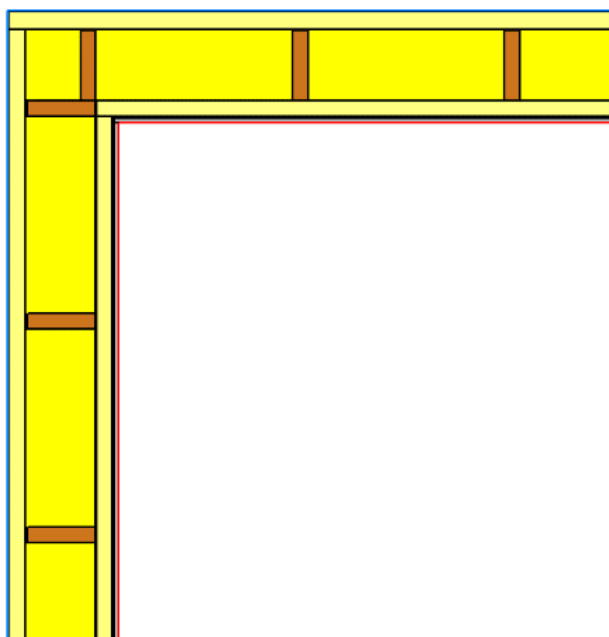
Sisestati THERMist saadud andmed Microsoft Exceli abitabelisse ning arvutati tabeli abil Vesilinnu tee 6 elamu vundamendi-välisseina sõlme sisepinna temperatuuriindeks, milleks saadi $f_{Rsi} = 0,879$. Vastav temperatuuriindeks on suurem/võrdne kui 0,65 ja 0,55 ($f_{Rsi} \geq 0,65$ ja $f_{Rsi} \geq 0,55$ vastavalt tabelile 2.2.1), mis tähendab, et hallituse ja

kondenseerumise risk selle konstruktsiooniga on olematu ning norm, mis uutel elamutel peab olema, on saavutatud, sest $f_{Rsi} > 0,8$ (vt tabel 2.4.2) [8] [11]. Termografeerimisel saadi Vesilinnu tee 6 üksiklamu vundamendi-välisseina liitekohta temperatuurindeksiks $f_{Rsi} = 0,850$, mis on peaaegu mudelile vastav ja ületab kindlalt normi ehk on soojustatud pädevalt (vt tabel 2.2.4.11).

2.5 Temperatuurivälja tarkvara THERM 7.7 tulemused

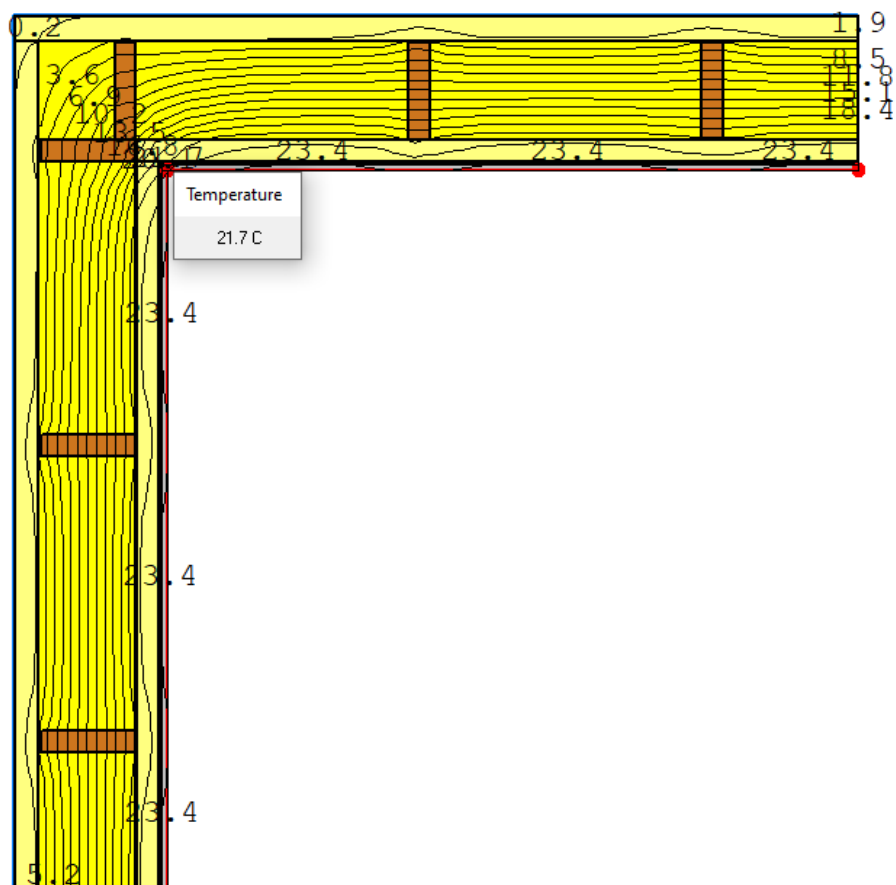
Vesilinnu tee 1 üksiklamul ja võrdlus Vesilinnu tee 6 üksiklamuga

Programmiga THERM 7.7 lahendati Vesilinnu tee 1 välissein-välissein liitekoht, mida kõrvutati termograafiliste mõõtmiste tulemustega. THERM 7.7 programmiga arvutades oli madalam sisenurga temperatuur $t_{si} = 21,7$ °C modelleerides sisetemperatuuriga $t_i = 24,5$ °C ja välistemperatuuriga $t_e = 0$ °C (vt joonist 2.5.2).

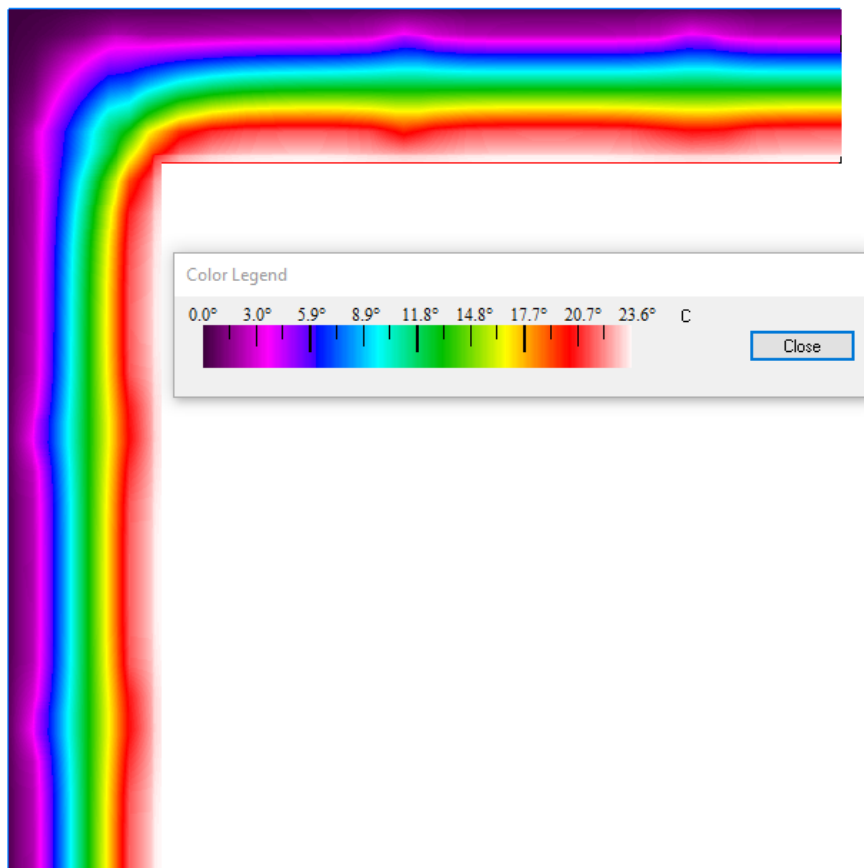


Joonis 2.5.1 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 1 üksiklamu välissein-välissein liitekohta mudel

Vesilinnu tee 1 välisseina mudeli soojusvood on üsna ühtlased (vt joonis 2.5.3).



Joonis 2.5.2 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-välissein liitekoha mudeli nurga minimaalne temperatuur



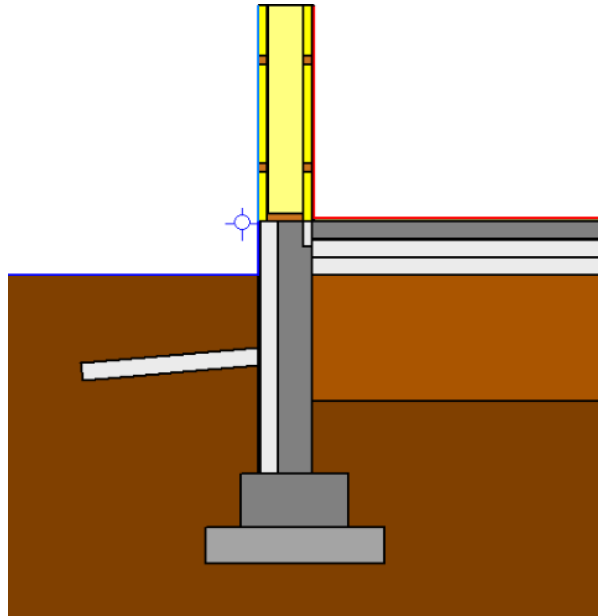
Joonis 2.5.3 THERM 7.7 programmi soojusvoo jaotus Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-välissein liitekohas

Sisestati THERMist saadud andmed Microsoft Exceli abitabelisse ning arvutati tabeli abil sisepinna temperatuuriindeks f_{Rsi} , milleks saadi $f_{Rsi} = 0,886$ Vastav temperatuuriindeks on suurem/võrdne kui 0,65 ja 0,55 ($f_{Rsi} \geq 0,65$ ja $f_{Rsi} \geq 0,55$ vastavalt tabelile 2.2.1), mis tähendab, et hallituse ja kondenseerumise risk selle konstruktsiooniga on olematu ning norm, mis uutel elamutel peab olema, on saavutatud, sest $f_{Rsi} > 0,8$ (vt tabel 2.5.1) [8] [11]. Vesilinnu tee 6 üksikelamuga võrreldes on Vesilinnu tee 1 välissein-välissein liitekoht natuke halvema temperatuuriindeksiga (vt tabel 2.4.1 ja 2.5.1). Termograferimisel saadi keskmiselt Vesilinnu tee 1 üksikelamu väliseina-väliseina nurgakoha temperatuuriindeksiks $f_{Rsi} = 0,848$, mis on peaaegu mudelile vastav ja uute elamute normidele vastav, järelkult pädevalt ehitatud. (vt tabel 2.2.4.11).

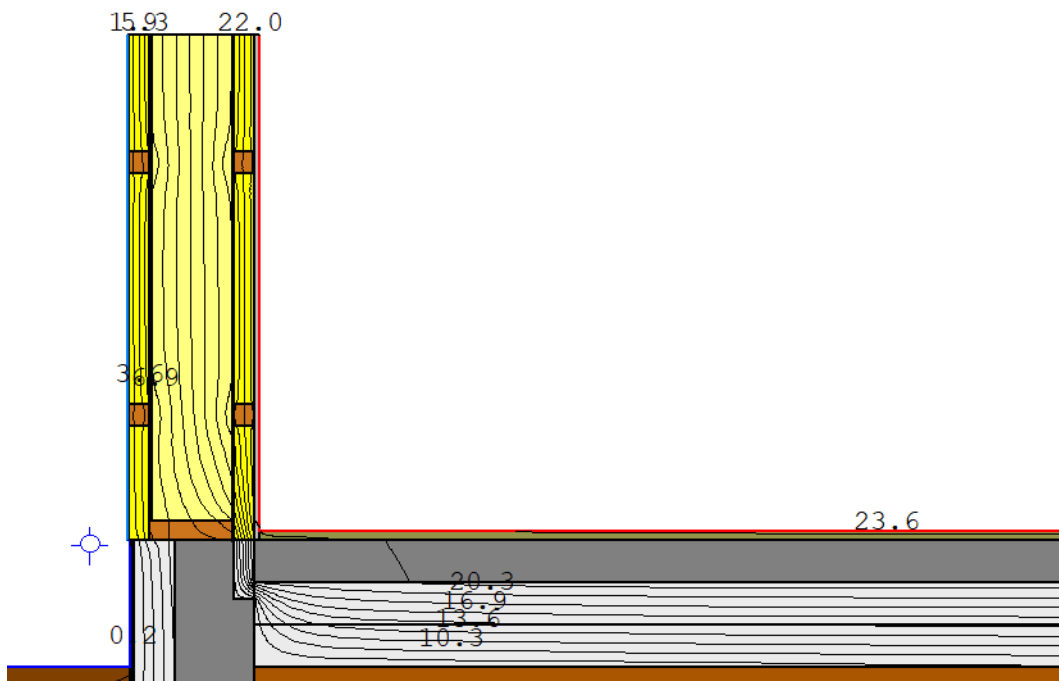
Tabel 2.5.1 Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-välissein THERMI mudeli analüüsi tulemused

Külgnevate elementide soojusjuhtvustegurid eraldi osamudelitest	Väärtused	Ühikud
Esimese külgelemendi soojusjuhtivustegur U_1	0,160	W/m ² K
Teise külgelemendi soojusjuhtivustegur U_2	0,160	W/m ² K
Külmasilla arvutusulatus ja soojusvoog tervikmudelitest		
Esimese külgelemendi arvutusulatus l_1 (sisemõõtudest lähtuvalt)	1458,5	mm
Esimese külgelemendi arvutusulatus l_1 (välismõõtudest lähtuvalt)	1772,5	mm
Teise külgelemendi arvutusulatus l_2 (sisemõõtudest lähtuvalt)	1413,5	mm
Teise külgelemendi arvutusulatus l_2 (välismõõtudest lähtuvalt)	1728,5	mm
külmasilla arvutusulatust läbiv soojusvoog Φ	12,093	W
Sise- ja väliskeskkonna temperatuuride vahe $\theta_i - \theta_e$	24,5	K
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu ja joonsoojusläbivused		
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu 2D arvutusest, L_{2D}	0,494	W/mK
Külmasilla arvutusulatuse ligikaudne soojuserikadu (sisemõõdud) $U_1 \times l_1 + U_2 \times l_2$ (1D arvutusest)	0,460	W/mK
Külmasilla arvutusulatuse ligikaudne soojuserikadu (välismõõdud) $U_1 \times l_1 + U_2 \times l_2$ (1D arvutusest)	0,560	W/mK
Külmasilla joonsoojusläbivus Ψ (sisemõõtudest lähtuvalt)	0,034	W/mK
Külmasilla joonsoojusläbivus Ψ (välismõõtudest lähtuvalt)	-0,067	W/mK
Soojuslikud ääritingimused arvutusmudelis ning sisepinna temperatuuriindeks		
Madalaim sisepinna temperatuur	21,7	°C
Sisepinna temperatuuriindeks f_{Rsi}	0,886	
Uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$.		

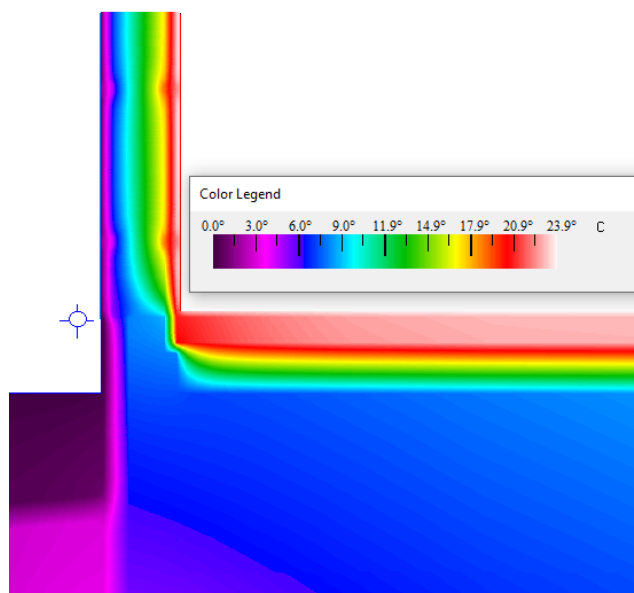
THERM 7.7 analüüsiti ka Vesilinnu tee 1 vundamendi ja välisseina sõlme, mida kõrvutati termograafiliste mõõtmiste tulemustega. THERM 7.7 programmiga arvutades oli madalam sisenurga temperatuur $t_{si} = 21,7$ °C modelleerides sisetemperatuuriga $t_i = 24,5$ °C ja välistemperatuuriga $t_e = 0$ °C (vt joonist 2.5.7).



Joonis 2.5.4 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-vundamendi sõlme mudel

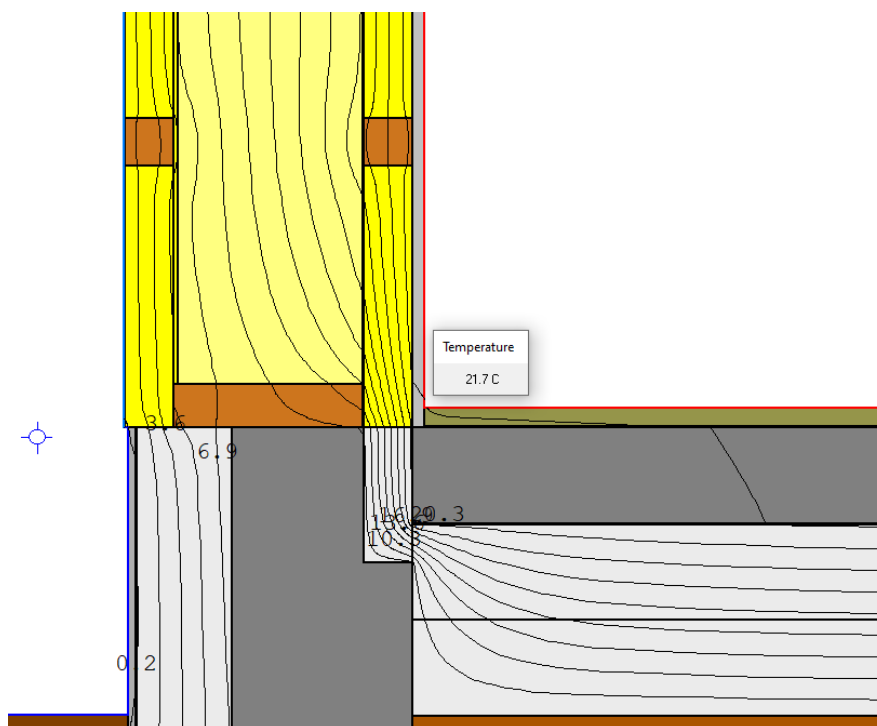


Joonis 2.5.5 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 6 välissein-vundamendi sõlme soojusvoo jaotus samatemperatuuri joontega



Joonis 2.5.6 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-
vundamendi sõlme soojusvoo jaotus

Jooniselt on näha, kuidas külmem sinine tsoon algab kõigepealt vundamendiplokist.



Joonis 2.5.7 THERM 7.7 programmis koostatud Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-
vundamendi sõlme soojusvoo jaotus

Tabel 2.5.2 Vesilinnu tee 1 üksikelamu välissein-vundamendi sõlme THERMI mudeli analüüsi tulemused

Külgneva elemendi (välissein) soojusjuhtivustegur eraldi osamudelist	Väärtused	Ühikud
Külgelemendi (välisseina) soojusjuhtivustegur U_1	0,189	W/m ² K
Külmasilla arvutusulatus ja soojusvoog tervikmudelist		
Külgelemendi (välisseina) arvutusulatus l_1 (sisemöödust lähtuvalt)	1179	mm
külmasilla arvutusulatust läbiv soojusvoog Φ	21,324	W
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe $\theta_i - \theta_e$	24,5	K
Põranda arvutusulatust (eraldi) läbiv soojusvool B-meetodi osamudelist		
B-osamudeli arvutusulatust läbiv soojusvoog Φ_a	15,272	W
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu ja joonsoojusläbivused		
Külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu L_{2D} (2D arvutusest)	0,870	W/mK
Külmasilla arvutusulatuse ligikaudne soojuserikadu $U_1 \times l_1 + L_{2D,a}$	0,846	W/mK
Külmasilla joonsoojusläbivus ψ_g (sisemöödudest lähtuvalt)	0,024	W/mK
Soojuslikud ääritingimused arvutusmudelis ning sisepinna temperatuuriindeks		
Madalaim sisepinna temperatuur	21,7	°C
Sisepinna temperatuuriindeks f_{Rsi}	0,886	
Uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$.		

Sisestati THERMist saadud andmed Microsoft Exceli tabelisse ning arvutati tabeli abil Vesilinnu tee 1 elamu vundamendi-välisseina sõlme sisepinna temperatuuriindeksi, milleks saadi $f_{Rsi} = 0,886$. Vastav temperatuuriindeks on suurem/võrdne kui 0,65 ja 0,55 ($f_{Rsi} \geq 0,65$ ja $f_{Rsi} \geq 0,55$ vastavalt tabelile 2.2.1), mis tähendab, et hallituse ja kondenseerumise risk selle konstruktsiooniga on olematu ning norm, mis uutel elamutel peab olema, on saavutatud, sest $f_{Rsi} > 0,8$ (vt tabel 2.5.2) [8] [11]. Vesilinnu tee 6 üksikelamuga võrreldes on Vesilinnu tee 1 välissein-vundamendi sõlm natuke parema temperatuuriindeksiga (vt tabel 2.4.2 ja 2.5.2). Termografeerimisel oli Vesilinnu tee 1 üksikelamu vundamendi-välisseina ühenduse keskmiseks temperatuuriindeksiks $f_{Rsi} = 0,705$, mis on palju madalam ja alla uutele majadele kehtestatud normide vastavalt standardile EVS-EN ISO 13788:2012 [8]. Vastavalt külmasildadele on vundament ebapiisavalt soojustatud.

Termografeerimise ja THERM 7.7 tulemuste kokkuvõte

Tulemused näitavad, et Vesilinnu tee 6 üksikelamu tulemused vastavad rohkem mudelitele ehk on korrektsemalt projekti järgi ehitatud. Vesilinnu tee 1 üksikelamu kõige nõrgemaks kohaks on välissein-vundamendi ühendused, mis erinevad tunduvalt mudelis arvatud tulemusele. Vesilinnu tee 6 üksikelamu nõrgemaks kohaks on välissein-välissein ühendused. (vt tabel 2.5.3)

Tabel 2.5.3 Programmiga THERM 7.7 ja termografeerimisel saadud tulemuste võrdlus

Ühendus	Temperatuuriindeks f_{Rsi}			
	Vesilinnu tee 6 elamu		Vesilinnu tee 1 elamu	
	Mudeliga	Tegelikult	Mudeliga	Tegelikult
Välissein-välissein	0,888	0,783	0,886	0,848
Välissein-vundament	0,879	0,850	0,886	0,705

2.6 Varasem teadustöö

Kergbetoonplokkidest hooneid on palju uuritud. Vastavalt Tšehhi Tehnikaülikooli ehitusteaduskonna poolt tehtud uuringule 2013. aastal, mida kajastati artiklis „Computer aided design of interior thermal insulation system suitable for autoclaved aerated concrete structures“, vaadeldi autoklaavitud poorbetoonplokkide ja soojustusekihi kokkupuutepinda. Arvutusanalüüs näitas, et maksimaalse soojapidavuse saavutamiseks peaks olema soojusisolatsiooni materjali niiskuse hajuvus k väga kõrge, veeauru difusiooni takistustegur μ väga madal ja hügrokoopse niiskuse sisaldus w_{hyg} mõõdukas. Selline omaduste kombinatsioon on aga väga harv kasutusel olevate

soojustusmaterjalide seas. Ühenduskihi mördid aga täidavad üsna hästi eelnevalt loetletud omadusi. [17] India teadlased M. Kalpana, S. Mohith on kajastanud artiklis „Study on autoclaved aerated concrete: Review“ kergbetooni eeliseid tavalise betooni ees. Nad avastasid, et kergbetoonplokid on väga vastupidavad maavärinatele ja vähem vastuvõtlikud hallituse tekkele. [18]

Puitkonstruktsiooniga hooneid on samuti uuritud. B. Soust-Verdaguer a, C. Llatas ja L. Moya on uurinud Uruguay puitkonstruktsiooniga ja betoonkonstruktsiooniga elamuid, mida on kajastatud artiklis „Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage“. Nad töötasid välja Life Cycle Assessment (LCA) meetodi, mis aitab täiendada andmeid ehitiste projekteerimisetappidel ja lihtsustada puitkonstruktsiooniga ja btoonkonstruktsiooniga hoonete võrdlust. LCA meetod võimaldab BIM tarkvaras näha automaatselt materjalide muudatustega muutuvaid keskkonnamõjusid ja selle läbi kasutada hoonetel keskkonda kõige vähem koormavamaid materjale. [19] P. Piheloa, H. Kikkasa ja T. Kalamees on uurinud Tallinna Tehnikaülikoolis puitkarkassiga passiivmajasid, mida on kajastatud artiklis „Hygrothermal Performance of Highly Insulated Timber-frame External Wall“. Erinevate materjalide kombinatsioone analüüsiti hüdrotermilise simulatsioonide abil, et selgitada välja niiskuse mõju hüdrotermiliselt hästi isoleeritud hoonetele. Toimivuse hindamiseks kasutati hallituse tekkimise ohu kriteeriumit. Tulemused näitasid, et tuuletõkkekihi soojapidavusel ja veeauru läbilaskvusel on kõige tugevam mõju kriitilise punkti suhtelisele niiskusele soojustuskihi ja tuuletõkkekihi kokkupuutepinnal. Suurema soojapidavusega R ($R \geq 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$, ekvivalentse õhukihi paksus $S_d \leq 0,05 \text{ m}$) ja veeauru läbilaskvusega tuuletõkkel hallituse kasvu risk on madalam. Kui aga tuuletõkkel on tulemused madalamad, kui eelnevalt välja toodud, siis peaks seda täiendavalt soojustama, et vältida hallituse tekke ohtu tuuletõkke ja soojustusekihi kokkupuutepinnal. Leiti ka, et ehitusniiskuse kuivamise aeg on pikem väiksema veeauru läbilaskvusega või aurutõkketa kihil. [20]

3. HELIISOLATSIOON

Ruumi ja hoone üheks oluliseks omaduseks on selle akustilised tingimused. Soodsad akustilised tingimused aitavad kaasa toimingutele, mille jaoks ruum on loodud. Müra on määratletud kui mittesoovitud heli, mis häirib inimese toiminguid ja on kahjulikult tugev. [21]

Heli levib üldiselt kahel järgmisel moel: läbi tarindite ja õhu kaudu. Heli liikumist, peegeldumist ning sumbumist ruumis käsitleb ruumiakustika ja heli ülekandumist ruumist ruumi kontsruksioonide vahendusel ehitusakustika. Müratõrje otstarve on vähendada müra tekkimist ja piirata selle edasikandumist. Nii elamust väljas kui ka elamust sees oleva müra tõrjumisel on eesmärgiks vähendada selle tekkimist ning vältida selle edasikandumist heliisolatsioonitarinditega. [21]

3.1 Teoreetiline taust

3.1.1 Heli füüsikalised omadused

Heliks nimetatakse õhurõhu kõikumist staatilise õhurõhu suhtes. Inimene on võimeline eristama kahte olulist heli omadust: heli kõrgust ning valjusust. Heliastung on sõtuvuses võnkumise sagedusest ehk võnkumiste arvust n ajaühikus T (s), mida mõõdetakse hertsides (Hz). Inimese kuulumislävi on vahemikus 20-20 000 Hz. Sagedasi võnkeid tajub inimene kõrge helina ja väikese sagedusega võnkeid madala helina. Inimese kuulumisteravus ei ole ühtlane, vaid sõltub sagedusest ja heli tugevusest. Kui heli tugevus suureneb, siis kuulmisaistingu vastuvõtlikkuse erinevus eri sagedustega helidele muutub ühtlaseks.[21]

Helitugevust määratakse helirõhutasemeg L_p , mis on helirõhu p ja standardse helirõhu nullväärtuse $p_0 = 20 \mu Pa$ suhte kahekümnekordne kümnendlogaritm detsibellides [21]:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}, \quad (3.1.1.1) [21]$$

kus L_p – helirõhutase, dB,

p – helirõhk, Pa,

p_0 - standardse helirõhu nullväärtus, $p_0=20 \mu\text{Pa}$, μPa .

Kõige väiksem õhurõhu muutus, mida inimene tunneb, on $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$. Inimene tunneb valuaistingut, kui helirõhk on umbes 20 Pa. Helirõhutaseme määratluse kohaselt on inimese poolt vähim kuulda olev helirõhutase 0 dB ning valu põhjustava helirõhutaseme 120 dB. [21]

Heliallikate tugevuse võrdlemiseks tuleb võtta arvesse detsibellskaala logaritmilisust. Logaritmilisust kasutatakse selle tõttu, et numbrid läheksid muidu liiga suureks. Näiteks, kui ruumis asetsevad kaks seadeldist, mis tekitavad sama helirõhutaseme üksi töötades, siis nende samaaegse töötamise helirõhutase on 3 dB tugevam võrreldes eraldi tekitatava helirõhutasemega. Juhul aga kui seadeldiste tekitatavate helirõhutasemete vahe on suurem kui 10 dB, sätestab tugevam heli allikas seadeldiste koosmõjul tekitatava helirõhutaseme. Vaiksema heli allika summutamisest poleks tulu, seetõttu ongi müratõrje eesmärgiks välja selgitada kõige tugevam heli allikas ja tegeleda kõigepealt selle summutamisega. [21]

Inimese kuulmisaisting ei ole sama tundlik kogu sagedusalale ja seetõttu kasutatakse kuulmistundlikkuse arvesse võtmiseks helitasemete iseloomustamiseks erinevaid korrektsioone. Inimene kuuleb kõige tundlikumalt sagedusvahemikus 2000-5000 Hz, selle ala aga mõlemas otsas kuulmisteravus väheneb. Inimkõrva kuulmisaistingu tundlikkust arvestatakse sageduskorrektsiooniga A, mis lisatakse kesksageduste haaval helirõhutasemele L_p . Kuna kuulmistundlikkus on mõjutatud samuti heli tugevusest, siis on kasutusel ka teise korrektsioone, mis arvestavad sellega. Nendest enimkasutatud on C-korrektsioon. [21] Tabelis 3.1.1.1 on välja toodud standardis EVS 842:2003 esitatud korrektsioonide väärtused [22].

Tabel 3.1.1.1 A-korrektsiooni ja C-korrektsiooni väärtused vastavalt standardile [22]

	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
A (dB)	-	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1
C (dB)	-3	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8

3.1.2 Heliisolatsioon ehituses

Heliallikate tekitatavad helirõhutasemed erinevad üksiksagedustel ja sellepärast jagatakse ehitusakustikas helispekter sagedusribadeks. Samuti sõltub tarindite heliisolatsioonivõime sagedusest. Hoonete ja piirete heliisolatsioonimõõtmised teostatakse tertsi- ehk kolmandik-oktaavribades alates kesksagedustest 50 Hz või 100 Hz kuni kesksagedusteni 3150 Hz või 5000 Hz. [21]

Õhumüra isolatsiooni indeksi puhul on tegemist ühenumbriise väärtusega, mis aitab hinnata õhumüra isolatsioonivõimet ehitise ühest ruumist teise. Õhumüra isolatsiooni hindamisel on kasutusel erinevad tähistused. R_w määratakse arvutuslikult või laboritingimustes ning see ei võta arvesse heli kaudset ülekannet. R'_w näitab heli ülekannet läbi vastava piirdetarindi ja sellega piirnevate konstruktsioonide. [21]

Ehitiseosa õhuheliisolatsioonivõime R laboritingimustes leitakse mõõtmisel põhineva meetodiga järgnevalt [21]:

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2}, \quad (3.1.2.1) [21]$$

kus R – ehitise osa õhuheliisolatsioonivõime, dB,

$L_{p,1}$ - allikaruumi helirõhutaseme, dB,

$L_{p,2}$ - vastuvõtva ruumi helirõhutaseme, dB,

S - ruume eraldava ehitiseosa pindala, m²,

A_2 - vastuvõtva ruumi neeldepind, m².

Vastuvõtva ruumi neeldepinna A_2 saab arvutada järgneva valemiga [21]:

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2}, \quad (3.1.2.2) [21]$$

kus A_2 – vastuvõtva ruumi neeldepind, m²,

V_2 – vastuvõtva ruumi ruumala, m³,

T_2 – vastuvõtva ruumi järelkõlakestus, s.

Katsetulemus leitakse tavaliselt vähemalt sagedusvahemikus 100-3150 Hz või 50-5000 Hz. Mõõtmistulemuste põhjal on võimalik leida õhumüra heliisolatsiooni indeks R'_w (platsimõõtmistel), mis näitab tarindi akustilist toimivust ja mis on õhuheliisolatsioonivõime korrigeeritud keskmine väärtus vastavalt standardis ISO 717-1 esitatud meetodikale. Tarindi õhuheliisolatsioonivõimet kõrvutatakse tabelis 3.1.2.1 ja 3.1.2.2 välja toodud ISO 717-1 spetsiaalse võrdluskõveraga. Võrdluskõverat nihutatase 1 dB kaupa asendisse, et õhuheliisolatsioonivõime soovimatute hälvete summa kõrvutatult võrdluskõvera väärtustega ei ületaks 32 dB. Kui võrdluskõver on nihutatud kõige kõrgemasse asendisse, leitakse õhuheliisolatsiooni indeksi väärtus võrdluskõvera pealt 500 Hz kohalt. [21] [23].

Tabel 3.1.2.1 Õhuheliisolatsioonivõime võrdluskõvera väärtused 1/1-oktaavribades, kui õhuheliisolatsiooni indeksi väärtus on võrdne 55 dB [21]

Kesksagedus (Hz)	125	250	500	1000	2000
Võrdluskõvera normväärtus 1/1-oktaavribades (dB)	39	48	55	58	59

Tabel 3.1.2.2 Õhuheli normväärtused vastavalt standardist ISO 717-1 tabeli 3 põhjal [23].

Sagedus (Hz)	Referentsväärtused (dB)	
	1/3-oktaavribades	Oktaavribades
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	

Tabel 3.1.2.2 järg

Sagedus (Hz)	Referentsväärtused (dB)	
	1/3-oktaavribades	Oktaavribades
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

Avatäite ja fassaadikonstruktsiooni ühisolatsiooni võimet iseloomustab helitasemetevahe indeks $D_{ls,2m,n,w}$. Selle leidmiseks on vaja arvutatada taandatud helitasemetevahe iga tertsriba jaoks $D_{ls,2m,n}$, mida arvutatakse järgmise valemi järgi [21]:

$$D_{ls,2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \log_{10} \frac{A}{A_0} \quad (3.1.2.3) [21]$$

kus $D_{ls,2m,n}$ – taandatud helitasemetevahe iga tertsriba jaoks, dB,

$L_{1,2m}$ - keskmine helirõhutase väliskeskkonnas 2m kaugusel hoone fassaadist, dB,

L_2 - vastuvõtva ruumi keskmine helirõhutase, dB,

A – uuritava ruumi helineeldepind, m^2 ,

A_0 – helineeldumise võrdluspind, $A_0=10 m^2, m^2$.

Uuritava ruumi helineeldepind tehakse ruumala ja järelkestuse põhjal kindlaks sarnaselt valemile 3.1.2.2. Helineeldumise võrdluspind vastab helineeldepinnale tüüpilises eluruumis, mille ruumala on umbes $30 m^3$ ja järelkõlakestus 0,5 sekundit. [21]

Tertsribade kaupa mõõdetud helitasemetevahest on võimalik arvutada ühe numbriga väljendatava helitasemetevahe indeks $D_{ls,2m,n,w}$. Seda leitakse taandatud helitasemetevahest iga tertsriba jaoks $D_{ls,2m,n}$ võrdluskõverameetodiga samamoodi kui eelnevalt kirjeldatud õhuheliisolatsiooni indeksit. [21]

Standardites EVS 842:2003 ja EVS-EN ISO 717-1:2021 on samuti antud ka arvutusjuhised spektrilähendusteguri leidmiseks [22] [23]. Tegemist on suurusega, mis liidetakse ühearvulisele hinnangule, et arvestada heliallika spektri omadusi.

Spektrilähendustegurid on sisuliselt heliisolatsiooniindeksite parandustegurid, mis võtavad arvesse müraallika iseloomu. Näiteks õhumüra isolatsiooniindeksi hindamiseks kasutatakse tüüpiliselt spektrilähendustegurit C ning fassaadidel spektrilähendustegurit C_{tr} . Spektrilähendustegurit C_{tr} on vastavalt standardile EN ISO 717-1 defineeritud järgmiselt: [23]

$$C_{tr} = X_{A,2} - X_w, \quad (3.1.2.4) [23]$$

kus C_{tr} – spektrilähendustegur,

$X_{A,2}$ – erinevus A-korrigeeritud helitasemete vahel allikaruumis (või fassaadi ees vabas õhus) ja vastuvõturuumis liiklusrumina puhul,

X_w – asjakohane normgraafikul põhinev ühearvuline suurus

3.1.3 Hoonetele esitatavad akustilised nõuded ja Eestis kehtiv seadusandlus

Müra mõõtmise kord on määratletud Eesti vabariigi sotsiaalministri 04.03.2002 määrusega number 42 "Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid" [24]. Mõõtmistel kasutatavad seadmed peavad vastama standarditele ja olema iga aasta kalibreeritud akrediteeritud kalibreerimislabori poolt. [24]

Regulaarsest liiklusest tingitud välismüra taseme $L_{pe,eq,r}$ 2 m kaugusel ehitise fassaadist määratakse arvutuslikult või mõõtmiste teel. Arvutades võetakse arvesse perspektiivne (umbes 5-10 aastat) keskmine aastaringne liiklussagedus. Arvutatud või vaba helivälja tingimustes mõõdetud müratasemetele lisatakse 3 dB helipeegelduste arvestamiseks ehitise fassaadist. Ehitise välispiirde heliisolatsiooni määratlemisel ja üksikute elementide valikul üldiselt kasutatakse transpordimüra spektri lähendustegurit C_{tr} vastavalt standardile EN ISO 717-1. [21] Tabelites 3.1.3.1 ja 3.1.3.2 on välja toodud sotsiaalministri määruse „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“ kehtestatud liiklusrumina ja hoone tehnikommunikatsioonide põhjustatud müra normtasemed elamutes.

Kusjuures elamu köögis, vannitoas ja majandusruumis on lubatud 5 dB võrra kõrgem müratase kui elu- ja magamisruumides. [24] Tabelis 3.1.3.3 on välja toodud sisepiiretele esitatavad heliisolatsiooninõuded vastavalt standardile EVS 842-2003.[22]

Tabel 3.1.3.1 Liiklusmüra normtasemed elamutes [24]

Hoone ja ruum	Müra normtasemed	
1. Elamu		
	$L_{pA,eq,T}$ (dB)	
1.1. Eluruumides	päeval	40
1.2. Magamisruumides	öösel	30
	$L_{pA,max}$ (dB)	
	öösel	45

Tabel 3.1.3.2 Tehnoseadmete müra normtasemed hoonetes [24]

Hoone ja ruum	Müraallikas	Müra normtasemed	
1. Elamu			
Elu- ja magamisruumides	Hoone tehnokommunikatsioonidest	$L_{pA,eq,T}$ (dB)	30
		$L_{pC,eq,T}$ (dB)	50
		$L_{pA,max}$ (dB)	35

Tabel 3.1.3.3 Sisepiiretele esitatavad nõuded vastavalt standardile EVS 842-2003 [22]

Hoone ja ruumi tüüp	Õhumüra isolatsiooniindeks R'_{w} (dB)
Ühest korterist teise	55
Korterites eluruumidest üldkasutatavatesse ruumidesse ning bürooruumidesse	55
Korteritest müratekitavatesse ruumidesse (garaažidesse, tehnohoolde-, teenindus-, töö- ja puhkeruumidesse)	60
Ühe korteri ruumist teise ruumi	43
Korteritest üldkasutatavatesse ruumidesse, kui seinas asetseb uks	39

3.2 Varasem teadustöö

Kergkonstruktsioonide akustiline toimivus on massiivsete konstruktsioonidega võrreldes komplitseeritud, sest universaalsed arvutusmeetodid puuduvad. Kergkonstruktsioonide kasutamise leviku suurenemisega on neid ka palju sellel sajandil uuritud. Näiteks aastatel 2008-2012 moodustati erinevad töögrupid aktsiooni COST Action FP0702 „Net-Acoustics for timber based lightweight buildings and elements” raames. Gruppide sihiks oli vaadelda kergkonstruktsioonide akustilist ja vibratsioonilist toimivust madalsageduslikus piirkonnas. [25] COST Action TU0901 „Integrating and harmonizing sound insulation aspects in sustainable urban housing constructions” käigus analüüsiti mitmetes riikides olevaid heliisolatsiooninõudeid ja eesmärgiks oli neid ühtlustada ühtseks süsteemiks [26].

Vastavalt Soomes tehtud uuringule vaadeldi 26 fassaadi 13 erinevas majas ja saadi sagedusel 50-5000 Hz kaalutud õhuheliisolatsiooni indeksiks R'_w keskmiselt 31-51 dB. Helirõhutaseme vahet mõõdeti 1/3 oktaavribades. [27] Uuritud on ka teisi lähenemisviise, kuidas seina heliisolatsioonivõimet ühenumbriks kindlaks teha. Nimelt ühes uuringus tegid teadlased katse, kus paluti 40 normaalse kuulmisvõimega inimesel hinnata erinevate seinte kaudu edastatavate helide tugevust ning neid tulemusi võrreldi pingereaga, mis põhines edastatud heli valgususel ja ühe numbri suurustel väärtustel R_w . Seal katses eristati raskeid ja kergkonstruktsioone. Selle meetodi reaalses elus kasutuselevõtmiseks oleks vaja teha veel palju täiendavaid uuringuid, mis arvestaksid rohkem mõjutatavaid tegureid. [28] Lisaks Brasiilia uuringus vaatlesid teadlased kipsist plokkidest seina, mida seal palju kasutatakse, heliisolatsioonivõimet. Tulemused näitasid, et kui kuni 70 kg/m² pinnatihedusega ühekordne täiskipsplokkidest sein on heliisolatsioonilt paremate tulemustega, siis alates 70 kg/m² pinnamassiga ühekordne õõnsatest kipsplokkidest sein annab heliisolatsioonivõimelt paremaid väärtusi. Ühekordste täiskipsplokkidest seinte korral kriitiline sagedus suurenes seina paksuse vähenemisega, samas kui ühekordse õõnes kipsplokkidest seina kriitiline sagedus seda ei teinud. Kahekordse täiskipsplokkidest seina, mille seinapoolte vahel oli õhkvahe, heliisolatsioonivõime oli parem kõrgematel sagedustel. Kusjuures õhkvahe suuruse vähendamine või suurendamine 50-100 mm ei mõjutanud tulemust. Samuti võis märgata, et kui seda vahet täitis klaasvill ja lambavill, siis see andis sarnase efektiivsusega tulemusi kriitilise sageduseni nagu õhkvahegi. [29] Lisaks on Austria teadlased (B.Nusser ja C.Lux) uurinud fassaaditüübi, sisevoodrite ja ehitusdetailide mõju mõõdetud heliisolatsiooni väärtusele, kus on võetud arvesse erinevaid spektrilähendustegureid. Nimelt leiti laboris nii R_w+C_{tr} (raskete aeglaselt sõitvate sõidukite peamise müra korral) väärtusi kui ka R_w+C (üldise liikluse tekitatud müra)

väärtusi sagedusel 50-5000 Hz. R_w+C_{tr} heliisolatsioonivõime tulemused olid kõik madalamate väärtustega. [30] Tšehhi teadlaste (Z. Fišarová, L. Kalousek, M. Frank ja R. Brzoň) poolt tehtud uuringus on välja toodud, et fassaadiplaatide vahelised praod vähendavad heliisolatsioonivõimet R'_w umbes 3 dB võrra [31].

3.3 Fassaadide akustiline toimivus

Vesilinnu tee 6 üksikelamu puhul on akustilisest seisukohast tegu ühepoolse vooderseinaga massiivse kivitarindiga ning Vesilinnu tee 1 üksikelamu puhul kahekordse plaattarindiga (täpsed konstruktsioonitüübid on esitatud peatükkides 2.3.1 ja 2.3.2 ning joonistel Lisades 5, 6 ja 8). Vesilinnu tee 6 üksikelamu seinakonstruktsiooni võib pidada akustilisest seisukohast massiivseks konstruktsiooniks ja Vesilinnu tee 1 üksikelamu seinakonstruktsiooni kergkonstruktsiooniks [28].

3.3.1 Vesilinnu tee 6 üksikelamu fassaadi teoreetiline heliisolatsioonivõime

Massiivsete tarindite eelis võrreldes sama paksu plaattarindusega seinaga on suurem heliisolatsioonivõime madalatel sagedustel. Madalad sagedused on vahemikus 50-125 Hz. Põhjuseks on asjaolu, et madalate sageduste puhul sõltub ka plaattarindusega seinte heliisolatsioonivõime ainult kogumassist. [21]

Kivimaterjalist massiivse piirde heliisolatsioonivõime parandamiseks pole efektiivne massi kasvatada. Pigem on lihtsam suuremate heliisolatsiooni väärtuste saamiseks kasutada mitmekordset seinatarindit ehk plaatmaterjalist lisaseina kasutada. [24]

Standard EVS-EN ISO 12354-1:2017 „Ehitusakustika. Hoonete akustilise toimivuse hindamine elementide akustilise toime põhjal. Osa 1: Ruumidevaheline õhuheli isolatsioon” annab ülevaate lihtsustatud valemitest erinevate betoonist ja kergbetoonist tarindite heliisolatsioonivõime arvutamiseks. Näiteks eelneva standardi järgi kaalutud

heliisolatsiooniindeks arvutatakse suurema massiga kui 50 kg/m² kergbetoonplokil järgmise valemiga [32]:

$$R_w = 21,65 \log\left(\frac{m'}{m'_0}\right) - 2,3 \pm 1, \quad (3.3.1.1)[32]$$

kus R_w – kaalutud heliisolatsiooniindeks, dB,

m' – mass pindalaühiku kohta, kg/m²,

m'_0 – normatiivmasss elemendi pindalaühiku kohta (= 1 kg/m²), kg/m².

Vesilinnu tee 6 välisseinakonstruktsiooni kaalutud heliisolatsiooniindeksi arvutamisel arvestati poorbetoonist kergplokke Bauroc Universal 200. Vastavalt Bauroci tehnilistele andmetele, on nende kergplokkide kuivtiheduseks 375 kg/m³ [33]. Järelikult Bauroc Universal plokkidest seinamassiks m' on $375 * 0,2 = 75$ kg/m².

Vastavalt valemile 3.3.1.1 leitakse Vesilinnu tee 6 välisseina kaalutud heliisolatsiooniindeks [32]:

$$R_w = 21,65 \log\left(\frac{75}{1}\right) - 2,3 = 38 \text{ (dB)}$$

Järelikult on Vesilinnu tee 6 elamu välisseina kaalutud heliisolatsiooniindeks R_w vähemalt 38 dB, kuid erinevate plaattarindustega saavutatav heliisolatsiooni paranemine võib olla õhkvahega isegi kuni 10-20 dB. See sõltub kinnituse jäikusest, õhkvahe suurusest, plaatide massist ja helineeldematerjaliga täitmisest. [21] Seega Vesilinnu tee 6 elamu välisseina kaalutud heliisolatsiooniindeks R_w võib olla isegi kuni 48-58 dB. Bauroci kodulehel on toodud välja ka ühekihilise mõlemalt poolt krohvitud Bauroc välisseina õhumüraisolatsiooniindeksid erinevatele Bauroci seinaplokkide tüüpidele ja paksustele. 200 mm Bauroc Universal plokile on tootja esitanud kaalutud heliisolatsiooniindeksiks $R_w = 42$ dB, mis on kõrgem kui standardi lihtsustatud meetodi järgi arvutades saadud tulemus, sest seal on lisaks arvestatud ka kahepoolse krohvimisega. Seal on arvestatud arvutades krohvi kulunormiga 10 kg/m² mõlemal seinapinnal ehk kokku seinapinnamassiga 95 kg/m². [34]

Vesilinnu tee 6 elamu fassaadi teoreetiline heliisolatsioonivõime modelleeriti töö käigus ka spetsiaaltarkvaraga Insul 9.0.23. Tarkvaraga Insul on tegemist Uus-Meremaal akustikakonsultatsiooni ettevõtte Marshall Day Acoustics poolt arendatud tarkvaraga. See lihtsustab mitmete tarindite löögimüra- ja õhumüraisolatsioonivõime hindamist. Tarkvaraga saab ainult tarindite kui üksikute konstruktsiooniosade heliisolatsiooniparameetreid arvutada ehk vastav tarkvara ei võimalda modelleerida ruumi kui tervikut. Teisisõnu tarkvara ei arvesta siirdehelide levikuga läbi külgnevate tarindite. [35]

Esimesena modelleeriti tarkvara abil ühekihilise Bauroc Universal 200 müüritise teoreetilist heliisolatsioonivõimet (vt Lisa 9), mille väärtuseks saadi $R_w = 41$ dB. Järgmiseks modelleeriti teoreetilist heliisolatsioonivõimet Bauroc Universal 200 müüritisele koos välisvoodriga (vt Lisa 10), kus tulemuseks saadi $R_w = 56$ dB. Siin on hästi näha, kuidas voodri lisamine parandas tarindi teoreetilist heliisolatsioonivõimet. Vooderseinena akustilist toimet parandav efekt sõltub kinnituse jäikusest, õhkvahe suurusest, plaatide massist ja helineeldematerjaliga täitmisest. Tegu aga on teoreetiliste väärtustega (laboriväärtustega) ja tüüpiliselt reaalses ehituses saavutatakse kehvemaid tulemusi. [21] Võrreldes kirjanduses esitatud teoreetiliste arvutusmeetodite abil saadud tulemustega, olid kommertstarkvara abil arvatud teoreetilised heliisolatsioonivõime tulemused sarnased.

3.3.2 Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadi teoreetiline heliisolatsioonivõime

Karkassvaheseinte õhuheliisolatsioonivõime arvutamiseks on kasutusel meetod, mis võtab arvesse pinnaplaatide massi ja õhkvahe suurust. Arvutusmudeliga on võimalik leida nii ilma mehaanilisi sidemeid omava karkassvaheseina kui ka mehaaniliste sidemetega karkassvaheseinte heliisolatsioonivõimet. Ilma mehaanilisi sidemeid omavat karkassvaheseina nimetatakse ideaalseks ja seda arvutatakse eraldi kolmes sagedusvahemikus. Vaheseina küljeplaate võetakse arvesse teineteisega koos olevatena, kui arvutatakse jäiksid mehaanilisi sidemeid omavate karkassvaheseinte heliisolatsioonivõimet. Arvutatakse õhukese plaadi heliisolatsioonivõime R_M , mida peale seda alates sildsagedusest f_{br} korrigeeritakse parandusteguri ΔR_M võrra. Sildsageduseks on sagedus, millest kõrgemal algab karkassipostide nõrgendav mõju. [21]

Kahekordse plaatseina moodustab kaks õhukest plaatkihti, mille vahele jääb õhkvahe. Õhkvahe võib asetseada nii helineeldematerjal kui ka tugisõrestik, nagu välisseintes. Akendes asetseb õhkvahe aga ainult õhk. [21]

Plaattarindusega sein heliisolatsioonivõime arvutamisel võetakse käesolevas töös aluseks sidumata plaattarindusega sein, mille õhkvahe on helineeldevõimega. Saadakse seega maksimaalne antud tarindiga saavutatav heliisolatsioonivõime. Õhuheliisolatsioonivõime saab arvutada järgmise avaldisega [21]:

$$R_{\text{ideal}} = \begin{cases} 20 \log_{10}(m'_1 + m'_2)f - 48 & f < f_{\text{mam}} \\ R_1 + R_2 + 20 \log_{10} fd - 29 & f_{\text{mam}} < f < f_1, \\ R_1 + R_2 + 6 & f > f_1 \end{cases} \quad (3.3.2.1) [21]$$

kus R_{ideal} – kõrgeim võimalik heliisolatsioonivõime väärtus, mille kahekordne plaatsein on võimeline saavutama/ sidumata küljeplaatidega vaheseina heliisolatsioonivõime, dB,

R_1 – plaatpinna number 1 heliisolatsioonivõime, dB,

R_2 – plaatpinna number 2 heliisolatsioonivõime, dB,

m'_1 – plaatpinna 1 pinnamass, kg/m²,

m'_2 – plaatpinna 2 pinnamass, kg/m²,

f – sagedus, Hz,

d – õhkvahe laius, m,

f_{mam} – mass-õhk-mass resonantssagedus, Hz,

f_1 – piirsagedus, Hz.

Piirsagedus f_1 arvutatakse järgmiselt [21]:

$$f_1 = \frac{c_0}{6d}, \quad (3.3.2.2)[21]$$

kus f_1 – piirsagedus, Hz,

c_0 – heli kiirus õhus (343 m/s), m/s,

d - õhkvahe laius, m.

Mass-õhk-mass resonantssagedus f_{mam} arvutatakse järgmiselt:

$$f_{\text{mam}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,8\rho_0 c_0^2}{d} \frac{m'_1 + m'_2}{m'_1 m'_2}} = 80 \sqrt{\frac{m'_1 + m'_2}{d m'_1 m'_2}} \quad (3.3.2.3)[21]$$

kus f_{mam} - mass-õhk-mass resonantssagedus, Hz,

m'_1 – plaatpinna 1 pinnamass, kg/m²,

m'_2 – plaatpinna 2 pinnamass, kg/m²,

ρ_0 – õhu tihedus (1,18 kg/m³), kg/m³,

c_0 – heli kiirus õhus (343 m/s), m/s,

d - õhkvahe laius, m.

Vesilinnu tee 1 välisseinakonstruktsiooni kaalutud heliisolatsiooniindeksi arvutamisel arvestati kipsplaati, laudist ja selle vahele jäävat mineraalvilla karkassiga. Kipsi massiks m_1 on vastavalt tootekataloogile 8,7 kg/m². Laudise massiks m_2 on vastavalt tootekataloogile 9 kg/m². Mineraalvill karkassiga ehk õhkvahe laius d on 340 mm. Plaatpindade heliisolatsioonivõimed R_1 ja R_2 on vastava plaadi heliisolatsiooni väärtused, mis erinevad igal sagedusel ja on toodud välja Lisa 11 ja Lisa 12, kus on Insul 9.0.23 tarkvaraga leitud teoreetilised arvutustulemused. Insul 9.0.23 tarkvaras on lihtsustatuna kasutatud fassaadilaudise asemel OSB plaati.

Antud:

$$m_1 = 8,7 \text{ kg/m}^2$$

$$m_2 = 9 \text{ kg/m}^2$$

$$d = 340 \text{ mm} = 0,340 \text{ m}$$

Vastavalt valemile 3.3.2.3 leitakse mass-õhk-mass resonantssageduse f_{mam} järgmiselt:

$$f_{mam} = 80 \sqrt{\frac{m'_1 + m'_2}{dm'_1 m'_2}} = 80 \sqrt{\frac{8,7 + 9}{0,340 * 8,7 * 9}} = 65,23 \text{ (Hz)}$$

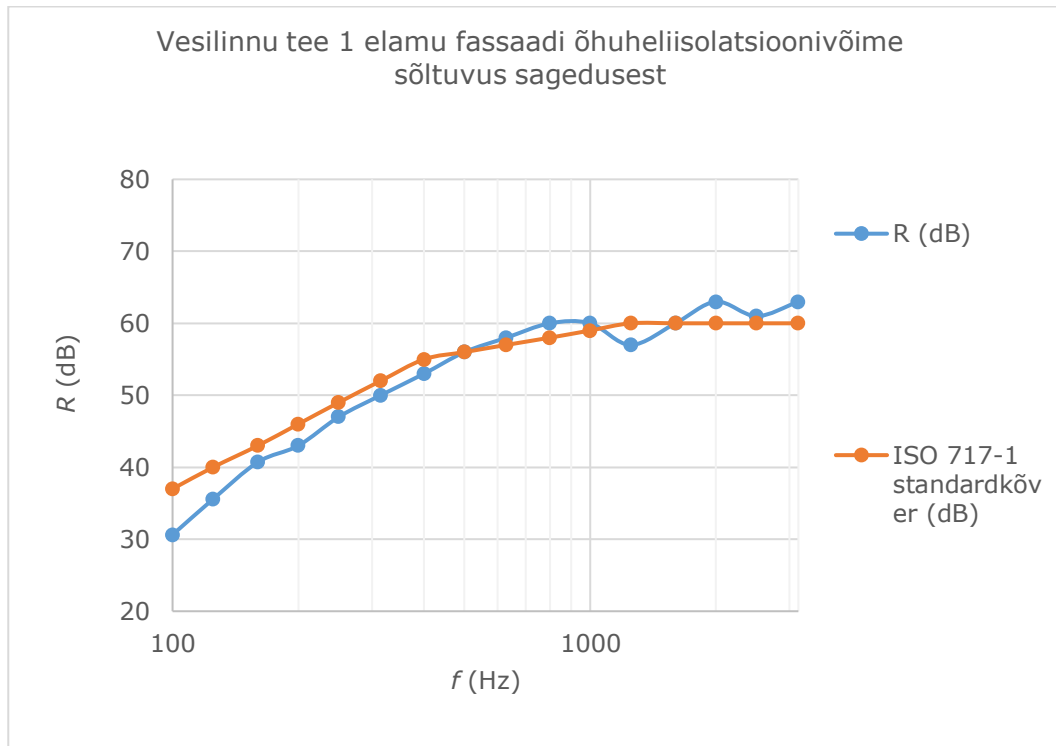
Vastavalt valemile 3.3.2.2 leitakse piirsageduse f_1 järgmiselt:

$$f_1 = \frac{c_0}{6d} = \frac{343}{6 * 0,340} = 168,14 \text{ (Hz)}$$

Vastavalt valemile 3.3.2.1 leitakse igal sagedusel kõrgema võimaliku heliisolatsioonivõime väärtuse R_{ideal} , mille kahekordne plaatsein on võimeline saavutama. Allpool tabelis 3.3.2.1 ja joonisel 3.3.2.1 on toodud vastavad arvutustulemused, et määrata ühearvuline väärtus.

Tabel 3.3.2.1 Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadi R_w ühearvulise väärtuse leidmine

f(Hz)	R (dB)	ISO 717-1 standardkõver (dB)	Hälve (dB)
100	30,6	37	6,4
125	35,6	40	4,4
160	40,7	43	2,3
200	43,0	46	3,0
250	47,0	49	2,0
315	50,0	52	2,0
400	53,0	55	2,0
500	56,0	56	0,0
630	58,0	57	-1,0
800	60,0	58	-2,0
1000	60,0	59	-1,0
1250	57,0	60	3,0
1600	60,0	60	0,0
2000	63,0	60	-3,0
2500	61,0	60	-1,0
3150	63,0	60	-3,0



Joonis 3.3.2.1 Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadi R_w ühearvulise väärtuse leidmine

ISO võrdluskõvera nihutamisel saadi soovimatute hälvete summaks $25,1 \text{ dB} \leq 32 \text{ dB}$. See tähendab, et on leitud kirjanduses esitatud arvutusmeetodiga Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadi ühenumbiline teoreetiline õhuheliisolatsiooniindeks $R_w = 56 \text{ dB}$.

Heliisolatsioon Vesilinnu tee 1 elamu fassaadile modelleeriti ka spetsiaaltarkvaraga Insul 9.0.23. Tarkvara võimaldab modelleerida erinevaid olukordasid ning kasutada plaattarindite vahel erineva jäikusega sidemeid, mis mõjutavad arvutustulemust. Samuti võetakse tarkvaras detailsemalt arvesse õhkvahe olevat helineeldematerjali. Vesilinnu tee 1 elamu fassaadi heliisolatsiooniindeksi leidmiseks kasutati punktühendusi, kuna tarindis on mitmelt kihilt risti puitpostid ja distantstliistud ning heli levimiseks vajalikud sidemed jäävad selliselt punktühendusteks. Tulemuseks R_w saadi 55 dB (vt Lisa 13). Võrreldes kirjanduses esitatud teoreetiliste arvutusmeetodite abil saadud tulemusega, oli kommertstarkvara abil arvatud teoreetiline heliisolatsioonivõime R_w tulemus 1 dB võrra halvem.

3.4 Välisseinte heliisolatsiooni mõõtmised

3.4.1 Mõõtmiste eeltöö ja läbiviimine

Müra mõõtmisel oli abiks kaasjuhendaja Kajaja Acoustics OÜ keskkonnamüra valdkonna juht/konsultant Kaarel Sepp. Mõõtmisi teostati Vesilinnu tee 6 ja Vesilinnu tee 1 üksikelamute välisseintel. Mõõtmised ja arvutused teostati vastavalt standarditele EVS-EN ISO 717-1:2021 „Hoonete ja ehituselementide heliisolatsiooni hindamine. Osa 1: Õhuheli isolatsioon“; EVS-EN ISO 16283-3:2016 „Acoustics Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation“ ja EVS-EN ISO 16283-1:2014 „Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation“ [36] [23] [37]. Mõõtmisel kasutati järgmises tabelis toodud mõõteseadmeid (tabel 3.4.1.1). [38]

Tabel 3.4.1.1 Välisseina heliisolatsiooni mõõdistamisel kasutuses olnud instrumendid (pildid ja info tootja kodulehelt ja heliisolatsiooni mõõtmiste raportist) [38]

Katseseadeldis	Seadeldise nimetus	Seadeldise mudel
	Kalibraator	NTi Audio CAL200 (16083)
	Müramõõdik	NTi Audio XL2-TA (A2A-15376-E0)
	Mikrofon	NTi Audio M2230 (09543)

Tabel 3.4.1.1 järg

Katseseadeldis	Seadeldise nimetus	Seadeldise mudel
	Mürageneraator	NTi Audio PA3 Power Amplifier (1169)
	Kõlar	NTi Audio DS3 Dodecahedron Loudspeaker (D-1073-A3)



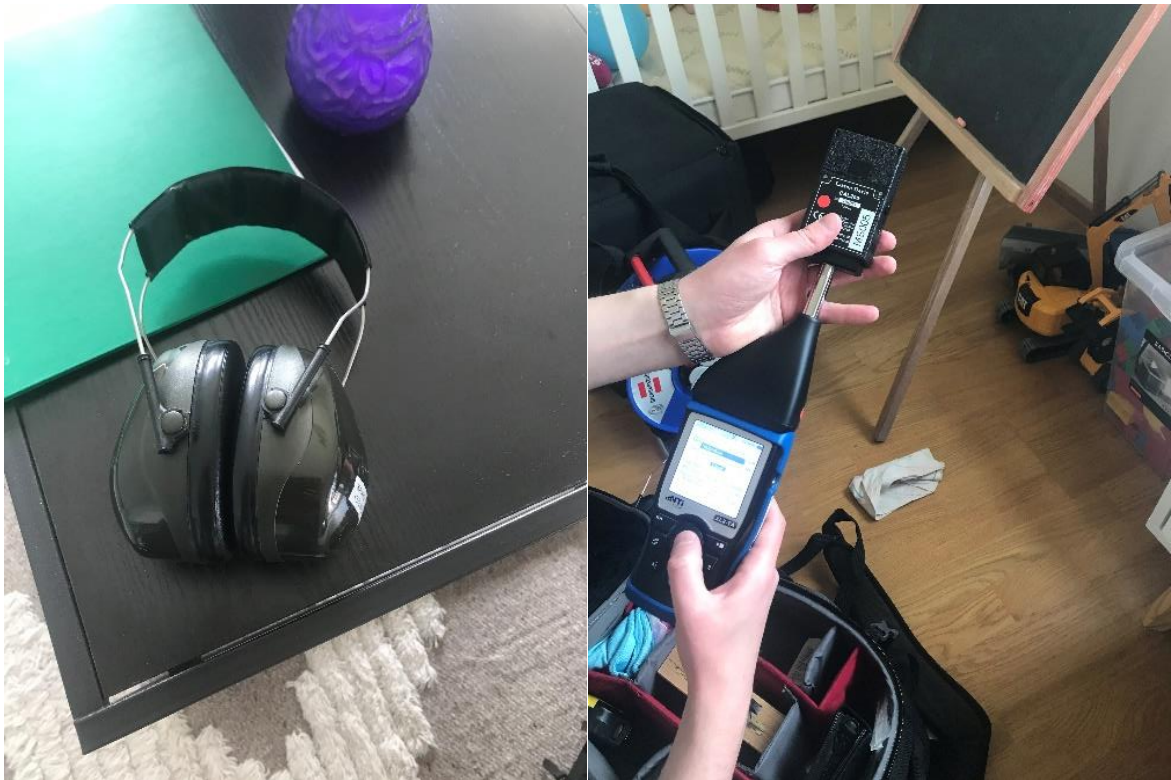
Joonis 3.4.1.1 Vajalikud abiseadmed: pikendusjuhe, kõrvaklapid ja laserkaugusmõõdik

Mõlemas hoones teostati 2 fassaadi akustilist toimivust kirjeldavat heliisolatsiooni mõõtmist – üks ruumide vahel ning üks väliskeskkonnast tuppa. Esimene mõõtmine kirjeldas tarindi enda heliisolatsioonivõimet ning teine mõõtmine fassaadi ja avatäite ühisisolatsioonivõimet. Mõõtmised teostati vastavalt standardites EVS-EN ISO 16283-1 ja EVS-EN ISO 16283-3 kirjeldatud protseduuridele ning tulemused arvutati vastavalt EVS-EN ISO 717-1 kirjeldatud protseduuridele kasutades selleks spetsiaaltarkvara NTi Audio "Sound Insulation Reporter". Tegemist on NTi Audio poolt loodud tarkvaraga, mis võimaldab vastava firma seadmetega mõõdetud tulemusi analüüsida ja koostada mõõtmisprotokolle. Sisendina tuleb tarkvarasse sisestada ruumide ruumalade ja pindalade suurused ning laadida kõik mõõdetud mõõtetulemused müramõõdikust. Seejärel arvutab tarkvara standardijärgsete indikaatorite väärtused ning võimaldab genereerida mõõtmistulemuste protokolle. [38]

Mõõtmisi alustati magamistoa nr 1 (vt Lisa 1 Vesilinnu tee 6 esimese korruse põhiplaanilt koos märkustega) ja panipaiga vahelise seina heliisolatsioonivõime määramisest. Kahe ruumi vahelist heliisolatsiooni kirjeldab indikaator R'_w [dB].

Mõõtmiste protseduur toa 1 ja magamistoa vahel oli järgnev:

- mõõdeti kõlari tekitatud helirõhutasemed allikaruumis (joonis 3.4.1.3 ja joonis 3.4.1.4 vasakpoolne pilt)
- mõõdeti kõlari tekitatud helirõhutasemed vastuvõtvas ruumis;



Joonis 3.4.1.2 Heliisolatsiooni mõõtmistel kasutatud kõrvaklapid ja müramõõdiku kalibreerimine

- mõõdeti vastuvõtva ruumi järelkõlakestus ja taustmüratase (joonis 3.4.1.5 vasakpoolne pilt) ;
- mõõdeti ruumi gabariidid (joonis 3.4.1.1 parempoolne pilt).

Järgnevalt teostati mõõtmised väliskeskkonnast magamistuppa nr 1, millega mõõdeti Vesilinnu tee 6 fassaadi ja avatäidete ühisisolatsiooni võimet (vt Lisa 1). Tulemust kirjeldab kaalutud helitasemetevahe indeks $D_{ls,2m,n,w}$.

Mõõtmiste protseduur väliskeskkonna ja magamistoa nr 1 vahel oli järgnev:

- mõõdeti kõlari tekitatud helirõhutasemed fassaadist 2 m kaugusel (joonis 3.4.1.5 parempoolne pilt)
- mõõdeti kõlari tekitatud helirõhutasemed vastuvõtvas ruumis;



Joonis 3.4.1.3 Heliisolatsiooni mõõtmistel kasutatud võimendi ja kõlar (märgitud punase ringiga) esimeses positsioonis

- mõõdeti vastuvõtva ruumi järelkõlakestus ja taustmüratase (joonis 3.4.1.5 vasakpoolne pilt) ;
- mõõdeti ruumi gabariidid (joonis 3.4.1.1 parempoolne pilt).

Enne ja pärast mõõtmisi kontrolliti mõõteseadet akustilise kalibraatori abil (vt joonis 3.4.1.2 parempoolne pilt).

Vesilinnu tee 1 üksikelamus (vt Lisa 2) korrati eelnevalt lahti kirjutatud mõõtmisi samast toast panipaika ja väljast tuppa, mis Vesilinnu tee 6 üksikelamul. Mõlema hoone mõõtmise asukohad on märgitud hoone põhiplaanidel Lisa 1 ja Lisa 2.



Joonis 3.4.1.4 Heliisolatsiooni mõõtmisel kasutatud kõlar teises positsioonis ja vajalike vahenditega mõõtmistarvete kott



Joonis 3.4.1.5 Ruumi järelkõlastuse mõõtmisel kasutatud kõlar esimeses positsioonis ning fassaadi ja avatäite ühisiolatsioonivõime mõõtmisel kasutatud kõlar (märgitud punase ringiga) väljas esimeses positsioonis

3.5 Fassaadide heliisolatsioonivõime kokkuvõte ja tõlgendamine

Fassaadide heliisolatsioonivõime kokkuvõte on toodud tabelis 3.5.1. Vesilinnu tee 6 Bauroc-välisseinaga elamu panipaiga ja tuba 1 vahelise piirdekonstruktsiooni õhumüra isolatsiooni indeksiks R'_w saadi mõõdistamisel 55 dB ja Vesilinnu tee 1 puitkarkassvälisseinaga elamu panipaiga ja sama toa vahelise piirdekonstruktsiooni õhumüra isolatsiooni indeksiks R'_w saadi mõõdistamisel 56 dB (vt täpsemalt protokollist Lisa 14).

Vesilinnu tee 6 elamu toa 1 avatäitega välispiirde helitasemetevahe indeksiks $D_{Is,2m,n,w}$ saadi mõõdistamisel 41 dB ja Vesilinnu tee 1 elamu avatäitega sama toa helitasemetevahe indeksiks $D_{Is,2m,n,w} = 42$ dB (vt täpsemalt protokollist Lisa 14). Tulemused on oluliselt madalamad, kuna fassaadis on sees aken kui nõrgestav element. Mõõtmised näitasid samuti, et taustamüra oli väga madal ehk vastas tabelites 3.1.3.1 ja 3.1.3.2 esitatud nõuetele.

Tabel 3.5.1 Vesilinnu tee 6 üksikelamu ja Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadide heliisolatsioonivõime kokkuvõte

	Õhuheliisolatsiooni indeks/Helitasemetevahe indeks (dB)					
	Vesilinnu tee 6			Vesilinnu tee 1		
	Teoreetiline väärtus R_w (dB)		Mõõdistamisel $R'_w/D_{Is,2m,n,w}$ (dB)	Teoreetiline väärtus R_w (dB)		Mõõdistamisel $R'_w/D_{Is,2m,n,w}$ (dB)
	Arvutades	Mudeliga		Arvutades	Mudeliga	
Panipaiga ja toa vaheline välissein	48-58	56	$R'_w = 55$	56	55	$R'_w = 56$
Avatäitega välispiire	-	-	$D_{Is,2m,n,w} = 41$	-	-	$D_{Is,2m,n,w} = 42$

Vesilinnu tee 6 üksikelamu kirjanduses esitatud teoreetiliste arvutusmeetodi abil arvutatud välisseina kaalutud heliisolatsiooniindeksi väärtus oli $R_w = 48-58$ dB sõltudes kinnituse jäikusest, õhkvahe suurusel, plaatide massist ja õhkvahe helineeldematerjaliga täitmisest. Heliisolatsioon Vesilinnu tee 6 elamu fassaadile spetsiaaltarkvaraga Insul 9.0.23 arvutades oli teoreetiline heliisolatsiooniindeksi väärtus $R_w = 56$ dB. Mõõdistamisel saadi heliisolatsiooniindeksi väärtuseks $R'_w = 55$ dB, mis on ühe detsibelli võrra väiksem võrreldes mudeliga ehk tulemused on omavahel võrreldavad. Üks detsibell on võrdne kümnendiku belliga. Detsibell väljendab helirõhutaset 0 dB suhtes ehk nulltaseme 20 μ Pa suhtes, mis vastab inimkuulmise alumisele piirile. [21] Insul ja standari järgi arvutades on tegemist laboriväärtustega, seega mõõdetud tulemused on üle ootuste head, sest tüüpiliselt on platsil mõõdetud tulemused umbes 3-5 dB madalamad kui laboriväärtused (juhul kui ei ole tehtud akustilisest seisukohast ehitus- või projekteerimisvigu) [21]. Tulemus viitab heale ehitustööde kvaliteedile heliisolatsiooni seisukohast.

Vesilinnu tee 1 üksikelamu kirjanduses esitatud teoreetiliste arvutusmeetodi abil arvutatud fassaadi kaalutud heliisolatsiooniindeksi väärtus oli $R_w = 56$ dB. Heliisolatsioon Vesilinnu tee 1 elamu fassaadile spetsiaaltarkvaraga Insul 9.0.23 arvutades on $R_w = 55$ dB. Mõõdistamisel on saadud heliisolatsiooniindeksi tulemuseks $R'_w = 56$ dB, mis on sama kirjanduses esitatud teoreetiliste arvutusmeetodi abil arvutatud tulemusega. Mõõdetud tulemus on parem kui lihtsustatud arvutusmudel, järelikult on reaalses elus tegu akustiliselt keerulisema ja paremini toimiva tarindiga kui arvutusmudeliga on eeldatud. Ehituskvaliteet on olnud seal heliisolatsiooni seisukohast väga hea.

Spetsiaaltarkvaraga Insul 9.0.23 arvutades on Vesilinnu tee 6 elamu fassaadi heliisolatsioonivõime ühe dB võrra parem kui Vesilinnu tee 1 elamul, kuid mõõtmised näitasid hoopis, et Vesilinnu tee 1 elamu fassaadi heliisolatsioonivõime on ühe dB võrra parem. Üldiselt aga võib järeldada, et hoonete tulemused on peaaegu samaväärsed, sest tüüpiliselt öeldakse, et inimene tajub 3 dB erinevust napilt ja 10 dB erinevust kahekordse valgususe muutusena. Kui võrrelda EVS 842-2003 standardis toodud õhumüra isolatsiooniindeksiga $R'_w = 55$ dB piirväärtusega korterite eluruumide ja üldkasutatavate ruumide vahel (tabel 3.1.3.3), siis on ka see nõue täpselt täidetud [21].

Vesilinnu tee 1 ja Vesilinnu tee 6 elamu õhumüra isolatsiooni indeksi R'_w tulemused tähendavad vastavalt järgnevale tabelile 3.5.2, et vali kõne ei kostu sealt läbi seinu [21].

Tabel 3.5.2 Õhuheliisolatsiooni indeksi arväärtuse tõlgendamine kõne arusaadavuse seisukohast, kui vastuvõtvast ruumis on tausthelitase $L_{A,eq} = 35$ dBA [21]

Õhuheliisolatsiooni indeks R'_w (dB)	Kogetav kõneheli kõrval ruumis
>60	Vali hüüe kostab läbi tarindi, sõnadest ei saada aru
>55	Vali kõne ei kosta läbi sein
>50	Vali kõne kostab läbi sein, sõnadest ei saada aru
>45	Normaalne vestlushäääl ei kosta läbi sein
>40	Normaalne vestlushäääl kostab läbi sein, sõnadest ei saada aru
>35	Normaalne vestlushäääl kostab läbi sein, sõnadest saadakse aru, kuid helid ei sega keskendumist
<30	Sein ei takista pealt kuulamast, mis toimub kõrval ruumis

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli välja selgitada kahe mõõtmetelt ja siseplaanilt sarnaste, kuid erinevate välisseina kandekonstruktsiooniga ja vundamentitüübiga üksikelamute soojapidavuse ja välisseinte heliisolatsiooni näitajate erinevus ning selgitada välja eelistatum konstruktsioon. Samas sooviti ka indikatsiooni ehituskvaliteedi kohta. Töö käigus tehti kaks katset, mida analüüsiti ja mille põhjal jõuti järeldusteni. Uuuritavateks objektideks olid Tartu vallas Saadjärve külas Vesilinnu tee 6 ja Vesilinnu tee 1 üksikelamud. Vesilinnu tee 6 üksikelamu välisseinte kandev osa oli Bauroc plokkidest ning plaatvundamendiga. Vesilinnu tee 1 üksikelamu välisseinte kandev osa oli puitkarkassist ning lintvundamendiga.

Lõputöös uuriti temperatuurivälja tarkvara THERM 7.7 ja termograafiliste mõõtmiste abil hoonete soojapidavust. Termograafilisi mõõtmisi tehti nii hoonetest väljas kui ka sees. Välise termografeerimise tulemusena selgus, et aknad olid mõlemal hoonel peaaegu kõik õhutihedalt teibitud ja hästi paigaldatud. Sisemise termografeerimise põhjal selgus, et välissein-välissein nurgaühendustes on parema soojapidavusega Vesilinnu tee 1 puitkarkassvälisseinaga üksikelamul ehk vastavad ühendused olid paremini tehtud. Välissein-vundament ühendused on soojapidavamad Vesilinnu tee 6 Bauroc-välisseinaga üksikelamul ehk need ühendused on korrektsemalt soojustatud. Akna-välisseina tulemuste keskmiste võtmisel on parema tulemusega Vesilinnu tee 6 elamu.

Programmis THERM 7.7 mudeli põhjal on Vesilinnu tee 6 Bauroc-välisseinaga üksikelamu välissein-välisseina nurgaühendus parema soojapidavusega, kuid see ei vastanud termovisiooni tulemustele, järelikult on ebapädevalt poorbetoonist kergplokkid ühendatud, soojustatud või halvasti teibitud tuuletõkke liited. Programmi põhjal oleks pidanud ka Vesilinnu tee 1 puitkarkassvälisseinaga elamu välisseina-vundamenti sõlm parem olema kui Vesilinnu tee 6 elamu vundament, kuid tegelikkuses oli vastupidi, järelikult Vesilinnu tee 1 elamu vundament on halvasti soojustatud. Tulemused näitavad, et Vesilinnu tee 6 üksikelamu mõõtmistulemused üldiselt vastasid rohkem programmi THERM 7.7 koostatud mudelitele ehk hoone on rohkem projekti järgi ehitatud. Vesilinnu tee 1 üksikelamu kõige nõrgemaks kohaks on välissein-vundamenti ühendused, mis erinevad tunduvalt mudelis arvutatud tulemusele. Vesilinnu tee 6 üksikelamu nõrgemaks kohaks on välissein-välissein ühendused.

Temperatuurindeksite arvutamine erinevates hoone nurkades näitas, et kõigis kohtades ei vasta soojapidavus uutele majadele kehtestatud normidele, kuid ohtu kondenseerumiseks ja hallituse tekkeks pole.

Teiseks uuriti mõlema üksikelamu fassaadide heliisolatsioonivõimet. Mõõtmistel oli abiks Kajaja Acoustics OÜ keskkonnamüra valdkonna juht / konsultant Kaarel Sepp. Vesilinnu tee 1 puitkarkassvälisseina ja Vesilinnu tee 6 Bauroc-välisseina heliisolatsiooni tulemused on mõõtes peaaegu samaväärsed, kuid Vesilinnu tee 1 elamu näitajad olid mõõtes 1 dB võrra paremad kui Vesilinnu tee 6 välisseina näitajad. Nii arvutuslikud kui ka mõõdetud tulemused on mõlemal tarindil +-1-2 dB piires, antud kohas võib tarindeid pidada akustiliselt väga sarnasteks, mis tähendab, et erinevate konstruktsioonidega ehitades on võimalik fassaadi heliisolatsioonivõimelt väga sarnaseid tulemusi saada.

Magistritöö tegemise protsess oli väga põnev ja õpetlik. Tulemused olid üllatavad, eriti fassaadi heliisolatsioonivõime näitajad. Huvitav oleks mõne aja pärast katseid korrata, et näha, kas aastatega on üksikelamute soojapidavus ja välisseinte heliisolatsioonivõime jäänud samaks. Selgus, et mõlemal hoonel on omad head ja halvad küljed ning ei ole olemas universaalset konstruktsiooni kõigile omadustele.

SUMMARY

The objective of the master's thesis was to find out the difference between the thermal insulation and sound insulation indicators of two detached houses with similar but different external wall load bearing constructions and foundation type in terms of dimensions and interior plan, and to find out the more preferred construction. At the same time also to find out indication about the quality of construction. In the course of the work, two experiments were performed, which were analyzed and on the basis of which conclusions were reached. The objects to be investigated were individual houses in Vesilinnu tee 6 and Vesilinnu tee 1 in Saadjärve village, Tartu municipality. The load-bearing part of the external walls of Vesilinnu tee 6 detached house was made of Bauroc autoclaved aerated concrete blocks and with a slab foundation. The load-bearing part of the external walls of Vesilinnu tee 1 detached house was made of timber frame and a strip foundation was used.

In the thesis, the thermal insulation of buildings was studied using the temperature field software THERM 7.7 and thermographic measurements. Thermographic measurements were made both outside and inside the buildings. External thermography revealed that almost all the windows in both buildings were airtight and well installed. Based on the internal thermography, it turned out that the external wall- external wall corner connections of timber frame Vesilinnu tee 1 had better thermal insulation, or the corresponding connections were better made. The external wall-foundation connections are more heat-resistant in the Bauroc autoclaved aerated concrete blocks construction detached house Vesilinnu tee 6, which means these connections are insulated more correctly. Comparing the averages of the window - external wall results, Vesilinnu tee 6 has slightly better results.

Based on the THERM 7.7 program model, the corner connection of the external wall-external wall of the detached house Vesilinnu tee 6 from Bauroc autoclaved aerated concrete blocks has better thermal insulation, but it did not correspond to the results of thermal vision, therefore autoclaved aerated concrete blocks are incompetently connected, insulated or windscreen joints are badly taped. According to the program, the external wall-foundation node of a residential building with a timber frame Vesilinnu tee 1 should have been a little better than the foundation of Vesilinnu tee 6, but in reality it was the opposite, consequently the foundation of Vesilinnu tee 1 is poorly insulated. The measurement results show that the indicators of Vesilinnu tee 6 detached house generally corresponded more to the models compiled by the THERM 7.7 program, which means the building has been built more according to the project. The weakest

point of Vesilinnu tee 1 detached house is the external wall-foundation connections, which differ considerably from the result calculated by the model. The weakest point of Vesilinnu tee 6 detached house is the external wall- external wall connections.

The calculation of temperature indices in different corners of the buildings showed that the thermal insulation does not meet the standards set for new houses in all places, but there is no risk of condensation or mold formation.

Secondly, the sound insulation of the facades of both detached houses was studied. Kaarel Sepp, head of environmental acoustics/acoustic consultant at Kajaja Acoustics OÜ, assisted in the sound insulation measurements. The sound insulation results of the timber frame external wall of Vesilinnu tee 1 and Bauroc autoclaved aerated concrete external wall structure of Vesilinnu tee 6 were almost the same, but the external wall results of Vesilinnu tee 1 residential building were 1 dB better than the external wall of Vesilinnu tee 6. Both calculated and measured results are in the range of + -1-2 dB for both structures, the structures can be kept acoustically very similar in this place, which means that it is possible to obtain very similar results in terms of the sound insulation capacity of the facade when building with different constructions.

The process of doing the master's thesis was very exciting and instructive. The results were surprising, especially the parameters of the sound insulation of the facades. It would be interesting to repeat the experiments after a while to see if the thermal insulation and sound insulation capacity of the external walls have remained the same over the years. It turns out that both buildings have their pros and cons and there is no universal construction for every aspect.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Miskinis, K., Dikavicius, V., Buska, A., Banionis, K. Influence of EPS, mineral wool and plaster layers on sound and thermal insulation of a wall: a case study. Applied Acoustics. Institute of Architecture and Construction of Kaunas University of Technology, 2018. ScienceDirect
2. Masso, T. Ehitusfüüsika ABC. Tallinn: "Ehitame" kirjastus, 2012, 34 lk
3. Kalamees, T., Alev, Ü., Paap, L. AEROC plokkidest tarindilahenduste soojustehniline analüüs ja visualiseerimine. Uuringu lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikooli Ehitiste projekteerimise Instituut. Ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool, 2012. [WWW] https://bauroc.ee/uploads/sites/2/2016/09/raport_2012.pdf (04.03.2021), 5 lk
4. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 7345:2018 „Thermal performance of buildings and building components – Physical quantities and definitions“, Tallinn, 2018
5. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 6946:2017 Hoonete piirdetarindid ja komponendid. Soojustakistus ja soojuslähivus. Arvutusmeetodid, Tallinn, 2017
6. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 10211:2017. „Külmasillad hoones. Soojusvoolud ja pinnatemperatuurid. Detailsed arvutused“, Tallinn, 2017
7. Kalamees, T., Õiger, K., Kõiv, T.-A., Liias, R., Kallavus, U., Mikli, L., Lehtla, A. jne. Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõppraport. Tallinna Tehnikaülikooli Ehitusteaduskond, 2009. [WWW] https://www.mkm.ee/sites/default/files/suurpaneelalamute_uuringu_loppraport_trukk.pdf (05.03.2021), 64 lk
8. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 13788:2012 „Hoone elementide ja piirdetarindite soojus-ja niiskustehniline toimivus. Kriitilise pinnaniiskuse ja elemendisese kondenseerumise vältimine. Arvutusmeetodid“, Tallinn, 2012
9. Eesti Standardikeskus, EVS EN 13187:2001 „Thermal performance of buildings – Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method“, Tallinn, 2001

10. Paloniitty, S., Paloniitty, J., Haimilahti, J. Termograafia ehituses. Tallinn: ET Infokeskuse AS, 2016
11. Kalamees, T. „Critical values for the temperature factor to assess thermal bridges“. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Engineering, 12(3-1), 218 – 229. 2006 [WWW] http://www.kirj.ee/public/va_te/eng-2006-3_1-6.pdf
12. FreeMeteo. Ilmajaam: Tartu-Tõravere. Saadjärve ilm 8.04 kell: 8.20 [WWW] <https://freemeteo.ee/ilm/saadjarve/ajalugu/igapaevaste-andmete-ajalugu/?gid=793964&station=6278&date=2021-04-08&language=estonian&country=estonia> (09.04.2021)
13. Toote info. Velleman TA20 Digital in/out thermometer. [WWW] http://data.oomipood.ee/kasutusjuhend/ta20_user_manual_multi.pdf (09.04.2021)
14. Toote info. FLIR E6 Thermal Imaging Camera, -20 → +250 °C, 160 x 120pixel. [WWW] [FLIR E6 FLIR | FLIR E6 Thermal Imaging Camera, -20 → +250 °C, 160 x 120pixel | 848-1378 | RS Components \(rsdelivers.com\)](http://www.rsdelivers.com/flir-e6-thermal-imaging-camera) (09.04.2021)
15. Berkeley National Laboratory koduleht. THERMi programmi liidesed. [WWW] <https://windows.lbl.gov/software/comfen> (27.04.2021)
16. Tallinna Tehnikaülikooli Ehituse ja arhitektuuri instituudi liginullenergiahoonete uurimisrühm jt. Liginullenergia eluhood. Piirdetarindite liitekohtade joonsoojuslähivuse arvutus. Tallinn, 2017. 10, 15 lk
17. Kočí, V.; Maděra, J.; Černý, R. „Computer aided design of interior thermal insulation system suitable for autoclaved aerated concrete structures“. Department of Materials Engineering and Chemistry, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague. 2013. Applied Thermal Engineering 58: 2013. Czech Republic. Sciencedirect
18. Kalpana, M.; Mohith, S. „Study on autoclaved aerated concrete: Review“. Department of Civil Engineering Saveetha School of Engineering. 2019. Applied Materials Today: Proceedings 22: 2020. India. Sciencedirect
19. Soust-Verdaguer, B.; Llatas, C.; Moya, L. „Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage“. Applied Journal of Cleaner Production 277:2020. Sciencedirect

20. Piheloa, P.; Kikkasa, H.; Kalamees, T. „Hygrothermal Performance of Highly Insulated Timber-frame External Wall“. Tallinn University of Technology, Chair of Building Physics and Energy Efficiency. 2016. Applied Energy Procedia 96: 2016. Sciencedirect
21. Soome Ehitusinseneride Liit RIL ry. Ehituskeskus. Ril 243-1-2007. Hoonete akustiline projekteerimine. Akustika alused. Tallinn: ET-INFOkeskuse AS, 2009
22. Eesti Standardikeskus, EVS 842:2003 "Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest", Tallinn, 2003
23. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 717-1:2021 „Hoonete ja ehituselementide heliisolatsiooni hindamine. Osa 1: Õhuheli isolatsioon", Tallinn, 2013
24. Sotsiaalminister. „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid.“ Redaktsiooni jõustumise kp: 01.01.2021. [WWW] [Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid – Riigi Teataja](#) (12.04.2021)
25. COST. „European COST action FP0702“. [WWW] <http://extranet.cstb.fr/sites/cost/default.aspx> (30.04.2021)
26. COST. „COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions“. [WWW] <http://www.costtu0901.eu/index.html> (30.04.2021)
27. Keränen, J.; Hakala, J.; Hongisto, V. Euronoise 2018 Crete. „Facade sound insulation of residential houses within 5-5000 Hz“.Turku University of Applied Sciences, Indoor Environment, Finland. [WWW] [259 Euronoise2018.pdf](#) (30.04.2021)
28. Chmelík, V.; Rychtáriková, M.; Müllner, H.; Jambrošic, K.; Zelem, L.; Benklewski, J.; Glorieux, C. „Methodology for development of airborne sound insulation descriptor valid for light-weight and masonry walls“. 2019. Applied Acoustics 160: 2020. ScienceDirect
29. Júnior, O.J.S.; Pinheiro, M.A.S.; Silva, J.J.R.; Pires, T.A.C.; Alencar, C.O.S. „Sound insulation of gypsum block partitions: An analysis of single and double walls“. Journal of Building Engineering 39: 2021. ScienceDirect

30. Nusser, B.; Lux, C. „External timber frame walls – Effects of facade type, internal linings and construction details on measured sound insulation“. Secul inter-noise 2020. Austria: 2020. [WWW] ([PDF\) External timber frame walls - Effects of facade type, internal linings and construction details on measured sound insulation \(researchgate.net\)](#)) (03.05.2021)
31. Fišarová, Z.; Kalousek, L.; Frank, M.; Brzoň, R. „The influence of ventilated façade on sound insulation properties of envelope walls“. MATEC Web of Conferences 2017. Building Defects 2016. [WWW] (https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/07/mateconf_bd2017_03003.pdf) (03.05.2021)
32. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 12354-1:2017 „Ehitusakustika. Hoonete akustilise toimivuse hindamine elementide akustilise toime põhjal. Osa 1: Ruumidevaheline õhuheli isolatsioon“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2017
33. Bauroc Eesti. Bauroci kergbetoonplokkide toodete tehnilised andmed. [WWW] ([bauroc Eesti | Kergplokk bauroc UNIVERSAL - siledate pindadega poorbetoonist universaalne plokk](#)) (16.04.2021)
34. Bauroc Eesti. Ühekihilise Bauroc seina õhumüraisolatsioon. [WWW] ([bauroc Eesti | Heliisolatsioon - bauroc Eesti](#)) (27.04.2021)
35. Insul koduleht. Tarkvara info. [WWW] ([Features \(insul.co.nz\)](#)) (28.04.2021)
36. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 16283-3:2016 „Acoustics Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Façade sound insulation“, Tallinn, 2016
37. Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 16283-1:2014 „Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation“, Tallinn, 2014
38. NTi koduleht. Heliisolatsiooni mõõteriistad ja info ning Sound Insulation Reporter [WWW] ([NTi Audio Solutions for Audio & Acoustics \(nti-audio.com\)](#)) (27.04.2021)

LISAD

Lisa 1. Vesilinnu tee 6 üksikelamu esimese korruse põhiplaan lisatud märkustega

Lisa 2. Vesilinnu tee 1 üksikelamu esimese korruse põhiplaan lisatud märkustega

Lisa 3. Vesilinnu tee 6 üksikelamu vaated

Lisa 4. Vesilinnu tee 1 üksikelamu vaated

Lisa 5. Vesilinnu tee 6 üksikelamu Lõige A-A

Lisa 6. Vesilinnu tee 1 üksikelamu Lõige A-A (tegelikult poorbetoonist kergplokkide asemel välisseintes puitkarkass, kuid muu õige)

Lisa 7. Vesilinnu tee 1 üksikelamu Vundamendi plaan

Lisa 8. Vesilinnu tee 4 üksikelamu Lõige A-A (Vesilinnu tee 1 üksikelamu tegelik seinakonstruktsioon)

Lisa 9. Vesilinnu tee 6 üksikelamu fassaadi heliisolatsioonivõime teoreetiline arvutustulemus Insul 9.0.23 tarkvaraga ainult Bauroci müüritisele

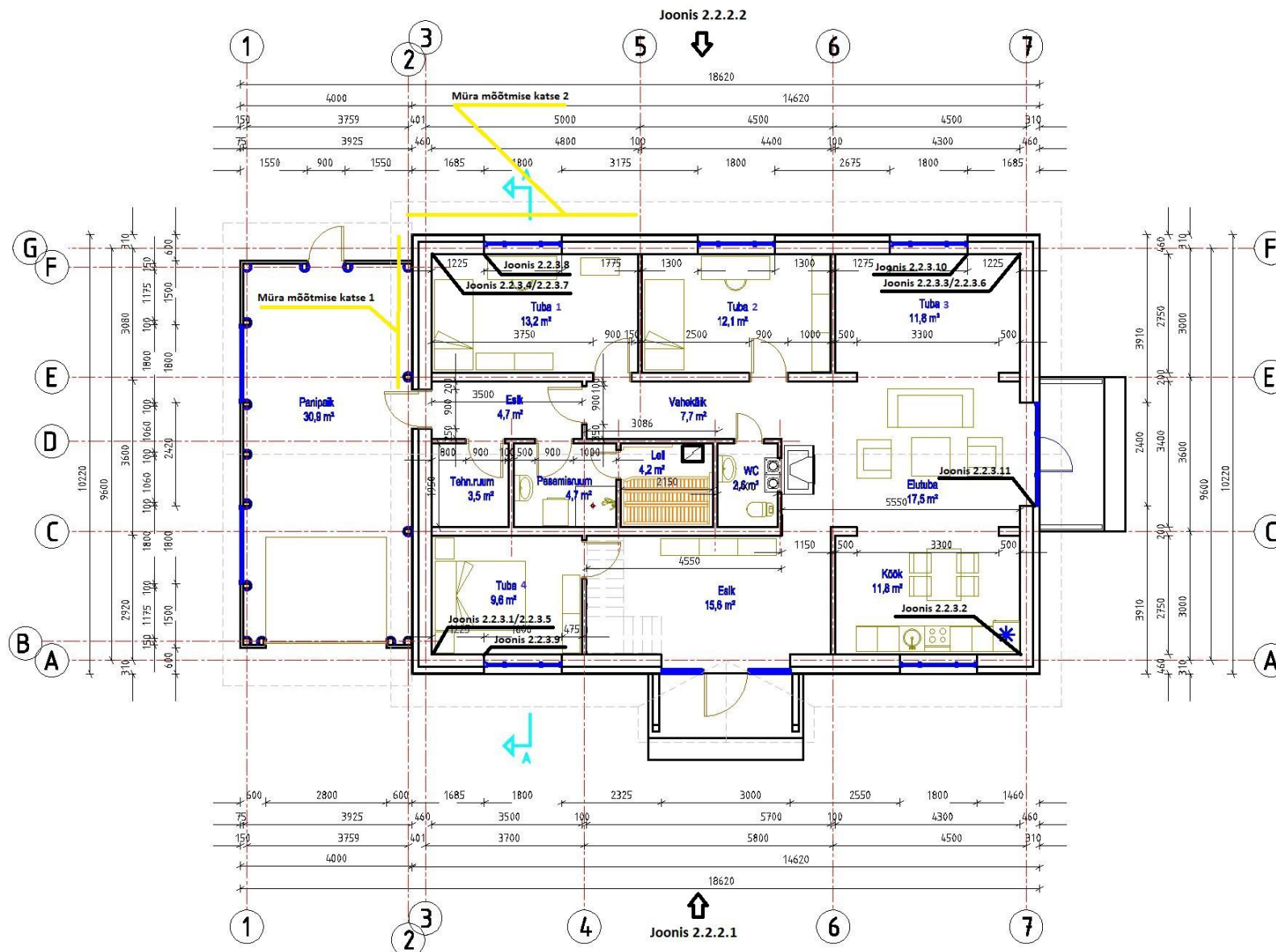
Lisa 10. Vesilinnu tee 6 üksikelamu fassaadi heliisolatsioonivõime teoreetiline arvutustulemus Insul 9.0.23 tarkvaraga Bauroci müüritisele koos välisvoodriga

Lisa 11. Heliisolatsioonivõime teoreetiline arvutustulemus Insul 9.0.23 tarkvaraga kipsplaadile (Vesilinnu tee 1 üksikelamu jaoks)

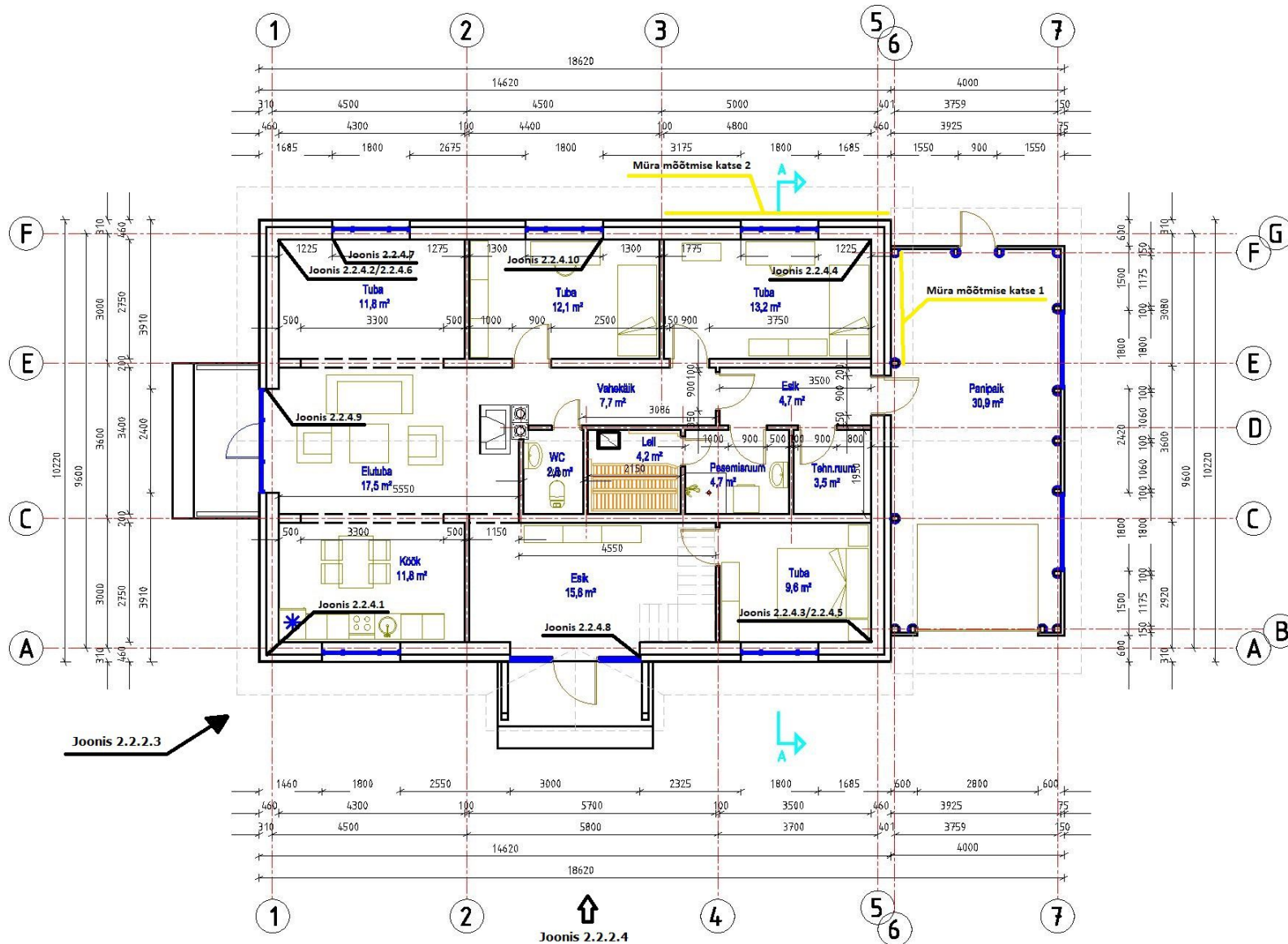
Lisa 12. Heliisolatsioonivõime teoreetiline arvutustulemus Insul 9.0.23 tarkvaraga OSB plaadile (Vesilinnu tee 1 üksikelamu jaoks)

Lisa 13. Vesilinnu tee 1 üksikelamu fassaadi heliisolatsioonivõime teoreetiline arvutustulemus Insul 9.0.23 tarkvaraga (punktühendustega)

Lisa 14. Piirdetarindite heliisolatsiooni mõõtmise protokoll



ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255	Kuupäev: 08.05.2015	Mõõt: 1:100	T88 nr: EP4-05.2015
	T88 nimetus Vesilinnu tee 6 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0443		Koostas: Riivo Leiten	Kontrollis: Marten Karise
Objekti asukoht: Soadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa		Tellija: Kondsor OÜ	Joonise nimetus: Korruse plaan	Joonis 2 Jooniseid 8



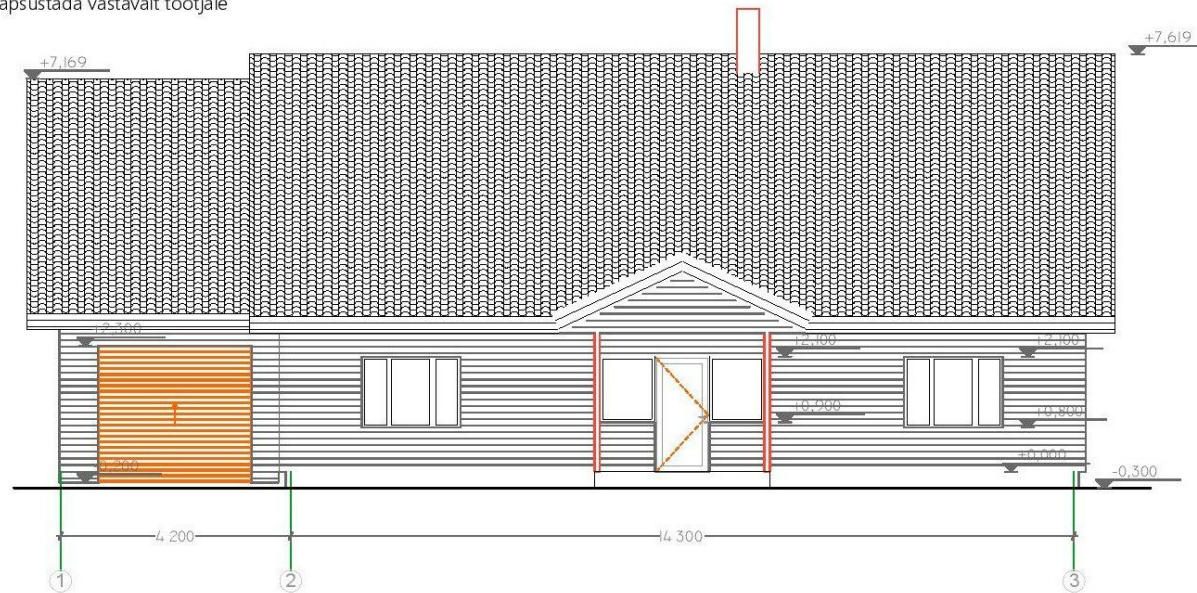
Joonis 2.2.2.3

Joonis 2.2.2.4

ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255 Koostaja: 09.06.2014	Mõõti: 1:100	Töö nr: EP2-05.2014
	Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas: Riivo Leiten Kontrollis: Marten Karise Tellija: Kondsor OÜ	
Objekti asukoht: Saadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Joonise nimetus: Korruse plaan	Joonis 2 Jooniseid 8	

Materjalid ja toonid
 Katus: Kivikatus/ Must
 Välissein: Laudis/Roheline
 Avatäited: PVC/ Valge
 Dekoratiivsed osad: Puit/ Valge
 Sokkel: Struktuurkrohv/ Hall
 Vihmaveerennid ja -torud: Plekk/Valge
 Trepp: Betoon/ ilmastikukindel viimistlus/ hall
 Terrass: Puidust terrassilaud/ ilmastikukindel viimistlus

Märkused:
 Toonid täpsustada vastavalt tootjale

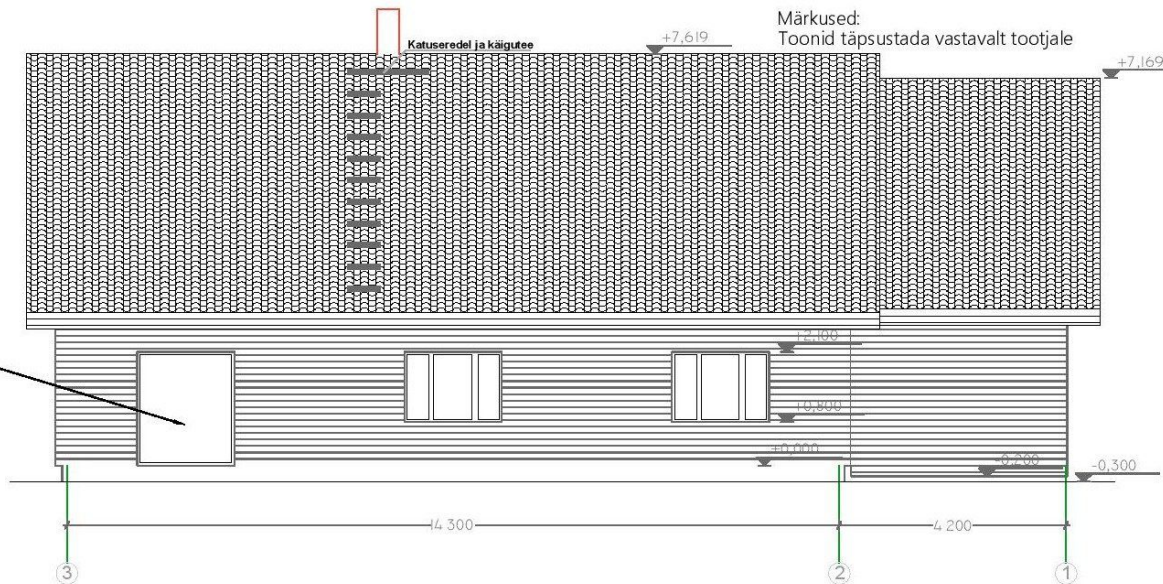


		TELLIJA / ESINDAJA: Allar Loot					
		TÖÖ NIMETUS: Üksikelamu muudatusprojekt					
		ADDRESS: Vesilinnu tee 6, Saadjärve küla, Tartu vald, Tartu maakond					
KOOSTAS	ALLKIRI	KUIPÄEV	JOONISE NIMETUS				
Marko Teder		12.10.2020	Vaade põhjast				
KONTROLLIS	ALLKIRI	KUIPÄEV	PROJEKTI NR	JOONISE NR	PROJEKTI ETAPP	MÖÖTKAVA	REV
Marko Teder		12.10.2020	EP010820	01	Eelprojekt	1:100	—
WOOD NDT OÜ		Registrikood: 12186234, Heina 7, 50604 Tartu, tel 566 47 277 marko@woodndt.eu www.woodndt.eu					

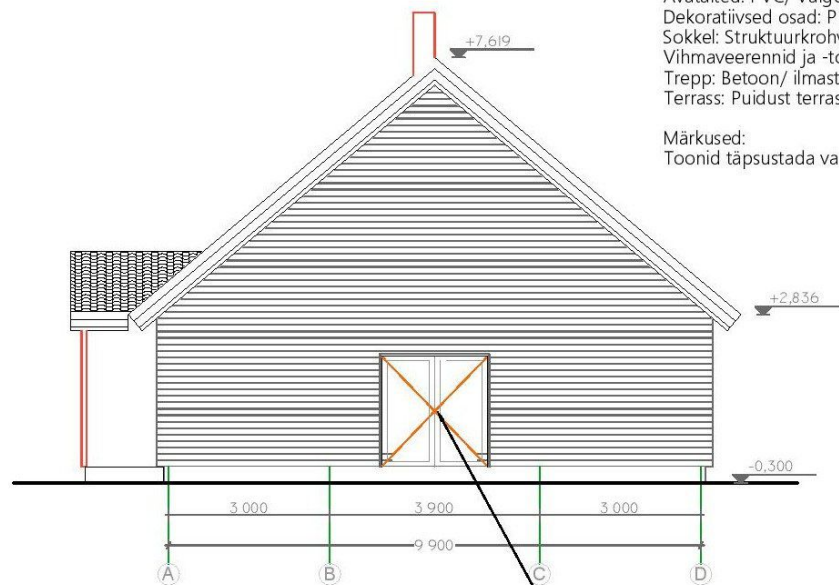
Materjalid ja toonid
 Katus: Kivikatus/ Must
 Välissein: Laudis/Roheline
 Avatäited: PVC/ Valge
 Dekoratiivsed osad: Puit/ Valge
 Sokkel: Struktuurkrohv/ Hall
 Vihmaveerennid ja -torud: Plekk/Valge
 Trepp: Betoon/ ilmastikukindel viimistlus/ hall
 Terrass: Puidust terrassilaud/ ilmastikukindel viimistlus

Märkused:
 Toonid täpsustada vastavalt tootjale

Üks asendatud aknaga



		TELLIJA / ESINDAJA		Allar Loot				
		TOO NIMETUS		Üksikelamu muudatusprojekt				
		AADRESS		Vesilinnu tee 6, Saadjärve küla, Tartu vald, Tartu maakond				
KOOSTAS	ALLKIRI	KUUPÄEV	JOONISE NIMETUS					
Marko Teder		12.10.2020	Vaade lõunast					
KONTROLLIS	ALLKIRI	KUUPÄEV	PROJEKTI NR	JOONISE NR	PROJEKTI ETAPP	MÕÕTKAVA	REV	
Marko Teder		12.10.2020	EP010820	01	Eelprojekt	1:100	-	
WOOD NDT OÜ		Registrikood: 12186234, Heina 7, 50604 Tartu, tel 566 47 277 marko@woodndt.eu www.woodndt.eu						

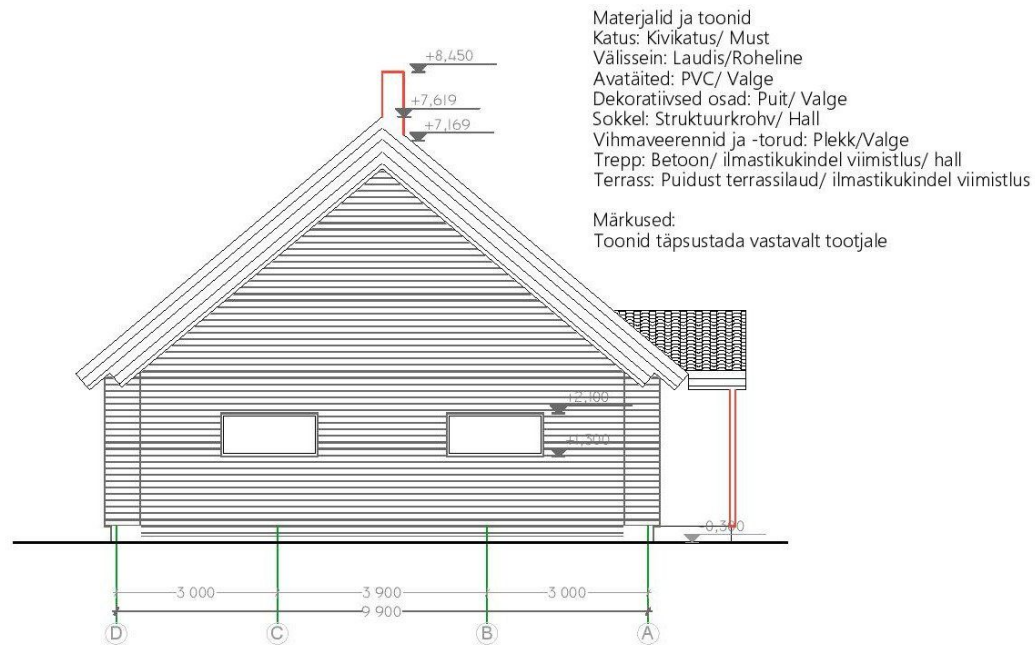


Materjalid ja toonid
 Katus: Kivikatus/ Must
 Välissein: Laudis/Roheline
 Avatäited: PVC/ Valge
 Dekoratiivsed osad: Puit/ Valge
 Sokkel: Struktuurkrohv/ Hall
 Vihmaveerennid ja -torud: Plekk/Valge
 Trepp: Betoon/ ilmastikukindel viimistlus/ hall
 Terrass: Puidust terrassilaud/ ilmastikukindel viimistlus

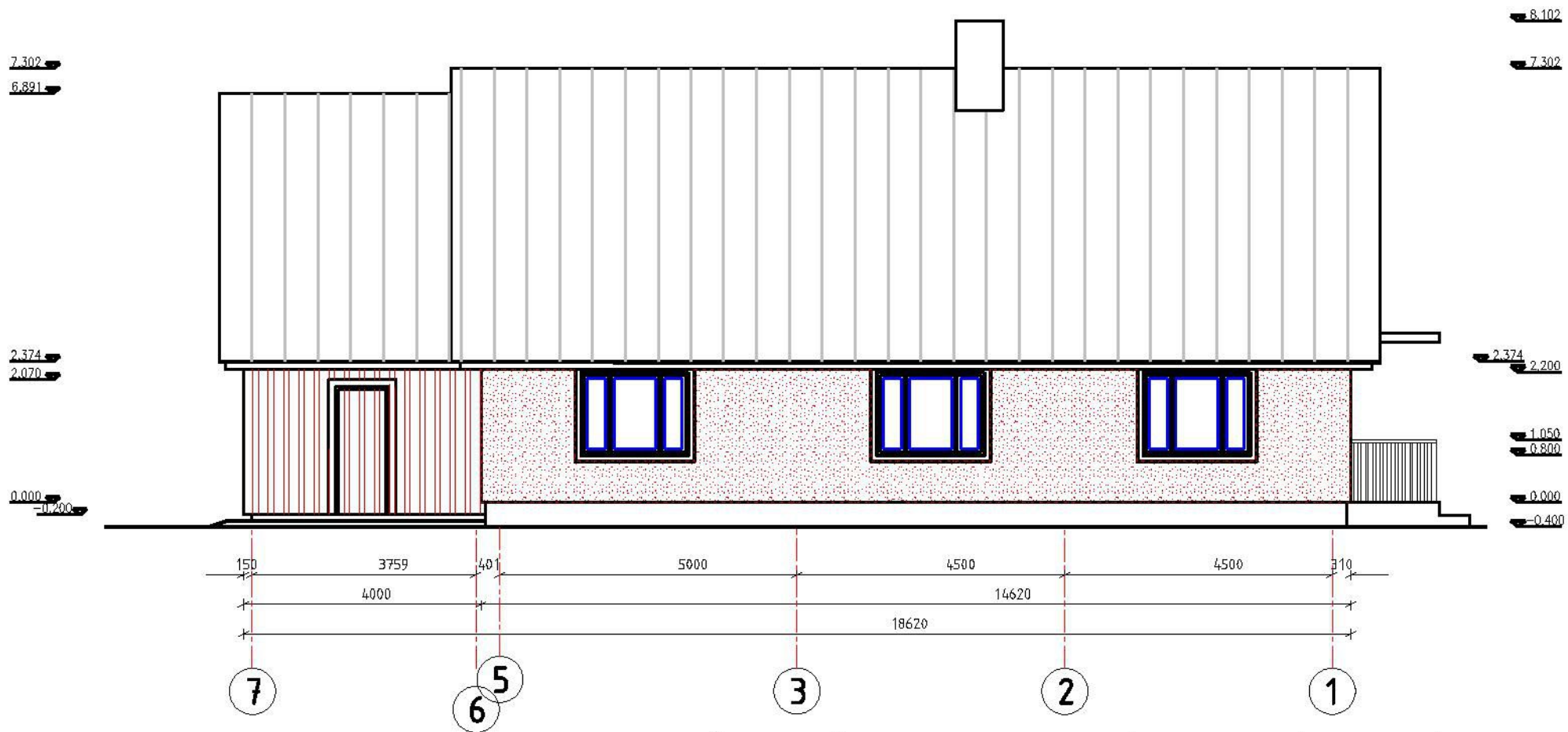
Märkused:
 Toonid täpsustada vastavalt tootjale

Aken asendatud uksega

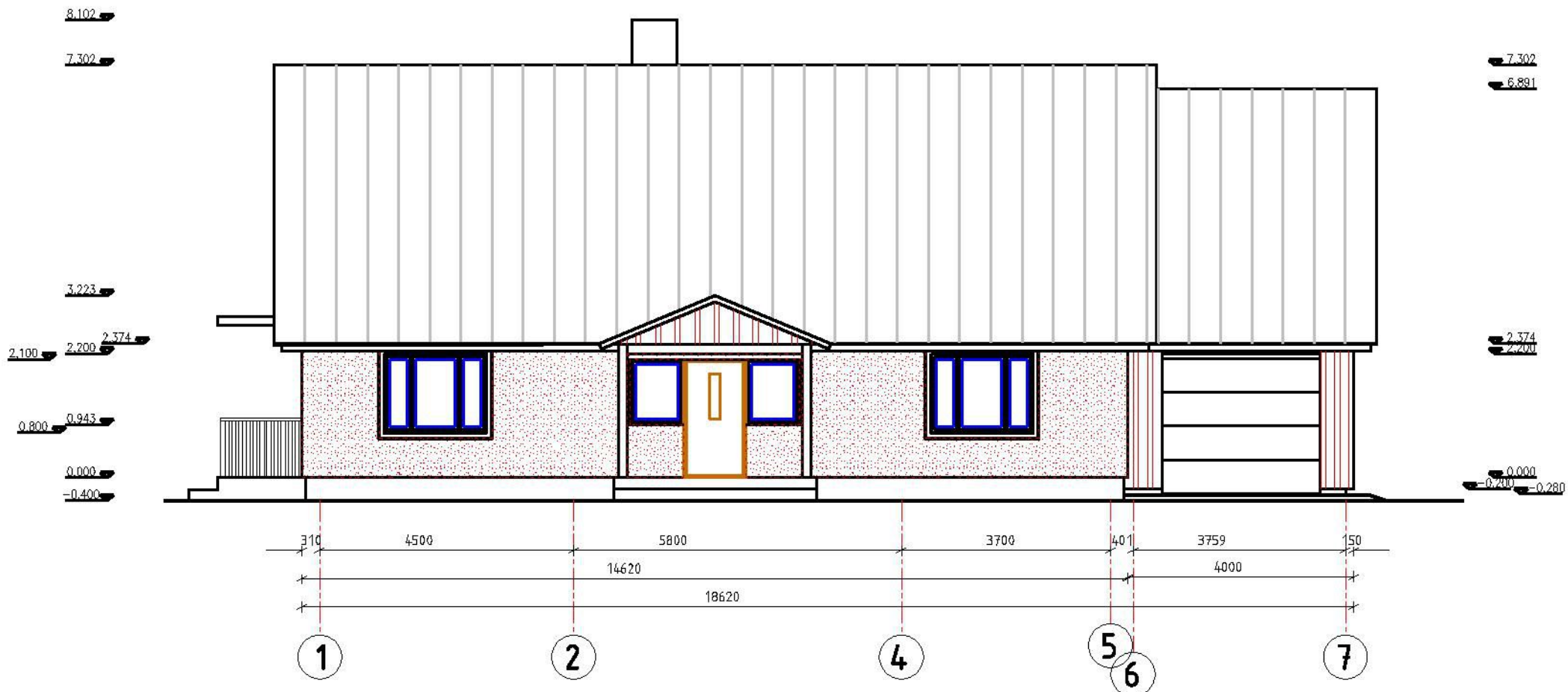
		TELLUJA / ESINDAJA		Allar Loot			
		TÖÖ NIMETUS		Üksikelamu muudatusprojekt			
		ADDRESS		Vesilinnu tee 6, Saadjärve küla, Tartu vald, Tartu maakond			
KOOSTAS	ALLKIRI	KUUPÄEV	JÕONISE NIMETUS				
Marko Teder		12.10.2020	Vaade idast				
KONTROLLIS	ALLKIRI	KUUPÄEV	PROJEKTI NR	JÕONISE NR	PROJEKTI ETAPP	MÕÕTKAVA	REV
Marko Teder		12.10.2020	EP010820	01	Eelprojekt	1:100	-
WOOD NDT OÜ		Registrikood: 12186234, Heina 7, 50604 Tartu, tel 566 47 277 marko@woodndt.eu www.woodndt.eu					



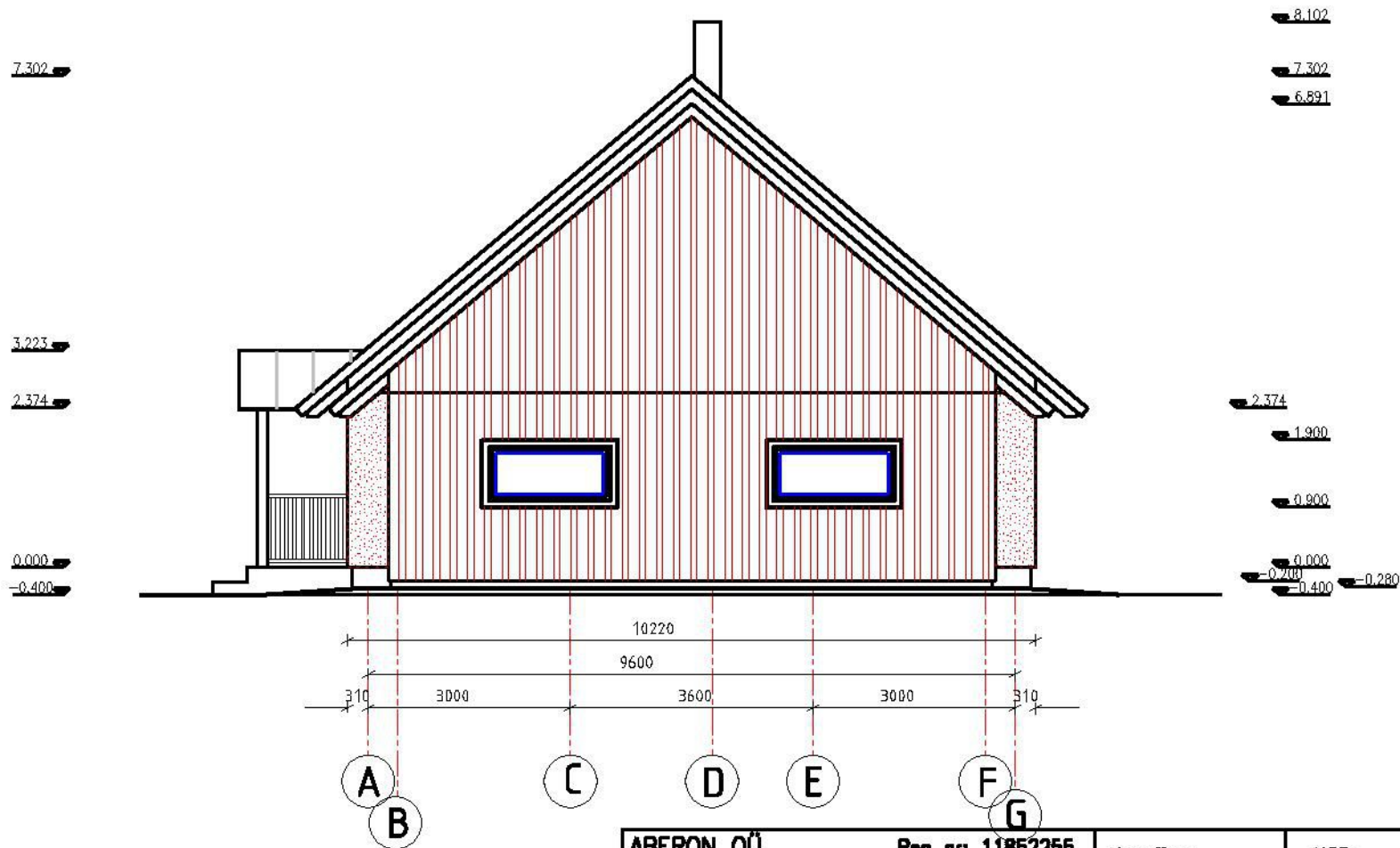
		TELUJA / ESINDAJA		Allar Loot			
		TÖÖ NIMETUS		Üksikelamu muudatusprojekt			
		Aadress		Vesilinnu tee 6, Saadjärve küla, Tartu vald, Tartu maakond			
KOOSTAS	ALLKIRI	KUUPÄEV	JÕONISE NIMETUS				
Marko Teder		12.10.2020	Vaade läänest				
KONTROLLIS	ALLKIRI	KUUPÄEV	PROJEKTI NR	JÕONISE NR	PROJEKTI ETAPP	MÕÕTKAVA	REV
Marko Teder		12.10.2020	EP010820	01	Eelprojekt	1:100	-
WOOD NDT OÜ		Registrikood: 12186234, Heina 7, 50604 Tartu, tel 566 47 277 marko@woodndt.eu www.woodndt.eu					



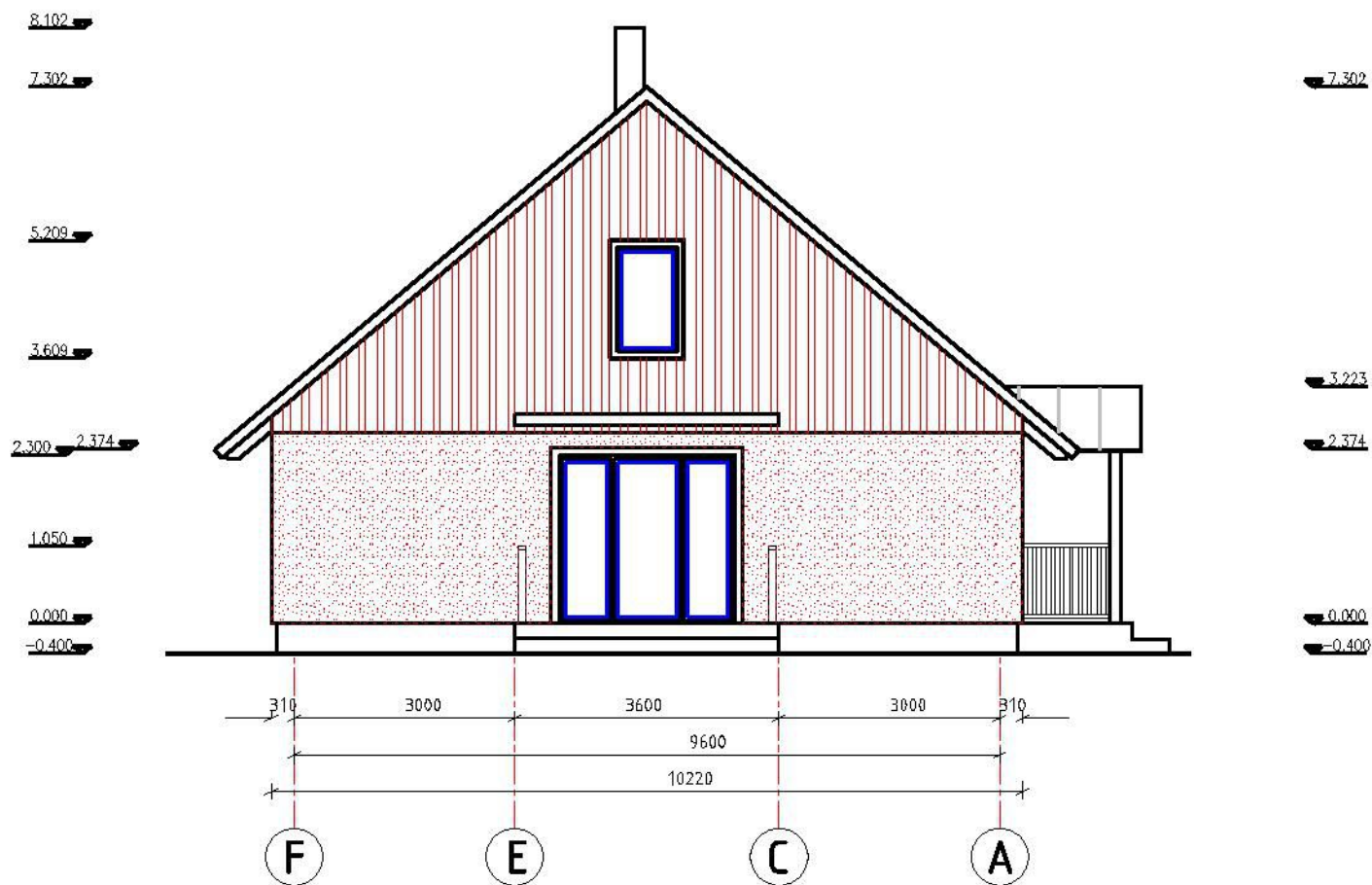
ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255	Kuupäev: 09.06.2014	Mõõt: 1:100	Töö nr: EP2-05.2014
	Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas: Rivo Leiten	Kontrollis: Marten Karise	
Objekti asukoht: Saadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Tellija: Kondsar OÜ	Joonise nimetus: Voode 7-1	Joonis 8 Jooniseid 8	



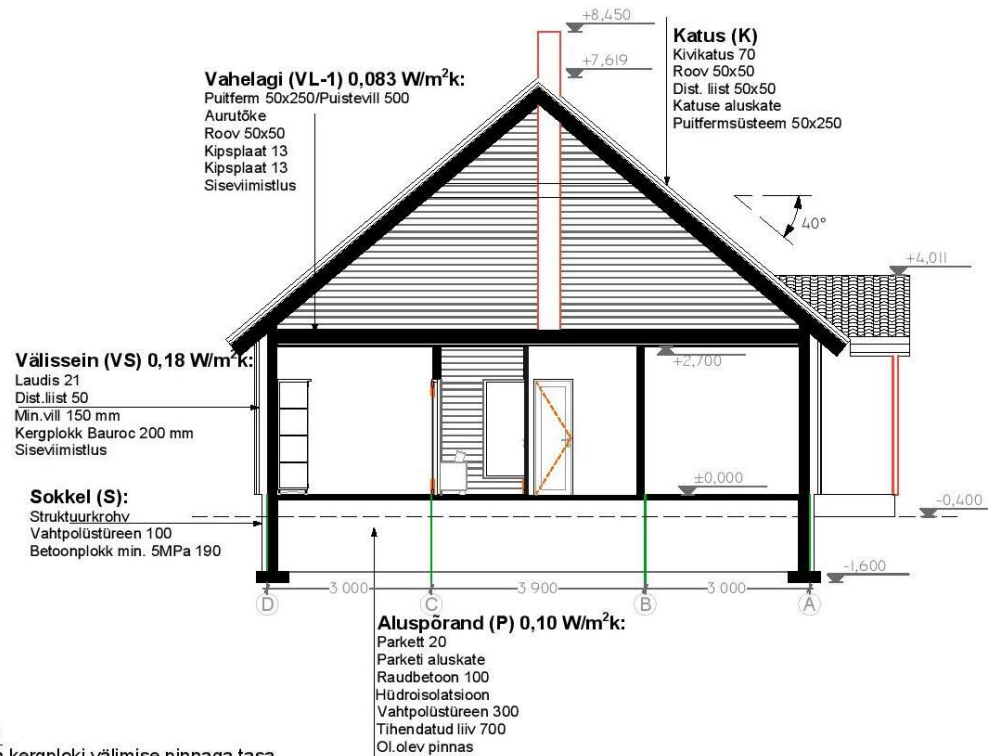
ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255	Kuupäev: 09.06.2014	Mõõt: 1:100	Töö nr: EP2-05.2014
	Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas: Rivo Leiten	Kontrollis: Marten Karise	
Objekti asukoht: Saadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Tellija: Kondsar OÜ	Joonise nimetus: Voode 1-7	Joonis 5 Jooniseid 8	



ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255	Kuupäev:	Mõõt:	Töö nr:
		09.06.2014	1:100	EP2-05.2014
Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas:	Riivo Leiten		
	Kontrollis:	Marten Karise		
Objekti asukoht:	Tellija:	Kondsar OÜ		
Saadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Joonise nimetus:	Voode A-F		Joonis 7
				Jooniseid 8



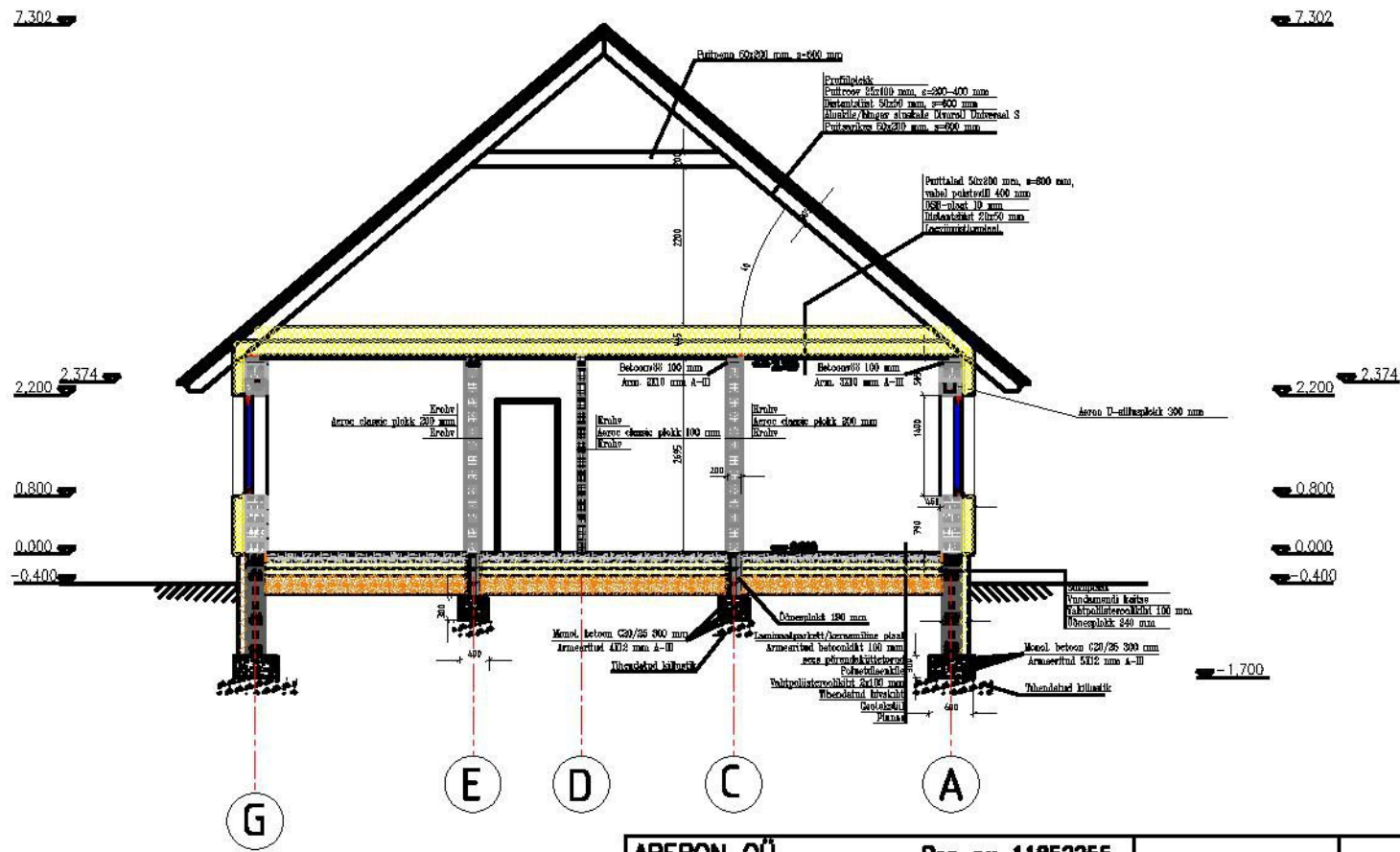
ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255	Kuupäev: 09.06.2014	Mõõt: 1:100	Töö nr: EP2-05.2014
	Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas: Rivo Leiten	Kontrollis: Marten Karise	
Objekti asukoht: Saadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Tellija: Kondsor OÜ	Joonise nimetus: Voode F-A	Joonis 6 Jooniseid 8	



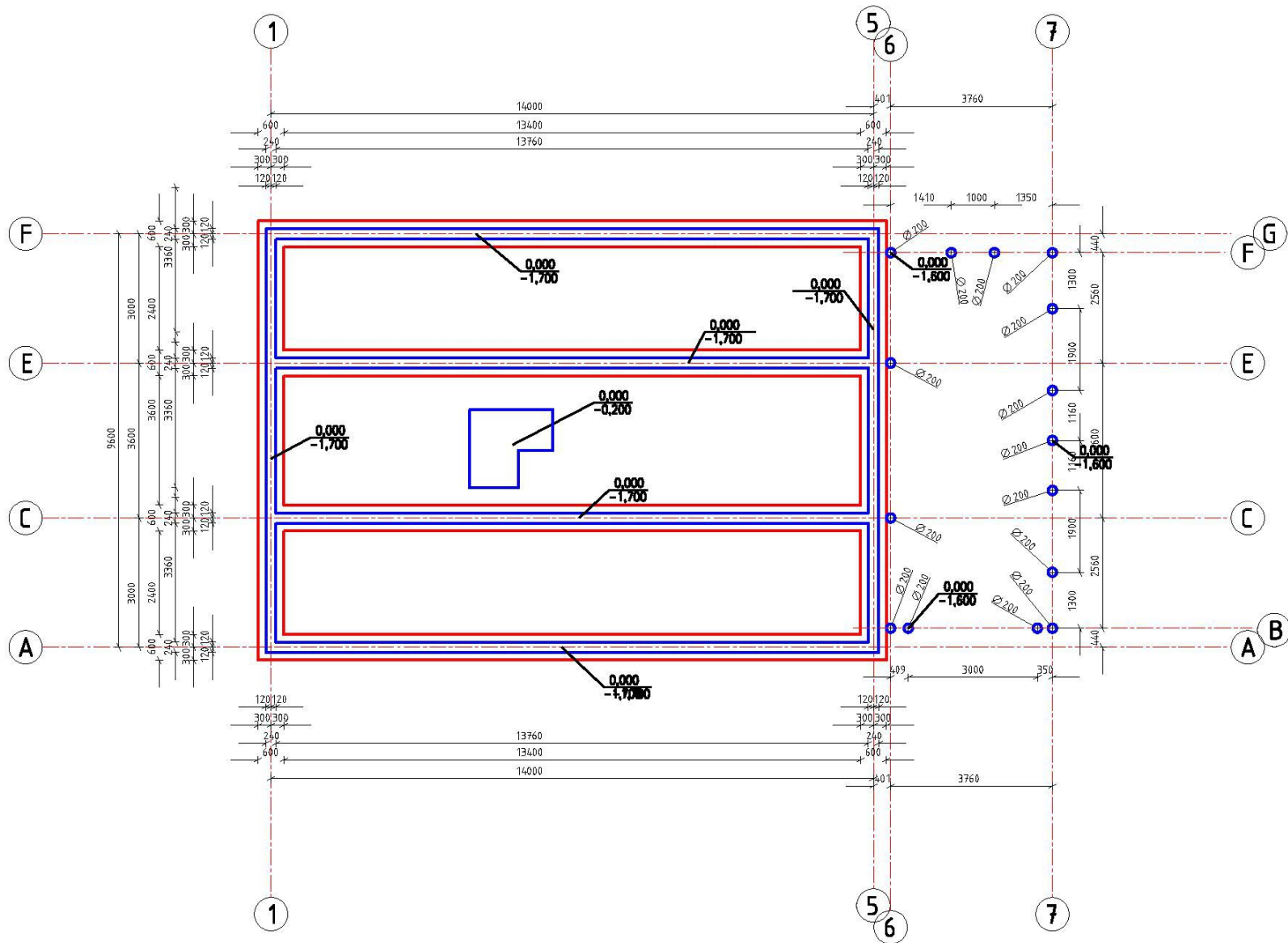
Märkused:

Teljestik on kergploki välimise pinnaga tasa.
Konstruktiivsed osad lahendada põhiprojekti staadiumis.
Akende soojusjuhtivus 0,8 W/m²k ja uste soojusjuhtivus 1,0 W/m²k.

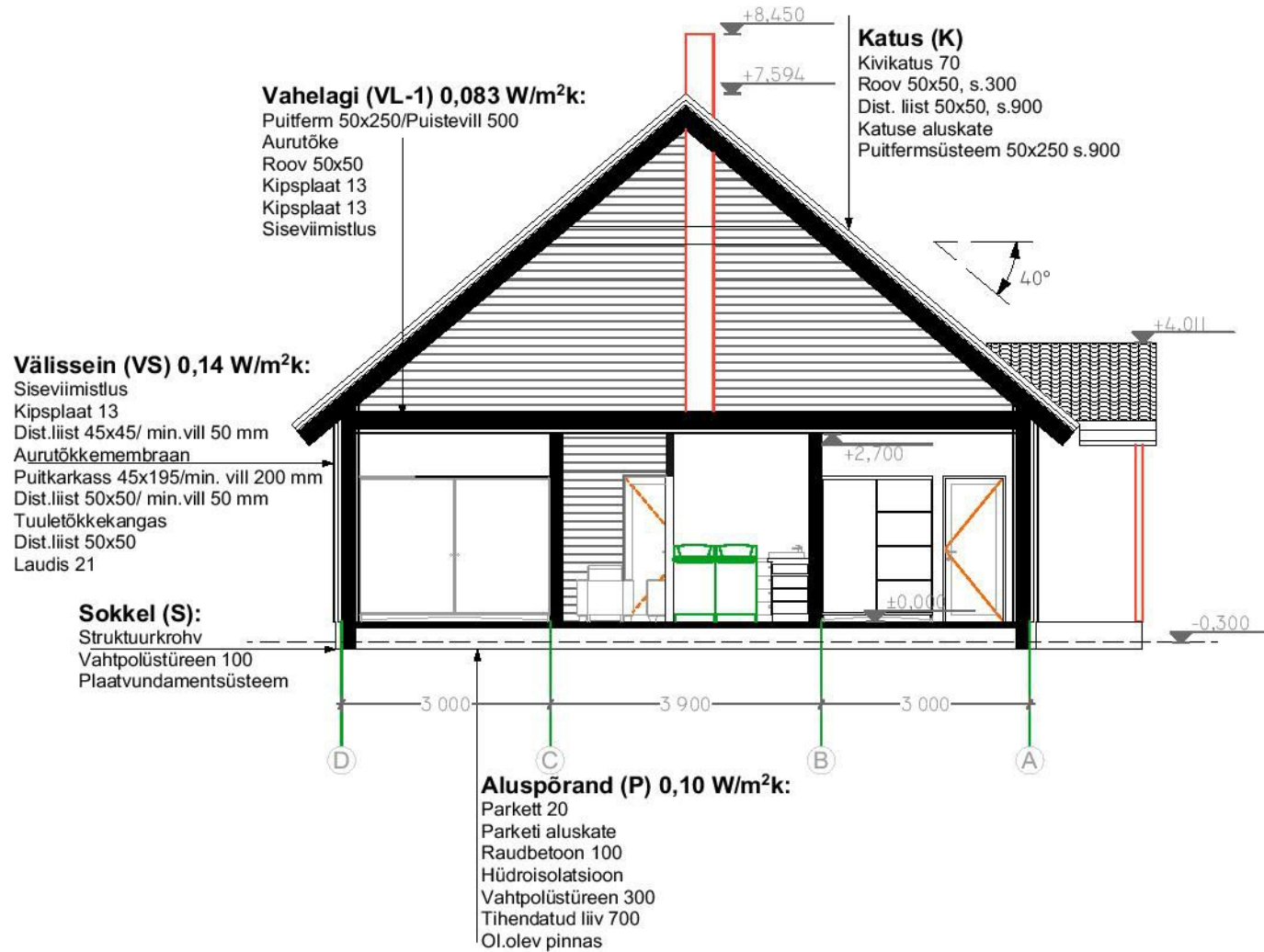
		TELLIJA / ESINDAJA		Allar Loot				
		TÖÖ NIMETUS		Üksikelamu muudatusprojekt				
		Aadress		Vesilinnu tee 6, Saadjärve küla, Tartu vald, Tartu maakond				
KOOSTAS	ALLKIRI	KULUPÄEV	JÕONISE NIMETUS					
Marko Teder		12.10.2020	Lõige A-A					
KONTROLLIS	ALLKIRI	KULUPÄEV	PROJEKTI NR	JOONISE NR	PROJEKTI ETAPP	MÕÕTKAVA	REV	
Marko Teder		12.10.2020	EP010820	01	Eelprojekt	1:100	-	
WOOD NDT OÜ		Registrikood: 12186234, Heina 7, 50604 Tartu, tel 566 47 277 marko@woodndt.eu www.woodndt.eu						



ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255 Kuupäev: 09.06.2014	Mõõt: 1:100	Töö nr: EP2-05.2014
	Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas: Rivo Leiten Kontrollis: Marten Karise Tellija: Kondsor OÜ	Joonise nimetus: Lõige A-A
Objekti asukoht: Saadjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Joonis 4 Jooniseid 8		



ABERON OÜ Kruusamäe 5, 50304, Tartu Tel: 53 678 424; 50 36 516 info@aberon.ee	Reg nr: 11852255	Koopäev: 09.06.2014	Mõõti: 1:100	Töö nr: EP2-05.2014
	Töö nimetus Vesilinnu tee 1 elamu ehitusprojekt Arhitektuurne eelprojekt kat tunnus 79402:001:0436	Koostas: Riivo Leiten	Kontrollis: Marten Karise	
Objekti asukoht: Soodjärve küla, Tartu vald, Tartumaa	Tellija: Kondsor OÜ	Jaanise nimetus: Vundamendi plaan		
				Joonis 3 Jooniseid 8

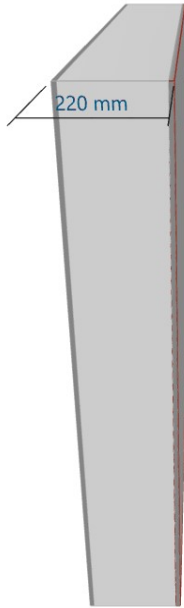


WOOD NTD OÜ		TELLIJA/ESINDAJA: ALLAR LOOT			
		TÖÖ NIMETUS: ÜSIKELAMU EHITUSPROJEKT			
		Aadress: VESILINNU 4, SAADJÄRVE KÜLA, TARTU VALD, TARTU MK			
KOOSTAS: MARKO TEDER	ALLKIRI: /ALLKIRJASTA TUD DIGITAALSELT/	KUUPÄEV: 04.09.2020	JÕONISE NIMETUS: LÕIGE A-A		
KONTROLLIS: MARKO TEDER	ALLKIRI: /ALLKIRJASTA TUD DIGITAALSELT/	KUUPÄEV: 04.09.2020	PROJEKTI NR: EP010620	JÕONISE NR: 7	PROJEKTI STAADIUM: EELPROJEKT
			MÕÕTKAVA: 1:100	FORMAAT: A4	VERSIOON: 03
WOOD NTD OÜ			REG NR: I2186234, TARTU MAAKOND, LUUNJA VALD, VEIBRI KÜLA, JÕEKAARE TEE 2-1		

Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 Kajaja Acoustics OÜ - Key No. 5722
 Job Name: Vesilinnu tee üksikelamud
 Job No.: 21174 Initials: KJJ
 Date: 26.04.2021
 File Name: 21174-01.ixl

Notes:



R_w 41 dB
 C₅₀₋₅₀₀₀ 0 dB
 C_{tr 50-5000} -5 dB

Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

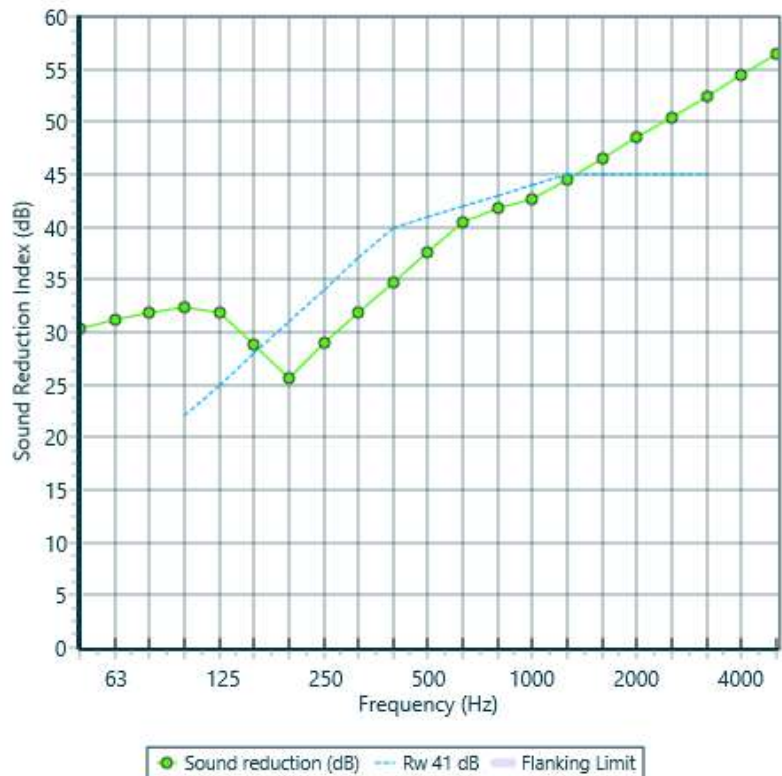
Partition surface mass = 105 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 10 mm Sand/Cement render
 + 1 x 10 mm Sand/Cement render

+ 1 x 200 mm Bauroc Universal

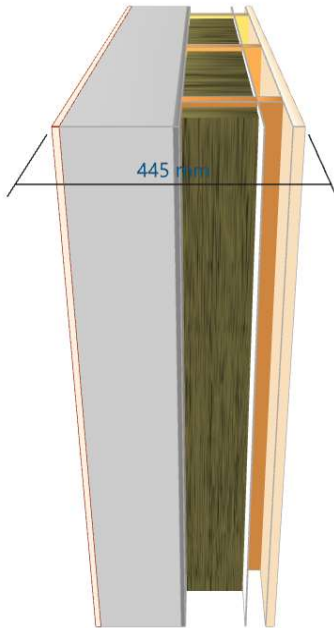
freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	30	
63	31	31
80	32	
100	32	
125	32	31
160	29	
200	26	
250	29	28
315	32	
400	35	
500	38	37
630	40	
800	42	
1000	43	43
1250	45	
1600	47	
2000	48	48
2500	50	
3150	52	
4000	54	54
5000	56	



● Sound reduction (dB) --- R_w 41 dB Flanking Limit

Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 Kajaja Acoustics OÜ - Key No. 5722
 Job Name: Vesilinnu tee üksikelmud
 Job No.: 21174 Initials: KJJ
 Date: 26.04.2021
 File Name: 21174-05.ixl



Notes:

R_w 56 dB
 $C_{50-5000}$ -1 dB
 $C_{tr, 50-5000}$ -11 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 43 Hz, 1122 Hz

Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 116 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 13 mm CSR Gyprock 13mm standard plasterboard
 + 1 x 10 mm Sand/Cement render

+ 1 x 200 mm Bauroc Universal

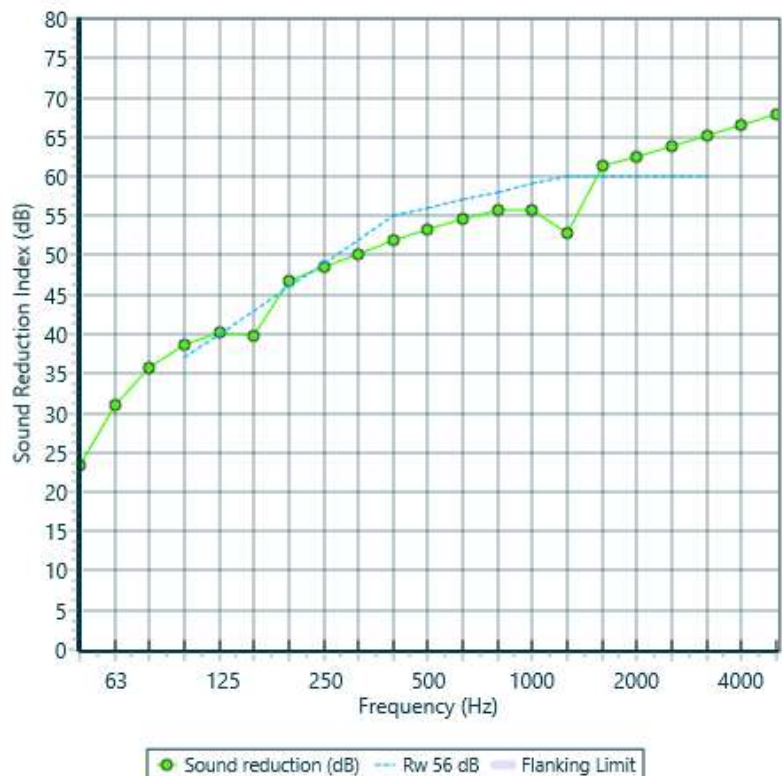
Frame: Timber stud (1,5E2 mm x 40 mm), Stud spacing 600 mm; Cavity Width 150 mm, 1 x Rockwool (33kg/m3) Thickness 150 mm

Panel 2 : 1 x 0,6 mm Building Wrap

Frame: Timber stud (50 mm x 40 mm), Stud spacing 600 mm; Cavity Width 50 mm

Panel 3 : 1 x 21 mm OSB (Oriented Strand Board)

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	23	
63	31	27
80	36	
100	39	
125	40	39
160	40	
200	47	
250	48	48
315	50	
400	52	
500	53	53
630	55	
800	56	
1000	56	55
1250	53	
1600	61	
2000	63	62
2500	64	
3150	65	
4000	66	66
5000	68	



● Sound reduction (dB) --- R_w 56 dB Flanking Limit

Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB

Kajaja Acoustics OÜ - Key No. 5722

Job Name: Vesilinnu tee üksikelamud

Job No.: 21174

Initials: KJJ

Date: 25.04.2021

File Name: 21174-12.ixl

KAJAJA
ACOUSTICS

Notes:



R_w 26 dB
 $C_{50-5000}$ 0 dB
 $C_{tr,50-5000}$ -3 dB

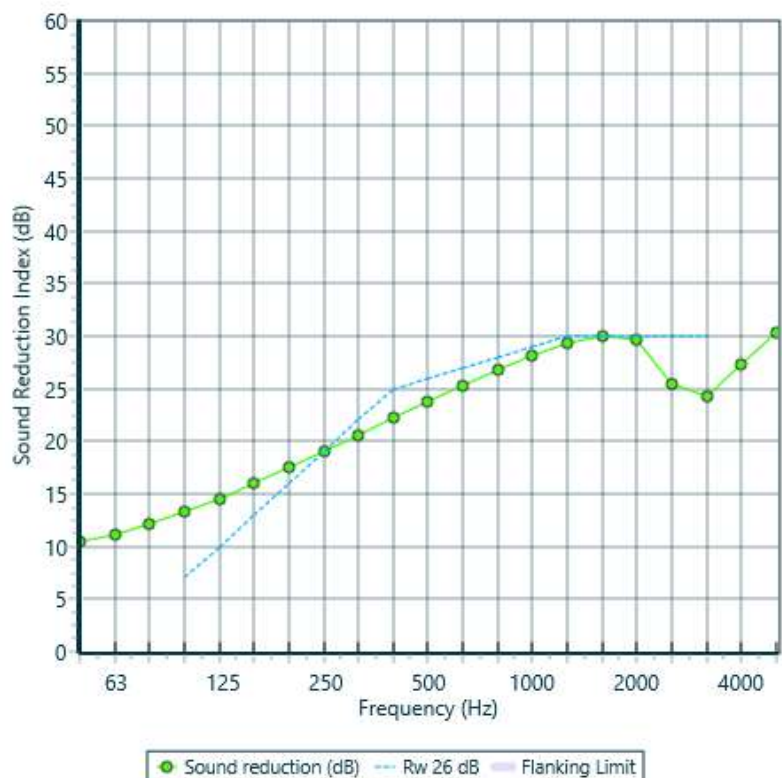
Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 8,45 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 13 mm CSR Gyprock 13mm standard plasterboard

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	10	
63	11	11
80	12	
100	13	
125	15	14
160	16	
200	17	
250	19	19
315	21	
400	22	
500	24	24
630	25	
800	27	
1000	28	28
1250	29	
1600	30	
2000	30	28
2500	25	
3150	24	
4000	27	27
5000	30	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
Kajaja Acoustics OÜ - Key No. 5722

KAJAJA
ACOUSTICS

Job Name:

Initials:KaarelSeppKajaja

Job No.:

Date:25.04.2021

File Name:21174-12.ixl

Notes:



R_w 27 dB

C₅₀₋₅₀₀₀ -1 dB

C_{tr 50-5000} -4 dB

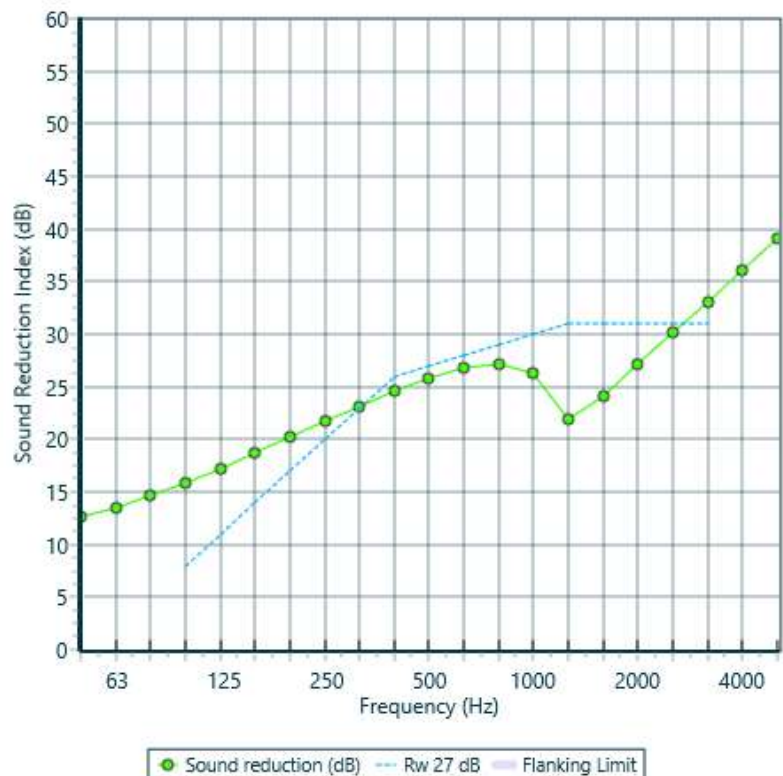
Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 11,8 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 21 mm OSB (Oriented Strand Board)

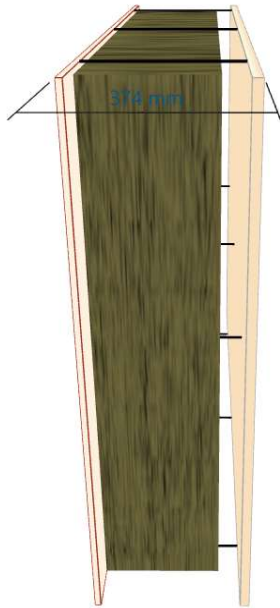
freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	13	
63	14	14
80	15	
100	16	
125	17	17
160	19	
200	20	
250	22	21
315	23	
400	25	
500	26	26
630	27	
800	27	
1000	26	24
1250	22	
1600	24	
2000	27	26
2500	30	
3150	33	
4000	36	35
5000	39	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 Kajaja Acoustics OÜ - Key No. 5722
 Job Name: Vesilinnu tee üksikelamud
 Job No.: 21174 Initials: KJJ
 Date: 24.04.2021
 File Name: 21174-09.ixl

Notes:



R_w 54 dB
 C₅₀₋₅₀₀₀ -5 dB
 C_{tr 50-5000} -18 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 39 Hz

Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 29,8 kg/m²

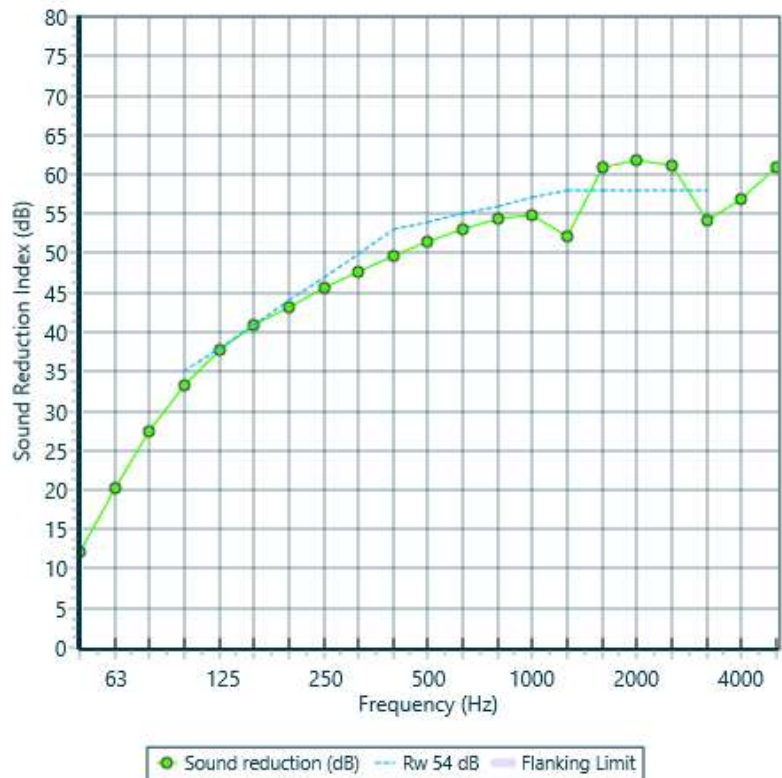
System description

Panel 1 : 1 x 13 mm CSR Gyprock 13mm standard plasterboard

Frame: Point Connection (3,4E2 mm x 45 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 340 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 290 mm

Panel 2 : 1 x 21 mm OSB (Oriented Strand Board)

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	12	
63	20	16
80	27	
100	33	
125	38	36
160	41	
200	43	
250	46	45
315	48	
400	50	
500	52	51
630	53	
800	54	
1000	55	54
1250	52	
1600	61	
2000	62	61
2500	61	
3150	54	
4000	57	57
5000	61	



● Sound reduction (dB) - - - Rw 54 dB Flanking Limit

TELLIJA: Merilin Mutli
TELLIMUS: 09.04.2021

KAJAJA
ACOUSTICS

PIIRDETARINDITE HELIISOLATSIOONI MÕÕTMISED 17.04.2021

1. ÜLDINE

Koht: Üksikelamud Vesilinnu tee 1 ja Vesilinnu tee 6, Saadjärve, 60524 Tartu maakond
Aeg: 17.04.2021 kell 13:00-16:00
Mõõtmiste teostajad: Kaarel Sepp

1.1 MÕÕTSEADMED JA METOODIKA

TABEL 1 Kasutatud mõõteseadmed

seade	tüüp	tehase tähis	kalibreerimise kuupäev
müramõõdik	NTi Audio XL2-TA	A2A-15376-E0	22.03.2021
mikrofon	NTi Audio M2230	09543	22.03.2021
kalibraator	NTi Audio CAL200	16083	08.06.2020
kõlar	NTi Audio DS3 Dodecahedron Loudspeaker	D-1073-A3	
mürageneraator	NTi Audio PA3 Power Amplifier	1169	

Mõõtmised ja arvutused teostati normatiivdokumentide EVS-EN ISO 16283-1/-3, EVS-EN ISO 16283-1/A1 ja EVS-EN ISO 717-1 alusel.

2. AKUSTILISED NÕUDED

Ehitise sisepiiretele esitatavad nõuded on esitatud standardis EVS 842:2003 "Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest" tabelis 6.1- Sisepiiretele esitatavad heliisolatsiooninõuded.

2.1 ÕHUMÜRA ISOLATSIOON

TABEL 2 Sisepiiretele esitatavad heliisolatsiooninõuded. Õhumüra isolatsiooniindeks R_w [dB]

elamu	õhumüra isolatsiooniindeks R_w
korteri eluruumide ja üldkasutatavate ruumide ning bürooruumide vahel	≥ 55 dB

3. MÕÕTMISTULEMUSED

Käesolevas protokollis esitatud tulemused kehtivad konkreetsetele katseobjektidele.

3.1 ÕHUMÜRA ISOLATSIOON

Saadud mõõtmistulemused on esitatud tabelis (TABEL 3).

TABEL 3 Õhumüra isolatsiooni indeksid R_w (C; C_{tr}) [dB]

jrk nr	asukoht	R_w (C; C_{tr})	EVS 842:2003 nõue, R_w	protokolli nr
1	Vesilinnu tee 6 I korruse panipaiga ja magamistoa vaheline piirdekonstruktsioon	55 (-2; -8)	≥ 55	21174-210417-P01

Kajaja Acoustics OÜ
Reg.kood 11485414
Laki põik 2 12915 Tallinn

KAJAJA
ACOUSTICS

info@kajaja.ee
www.kajaja.ee
+372 5626 4614

jrk nr	asukoht	$R_w (C; C_{tr})$	EVS 842:2003 nõue, R_w	protokolli nr
2	Vesilinnu tee 1 I korruse panipaiga ja magamistoa vaheline piirdekonstruktsioon	56 (-3; -9)	≥55	21174-210417-P03

Standardi EVS-EN ISO 12999-1:2014 põhjal leitud õhumüra isolatsiooni indeksi R_w mõõtmistulemuste laiendmääramatus on ±2 dB (kattetegur $k=2$, kahepoolne usaldusvahemik).

3.2 VÄLISPIIRDE ÕHUMÜRA ISOLATSIOON

Saadud mõõtmistulemused on esitatud tabelis (TABEL 4).

TABEL 4 Õhumüra isolatsiooni indeksid $D_{is,2m,w} (C; C_{tr})$ [dB]

jrk nr	asukoht	$D_{is,2m,w} (C; C_{tr})$	EVS 842:2003 nõue	protokolli nr
3	Vesilinnu tee 6 I korruse magamistoa avatäitega* välispiire (aken 1800x1300 mm)	41 (-2; -5)	-	21174-210417-P02
4	Vesilinnu tee 1 I korruse magamistoa avatäitega* välispiire (aken 1800x1300 mm)	42 (-2; -6)	-	21174-210417-P04

* - SeiCom Classic PVC 74 mm aken

Standardi EVS-EN ISO 12999-1:2014 põhjal leitud õhumüra isolatsiooni indeksi $D_{is,2m,w}$ mõõtmistulemuste laiendmääramatus on ±2 dB (kattetegur $k=2$, kahepoolne usaldusvahemik).

4. KONSTRUKTSIOONITÜÜBID

TABEL 5 Vesilinnu tee 6 üksikelamu välispiire

jrk nr		
1	siseviimistlus	
2	standardkipsplaat	13 mm
3	kergplokk Bauroc	200 mm
4	mineraalvill	150 mm
5	distsantsliist	50 mm
6	laudis	21 mm
	kokku	434 mm

TABEL 6 Vesilinnu tee 1 üksikelamu välispiire

jrk nr		
1	siseviimistlus	-
2	standardkipsplaat	13 mm
3	distsantsliist 45x45 mm / mineraalvill 50 mm	45 mm
4	puitkarkass 45x195 mm / mineraalvill 200 mm	195 mm
5	distsantsliist 50x50 mm / mineraalvill 50 mm	50 mm
6	distsantsliist 50x50 mm	50 mm
7	laudis	21 mm
	kokku	374 mm

protokolli koostas:
Kaarel Sepp / konsultant

Apparent sound reduction index in accordance with ISO 16283-1
Field measurements of airborne sound insulation between rooms

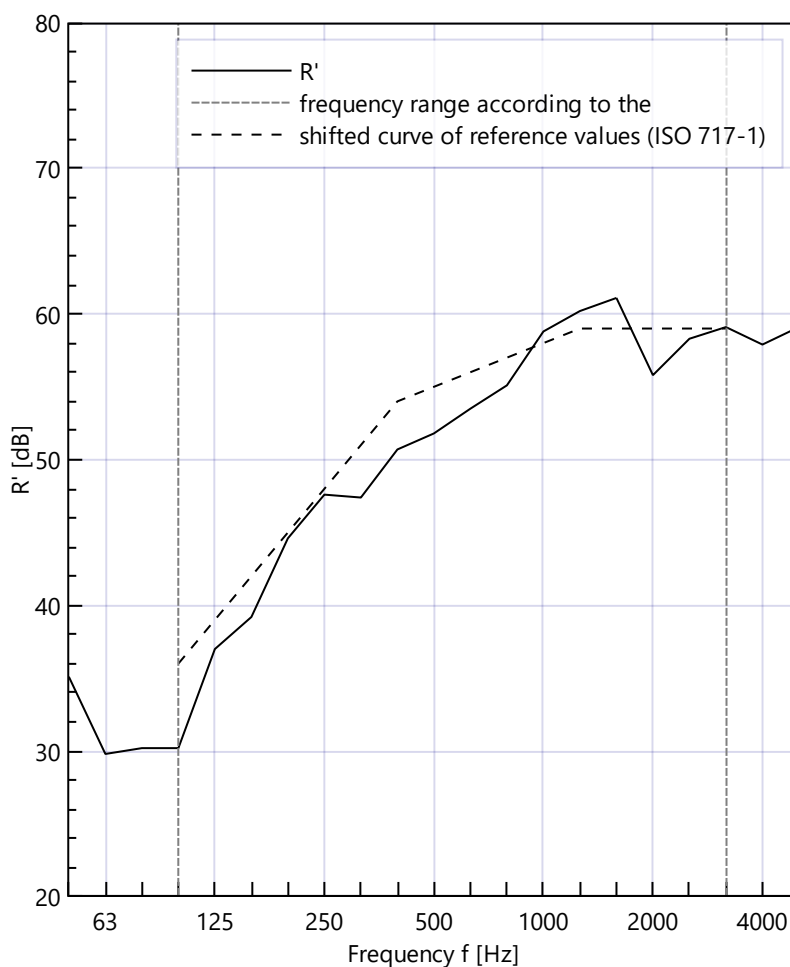
Client: Merilin Mutli
 Location: Üksikelamu Vesilinnu tee 6, Saadjärve, 60524 Tartu maakond

Date of test: 17.04.2021

I korruse panipaiga ja magamistoa I vaheline vaheline piirdekonstruktsioon
 Müraallikaga ruum: panipaik; Müra vastuvõttev ruum: magamistuba I

Area of common partition: 6,90 m²
 Source room volume: 43,00 m³
 Receiving room volume: 33,00 m³

Frequency f Hz	R' 1/3 octave dB
50	35,1
63	29,8
80	30,2
100	30,2
125	37,0
160	39,2
200	44,6
250	47,6
315	47,4
400	50,7
500	51,8
630	53,5
800	55,1
1000	58,8
1250	60,2
1600	61,1
2000	55,8
2500	58,3
3150	59,1
4000	57,9
5000	59,1



Rating in accordance with ISO 717-1:

$R'_{w}(C;C_{tr}) = 55 (-2; -8) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -3 \text{ dB};$

$C_{50-5000} = -2 \text{ dB};$

$C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$

Evaluation based on field measurement using results obtained by an engineering method.

$C_{tr,50-3150} = -10 \text{ dB};$

$C_{tr,50-5000} = -10 \text{ dB};$

$C_{tr,100-5000} = -8 \text{ dB}$

No. of test report: 21174-210417-P01
 Date: 19.04.2021

Name of test institute: Kajaja Acoustics I Laki põik 2, Tallinn
 Signature: Kaarel Sepp

Normalized level difference in accordance with ISO 16283-3
Field measurements of façade sound insulation

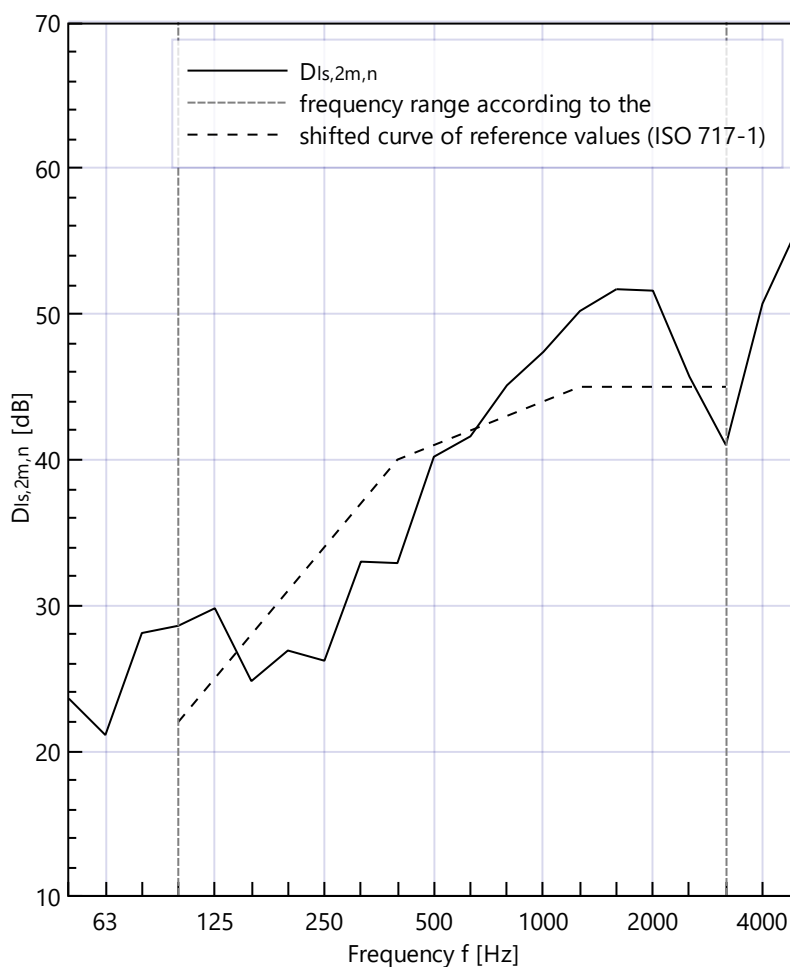
Client: Merilin Mutli
 Location: Üksikelamu Vesilinnu tee 6, Saadjärve, 60524 Tartu maakond
 I korruse magamistoa aknaga välispiire (aken 1800x1300 mm)

Date of test: 17.04.2021

Area of common partition: 11,90 m²
 Receiving room volume: 33,00 m³

Frequency f Hz	D _{Is,2m,n} 1/3 octave dB
50	23,6 *
63	21,1
80	28,1
100	28,6
125	29,8
160	24,8
200	26,9
250	26,2
315	33,0
400	32,9
500	40,2
630	41,6
800	45,1
1000	47,4
1250	50,2
1600	51,7
2000	51,6
2500	45,7
3150	41,0
4000	50,7
5000	56,1

* 1,3 dB correction applied,
 value at the limit of measurement



Rating in accordance with ISO 717-1:

$D_{Is,2m,n,w}(C;C_{tr}) = 41 (-2; -5) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -2 \text{ dB};$

$C_{50-5000} = -1 \text{ dB};$

$C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$

Evaluation based on field measurement using
 results obtained by an engineering method.

$C_{tr,50-3150} = -6 \text{ dB};$

$C_{tr,50-5000} = -6 \text{ dB};$

$C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}$

No. of test report: 21174-210417-P02
 Date: 19.04.2021

Name of test institute: Kajaja Acoustics I Laki põik 2, Tallinn
 Signature: Kaarel Sepp

Apparent sound reduction index in accordance with ISO 16283-1
Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client: Merilin Mutli

Date of test: 17.04.2021

Location: Üksikelamu Vesilinnu tee 1, Saadjärve, 60524 Tartu maakond

I korruse panipaiga ja magamistoa I vaheline vaheline piirdekonstruktsioon
 Müraallikaga ruum: panipaik; Müra vastuvõttev ruum: magamistuba I

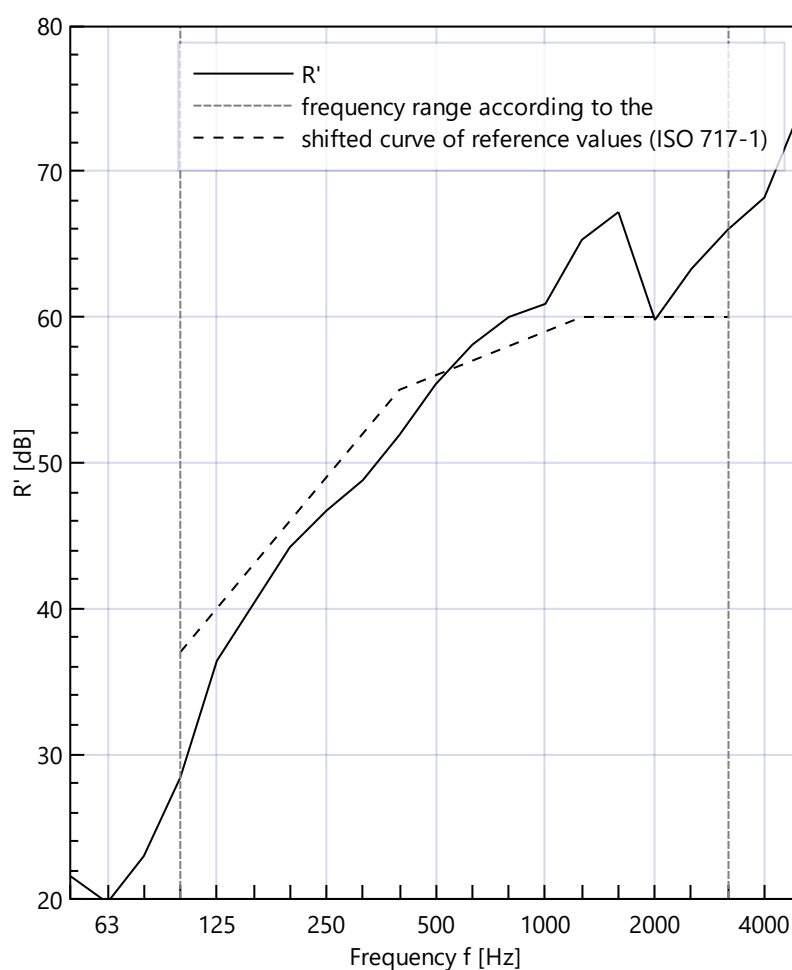
Area of common partition: 7,20 m²

Source room volume: 51,00 m³

Receiving room volume: 35,00 m³

Frequency f Hz	R' 1/3 octave dB
50	21,6
63	19,8
80	23,0
100	28,4
125	36,4
160	40,3
200	44,2
250	46,7
315	48,8
400	51,9
500	55,4
630	58,1
800	60,0
1000	60,9
1250	65,3
1600	67,2
2000	59,8
2500	63,3
3150	66,0
4000	68,2
5000	74,3 *

* 1,3 dB correction applied,
value at the limit of measurement



Rating in accordance with ISO 717-1:

$R'_{w}(C;C_{tr}) = 56 (-3; -9) \text{ dB}$

$C_{50-3150} = -6 \text{ dB};$

$C_{50-5000} = -5 \text{ dB};$

$C_{100-5000} = -2 \text{ dB}$

Evaluation based on field measurement using
results obtained by an engineering method.

$C_{tr,50-3150} = -17 \text{ dB};$

$C_{tr,50-5000} = -17 \text{ dB};$

$C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB}$

No. of test report: 21174-210417-P03

Name of test institute: Kajaja Acoustics I Laki põik 2, Tallinn

Date: 19.04.2021

Signature: Kaarel Sepp

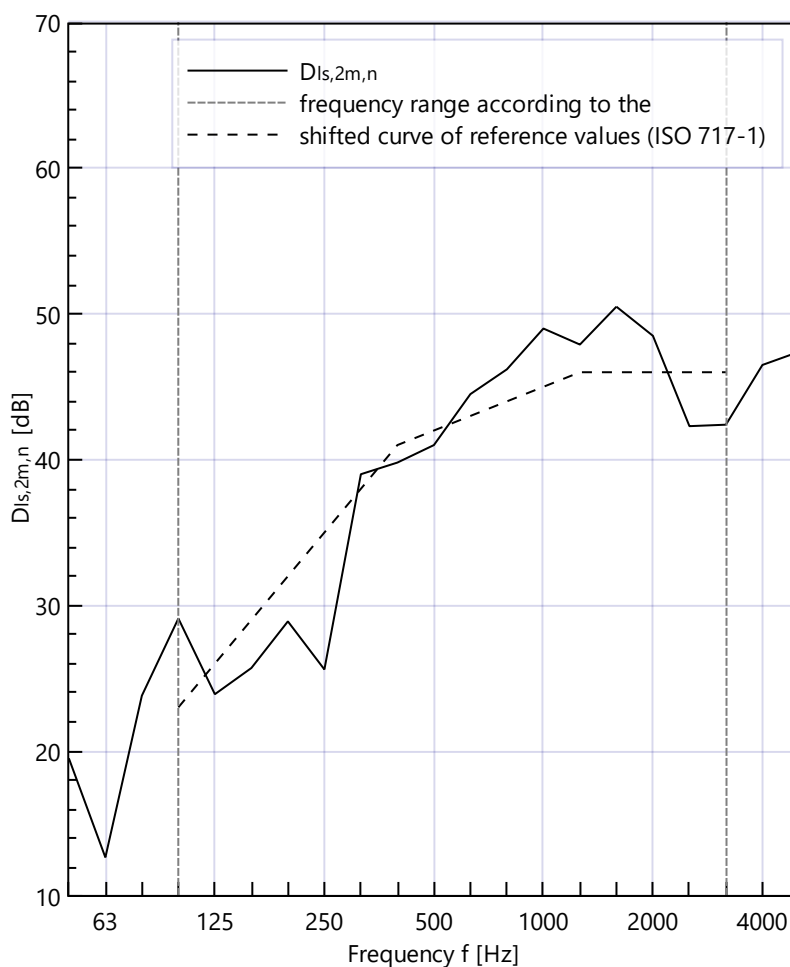
Normalized level difference in accordance with ISO 16283-3
Field measurements of façade sound insulation

Client: Merilin Mutli
 Location: Üksikelamu Vesilinnu tee 1, Saadjärve, 60524 Tartu maakond
 I korruse magamistoa aknaga välispiire (aken 1800x1300 mm)

Date of test: 17.04.2021

Area of common partition: 12,70 m²
 Receiving room volume: 35,00 m³

Frequency f Hz	D _{Is,2m,n} 1/3 octave dB
50	19,5
63	12,7
80	23,8
100	29,1
125	23,9
160	25,7
200	28,9
250	25,6
315	39,0
400	39,8
500	41,0
630	44,5
800	46,2
1000	49,0
1250	47,9
1600	50,5
2000	48,5
2500	42,3
3150	42,4
4000	46,5
5000	47,4



Rating in accordance with ISO 717-1:

D_{Is,2m,n,w}(C;C_{tr}) = 42 (-2; -6) dB

C₅₀₋₃₁₅₀ = -3 dB;

C₅₀₋₅₀₀₀ = -2 dB;

C₁₀₀₋₅₀₀₀ = -1 dB

Evaluation based on field measurement using results obtained by an engineering method.

C_{tr,50-3150} = -10 dB;

C_{tr,50-5000} = -10 dB;

C_{tr,100-5000} = -6 dB

No. of test report: 21174-210417-P04
 Date: 19.04.2021

Name of test institute: Kajaja Acoustics I Laki põik 2, Tallinn
 Signature: Kaarel Sepp