

**HELIPIDAVAMA VALIKUPAKETI LOOMINE
KORTERI HELIISOLATSIOONI PARENDAMISEKS
NING SELLE KASUTAMISE MÕJU ELANIKULE**

**CREATING A SOUNDPROOFING PACKAGE TO IMPROVE
SOUND INSULATION OF THE APARTMENT AND THE
IMPACT OF ITS USE ON RESIDENTS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ago Jaani

Üliõpilaskood: 165192

Juhendaja: Marko Ründva, B.Sc

Tallinn 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

"16" mai 2022.

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 tegemiseks¹

Mina, Ago Jaani

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

Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule

mille juhendaja on Marko Ründva

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.

16. mai 2022 (kuupäev)

¹ 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 üks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Ago Jaani, 165192

Õppekava, peeriala: EAEI02/15 - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine

Juhendaja(d): Marko Ründva, Liginullenergiahoonete uurimisrühm

Lõputöö teema:

Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule

Creating a soundproofing package to improve sound insulation of the apartment and the impact of its use on residents

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade eluhoonete heliisolatsiooninõuetest Eestis ja Skandinaavia riikides ning nõuete omavahelisest võrreldavusest.
2. Analüüsida arvutustarkvarade võimekust hinnata ruumide vahelist heliisolatsiooni konkreetsete tarindite näitel.
3. Leida erinevaid lahendusi, kuidas tagada elanike suurem rahuloluprotsent heliisolatsiooni suhtes.
4. Anda ülevaade positiivsetest ja negatiivsetest teguritest, mis kaasnevad korteri helipidavamate lahenduste rakendamisel.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Teoreetiliste alustega tutvumine. Tüüpsete tarindite lahendustega tutvumine. Parendatud tarindite konstrueerimine.	01.04.22
2.	Teoreetiliste arvutuste teostamine. Tulemuste hindamine.	01.05.22
3.	Lõputöö esitamine.	16.05.22

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 16. mai 2022.a

Üliõpilane: Ago Jaani 16. mai 2022.a
/allkiri/

Juhendaja: Marko Ründva 16. mai 2022.a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
SISSEJUHATUS	9
1 TEOREETILINE TAUST JA HELIISOLATSIOONINÕUDED ERINEVATES RIIKIDES .11	
1.1 Varasemad uuringud	11
1.2 Heli põhiomadused.....	11
1.3 Hoonete heliisolatsioon	12
1.3.1 Õhumüra isolatsioon	13
1.3.2 Löögimüra isolatsioon	15
1.3.3 Tehnoseadmete müra	16
1.3.4 Spektrilähendustegurid	18
1.4 Eluhoonetele kehtivad heliisolatsiooninõuded erinevates riikides	19
1.4.1 Õhumüra isolatsiooninõuded.....	19
1.4.2 Löögimüra isolatsiooninõuded	21
1.4.3 Eri riikides kehtivate heliisolatsiooninõuete võrdlus.....	24
1.5 Heliisolatsiooni mõõtmine	26
1.5.1 Õhumüra heliisolatsiooni mõõdistus.....	26
1.5.2 Löögimüra heliisolatsiooni mõõdistus	28
1.5.3 Tehnoseadmete helirõhutasemete mõõdistus.....	29
2 ARVUTUSMEETODITE ÜLEVAADE	31
2.1 Üldpõhimõtted.....	31
2.1.1 Massiivsete tarindite heliisolatsioonivõime	31
2.1.2 Löögimüra isolatsiooni arvutamine	35
2.2 Arvutustarkvarad	37
2.2.1 Insul.....	37
2.2.2 CadnaB.....	38
2.3 Teoreetilised arvutused võrreldes platsimõõdistusega	39
2.3.1 Tüüpiliste korterivaheliste tarindite arvutustulemused	39
2.3.2 Vahelae heliisolatsiooni arvutustulemused	50
2.3.3 Arvutustulemuste järelused	56
3 HELIPIDAVAMATE LAHENDUSTE TAGAMINE	57
3.1 Üldpõhimõtted.....	57
3.1.1 Helipidavamate lahenduste lähteparameetrid	58
3.2 Vaheseinte õhumüra isolatsiooni tagamine	59
3.2.1 Vaheseinte parendamine variseina lisamise meetodil	59

3.2.2	Vaheseinte parendamine konstruktiivse muutmise teel	60
3.2.3	Homogeensete tarindite lahendused	62
3.3	Vahelae heliisolatsiooni tagamine	64
3.4	CadnaB arvutustulemused parendatud tarinditele	65
3.5	Korteri välisukse helinõuete tagamine	66
3.5.1	Ühe ukselehega välisuks	68
3.5.2	Kahekordse ukse lahendus	69
3.6	Tehnoseadmete madalama müratasemega lahendused.....	71
3.6.1	Vesi, kanalisatsioon ja küte	71
3.6.2	Ventilatsioon.....	73
3.7	Lahendite järelused	74
4	HELIKINDLUSE TAGAMISE MÕJU ELANIKULE.....	76
4.1	Positiivsed tegurid.....	76
4.2	Negatiivne mõju	78
	KOKKUVÕTE	80
	SUMMARY.....	82
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	84
	LISAD	89

EESSÕNA

Käesolevas magistritöös keskenduti kortermajade massiivsete tarindite, avatäidete ning tehnoseadmete heliisolatsioonile ning selle parendamisele. Eesmärk oli luua helipidavama lahenduste pakett ühe korteri heliisolatsiooni parendamiseks vastavalt Skandinaavia heliklassi A heliisolatsiooni nõuetele. Helipidavamate tarindite välja töötamisel võeti aluseks Eestis kasutatavad tüüpsed massiivtarindid, parandades nende helipidavuse omadusi. Töö raames katsetati akustikaprogrammide Insul ja CadnaB täpsust võrreldes programmide ja arvutusmodelite teel leitud tulemuste ligikaudset hinnangut varasemate objektimöödistuste tulemitega. Lisaks toodi välja kirjandusest ning teadustöödest leitud lahendid, kuidas tagada tehnosüsteemidele ette nähtud helirõhu normtasemeid. Töös toodi välja ka positiivsed ja negatiivsed mõjurid inimesele helipidavamate lahenduste rakendamisel.

Soovin tänu avaldada Alo Nõmmikule ja Reimo Rootsmale, kelle poolt käidi välja idee antud teemal magistritöö koostamiseks ning abistasid parendatud lahendusvariantide väljatöötamisel ja koostamisel.

Suured tänud lõputöö juhendajale Marko Ründvale hea nõu, pühendatud aja ning akustikatarkvarade Insul ja CadnaB kasutamise võimaldamise eest. Samuti soovin tänada Margit Erraparti Insuli programmi kasutamise nõustamisel.

Mõistva suhtumise, kannatlikuse ja moraalse toe eest soovin tänada enda elukaaslast.

heliisolatsioon, kortermajad, helipidavus, magistritöö

Lühendite ja tähiste loetelu

A – ekvivalentne helineeldumispind vastuvõtvast ruumis, m^2 ;

A_0 – normatiivne ekvivalentne neeldumispind, mille väärtus elumajade korral $10 m^2$;

c_0 – heli kiirus õhus ($340 m/s$), m/s ;

$C_{50-3150}$ – roosa müra spektrilähendustegur sagedusvahemikus $50-3150 Hz$, dB ;

$C_{1,50-2500}$ – löögiheli spektrilähendustegur sagedusvahemikus $50-2500 Hz$, dB ;

C_{sab} – Sabine'i konstant, $0,16 s/m$;

D_n – taandatud helitasemete vahe, dB ;

D_{nT} – standarditud helitasemete vahe, dB ;

$D_{nT,w}$ – kaalutud standarditud helitasemete vahe, dB ;

E – materjali elastsusmoodul, Pa ;

f – helisagedus, Hz ;

f_c – kriitiline sagedus, Hz ;

k – järelkõlaindeks, dB ;

L'_n – löögiheli taandatud helirõhutase, dB ;

L'_{nT} – löögiheli standarditud helirõhutase, dB ;

$L_{n,w}$ – löögiheli kaalutud taandatud rõhutase, dB ;

$L'_{n,w}$ – löögiheli kaalutud taandatud rõhutase reaalses olukorras, dB ;

$L'_{n,w,eq}$ – löögiheli ekvivalentne kaalutud taandatud rõhutase, dB ;

L_p – helirõhutase, dB ;

$L_{pA,eq,T}$ – $A(C)$ - korrigeeritud ekvivalentne müratase etteantud ajaintervallis, dB ;

$L_{pA,max}$ – $A(C)$ - korrigeeritud maksimaalne müratase etteantud ajaintervallis, dB ;

m' – mass pindalaühiku kohta, kg/m^2 ;

p – helirõhk, Pa ;

p_0 – standardne helirõhk suurusega $20 \mu Pa$;

R' – tegelik heliisolatsiooniindeks, dB ;

R_w – kaalutud heliisolatsiooniindeks, dB ;

R'_w – tegelik kaalutud heliisolatsiooniindeks, dB ;

S_s – ruume eraldava elemendi pindala, m^2 ;

T – järelkõlakestus vastuvõtvast ruumis, s ;

T_0 – järelkõlakestuse normatiivväärtus, elumajade puhul $0,5 s$;

η_{int} – materjali sisekadude tegur;

μ – Poissoni koefitsent;

τ – ülekandetegur;

SISSEJUHATUS

Tänapäeva ühiskonnas viibivad inimesed ligi 90% oma ajast siseruumides, millest 2/3 viibitakse kodus. Inimesed, kes elavad kortermajades, muretsevad, kas nende tegevused enda ruumis võivad häirida naabreid. [1] Norras teostatud uuringute alusel on leitud, et kortermaja elanikest ligikaudu 35% kardavad teha liigset müra rääkimise ja muusika kuulamisega ning 10% elanikest on häiritud antud helidest. Samuti ligikaudu 17% elanikest muretsevad, et häirivad naabri elutegevust heliga, mis tekib kõndimisel, aga 20% kortermaja elanikest kaebavad sammumürast tekkivate häiringute osas. [2]

Kortermajade elanikud ei soovi, et nende või naabrite poolt tekitatavat heli oleks kuulla. Inimesed, kes töötavad kodukontoris, viibivad veelgi rohkem kodus keskkonnas, mistõttu võivad naabrite poolt tekitatavad helid rohkem häirida hakata. Sellises olukorras võib tekkida inimesel naabrite heli osas negatiivne hoiak ning müra on raskemini talutav. [3] Kõrgemate heliisolatsiooni klasside rakendamisel on võimalik häirivaid helisid vähendada ning elanike rahulolu suurendada. Uuringute alusel on 50% inimestest nõus maksma rohkem selle eest, et rakendatakse kõrgem helipidavus. [2]

Magistritöö käigus keskendutakse peamiselt korteritevaheliste tarindite akustilistele toimivustele. Töös uuritakse erinevaid võimalusi, kuidas oleks võimalik tagada korteriomanike suurem rahulolu heliisolatsiooni osas võrreldes erinevate konstruktsioonitüüpide ja tehnosüsteemide lahendusi. Tarindite lahenduste võrdlused teostatakse teoreetiliste arvutuste kohaselt, kasutades Soome Ehitusinseneride Liidu RIL ry poolt väljastatud juhendit RIL 243-1-2007 „Hoonete akustiline projekteerimine. Akustika alused“ ning akustika arvutusprogramme Insul [4] ja CadnaB [5] .

Töö peamine eesmärk on välja töötada helipidavamate lahenduste pakett, mida on võimalik korteristjal lisana juurde valida, kui eeldatakse, et miinimumnõuete järgsed heliisolatsioonitingimused ei vasta korteriomaniku vajadustele. Enamus uusarenduste kortereid müüakse Eestis enne ehituse algust, mistõttu keskendub töö ehituse eelsele perioodile, kui kortereid on võimalik broneerida. Antud pakett töötatakse välja massiivsete seinakonstruktsioonide (erinevad müüritisseinad, betoonseinad) ja vahelaekonstruktsioonide jaoks, et ühilduda Eestis kasutatavate tüüpsete konstruktsioonitüüpidega, ning et parendatud tarindeid oleks võimalik kasutada tulevikus, kui Eestis tekib kogu hoone akustiline klassifitseerimine teiste riikide eeskujul. Tarindite parendamisel on kasutatud levinud lahendusi ja materjale, mida igapäeva ehituses kasutatakse. Välja toodud lahendused ei kajasta helipidavuse parendamiseks mõeldud materjale, mis on kallid ning mille kättesaadavus on piiratud.

Samuti keskendutakse hoone siseste lahenduste välja töötamisele ning ei võeta arvesse hoonevälist müra.

Käesolev töö on jaotatud neljaks erinevaks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade varasematest teadustöödest, kirjeldatakse heliisolatsiooniga seotud peamisi mõisteid ning kirjeldatakse heliisolatsioonimõõdistuste põhimõtet. Samuti tuuakse välja lähiriikide minimaalsed heliisolatsiooninõuded koos akustilise klassifitseerimisega ning nende võrreldavus Eestis kehtivate nõuetega.

Töö teine osa keskendub konstruktsioonitüüpide arvutusmeetoditele ning antakse ülevaade kasutatavatest akustika arvutusprogrammidest. Teoreetilised arvutused ning objektidel teostatavad mõõdistused annavad tihtipeale erinevaid tulemusi, seetõttu võrreldakse programmide teel arvutatud tarindite heliisolatsiooniindekseid reaalse tarindi mõõdistustulemustega. Peamine eesmärk on selgitada lihtsa tarindi arvutusnäitel, kas arvutusprogrammide Insul ja CadnaB ning RIL 243-1 juhendite põhjal on võimalik hinnata konstruktsioonitüübi akustilisi näitajaid.

Kolmandas peatükis tuuakse välja erinevad konstruktsioonitüübid, mille abil on võimalik tagada kõrgem õhu- ja löögimüra isolatsioon, kui seda riikliku standardiga EVS 842:2003 „Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest“ on ette nähtud. Samuti vaadeldakse antud peatükis avatäidete ja tehnoseadmetele rakendatavaid meetmeid, mille tulemusel on võimalik saavutada kõrgem helipidavus. Kõrgema helistandardi aluseks on võetud Skandinaavia riikides kasutatava heliklass A nõuded, mis on üle viidud Eesti heliisolatsiooni indikaatoritele. Skandinaavia riikide projekteerimis- ja ehituskultuur sarnanevad Eestiga, mistõttu nendes riikides kehtestatud nõudeid on võimalik aluseks võtta.

Töö viimases peatükis koondatakse kolmandas osas toodud lahendused ning millist mõju avaldab vaiksem korter selle omanikule. Antud peatükis keskendutakse nii positiivsetele kui ka negatiivsetele teguritele, mis kaasnevad parema helipidavuse rakendamisel.

1 TEOREETILINE TAUST JA HELIISOLATSIOONINÕUDED ERINEVATES RIIKIDES

1.1 Varasemad uuringud

Heliisolatsiooni tingimuste täitmise ning miinimumnõuete rahulolu osas on koostatud mitmeid suuremahulisi uuringuid. Aastal 2014 koostati Soomes Turu Ülikooli ja Soome Töötervishoiu Instituudi koostöös uuring "*Satisfaction with sound insulation in residential dwellings - The effect of wall construction*", mille eesmärk oli võrrelda kortermaja elanike akustilist rahulolu. Uuring keskendub kergete ja massiivsete tarindite kasutamisest tingitud akustilisele rahulolule ning selle võrdlusele, kui tarindite heliisolatsiooniindeksid olid ligilähedased [6]. Akustilise mugavuse osas on koostatud Nikolaos Vardaxise poolt ka doktoritöö "*Evaluation of acoustic comfort in apartment buildings*" [7].

Lisaks on analüüsitud erinevate Euroopa riikide heliisolatsiooninõudeid ning püütud neid ühtlustada, tehes ettepanekuid luua ühine heliisolatsiooninõude süsteem ja klassifikatsioonid. Sarnased ettepanekud ja ühtlustamise skeemid on loodud näiteks Birgit Rasmussen poolt koostatud artiklis "*Building acoustic regulations in Europe – Brief history and actual situation*" [1]. Antud ettepanekuid on tehtud ka artiklis "*Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe*" [8].

Peale uurimistöode ja teaduslike artiklite leiab palju informatsiooni teadusajakirjadest "*Applied Acoustics*" [9] ja "*Building Acoustics*" [10]. Samuti on palju infot saadaval perioodiliste akustikakonverentside jaotusmaterjalidest. Sellisteks konverentsideks on näiteks *Baltic-Nordic Acoustics meeting* [11] ja *InterNoise* [12].

1.2 Heli põhiomadused

Heli on häiring, mis tuleneb õhurõhu järkjärgulisest kõikumisest ümbritseva keskkonna staatilise rõhu suhtes. Helilained saavad levida kõikides elastsetes ja inertsetes ainetes, mis võivad olla nii gaasid, vedelikud kui tahked. Müraks peetakse heli, mis on inimesele tajutav, kuid vastumeelne. [13]

Inimese kuulmisaisting on tingitud kuulmekile vibratsioonist, mis tekib õhurõhu kõikumisel. Helilaine võngete sagedus tingib heli kõrguse. Helisagedus f (Hz) näitab võngete arvu n ajaühikus T (s). Üks herts tähendab heli võnkumist sagedusel üks võnge sekundis. [13]

$$f = \frac{n}{T} \quad (1.1)$$

kus, f – helisagedus, Hz;
 n – täisvõngete arv;
 T – periood, s;

Kõrge sageduse puhul loetakse heli kõrgeks ning madala sageduse puhul loetakse heli madalaks. Inimese kuulmisvahemik on 20 Hz kuni 20 000 Hz. Madalama sageduse kui 20 Hz korral tajub inimene heli vibratsioonina. [13]

Helirõhu tugevust kirjeldatakse helirõhutasemega L_p , mida väljendatakse detsibellides.

$$L_p = 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) \quad (1.2)$$

kus, L_p – helirõhutase, dB;
 p – helirõhk, Pa;
 p_0 – standardne helirõhk suurusega 20 μ Pa;

1.3 Hoonete heliisolatsioon

Hoonetes levivad helid ruumide vahetarindite kaudu, mis on tingitud mürast ja vibratsioonist. Helide liik ning nende tekkeallikad on ehitusakustika juures peamisteks probleemideks, millest tuleneb hoonete ehitusmaterjalide valik. Heliisolatsiooni on peamiselt heli tõkestamine kahe piirneva korteri vahel. Ruumide, põranda või seina vahelist tarindit iseloomustatakse heliisolatsiooni omaduste järgi, mis saadakse standardiseeritud mõõtmiste tulemusel ning nende analüüsimisel. Õhu- ja löögimüra eiravad fassaadi heliisolatsiooni ja puudutavad ainult ruumide vahelisi tarindeid. [7]

Ehitiste tehniline teostus peab olema lahendatud selliselt, et seinte ja lagede heliisolatsioon jääks normide piiresse. Lahenduste hulka tuleb arvestada ka ventilatsioonišahtide ja konstruktsioone läbivat torustikku. Heliisolatsioon peab olema tagatud ka kaudse heli leviku korral läbi külgnevate konstruktsioonide. Tarindite ja

ehitusmaterjalide valikul tuleb arvesse võtta toodete akustilised omadused, mis on testitud laboratoorsetes tingimustes, arvutuslikult tõestatud või mõõdetud valmis ehitisel. [14]

1.3.1 Õhumüra isolatsioon

Õhumüra on heliallikast keskkonda leviv müra, mis toimub õhu vahendusel. Õhumüra isolatsiooni ehitise ruumide vahel hinnatakse Eestis õhumüra isolatsiooni indeksi R'_w abil. Suuruse R_w abil määratakse arvutusmeetoditel või laboratooriumis teostatud mõõdistuste põhjal, mis ei võta arvesse heli kaudset levikut [14]. Ruumidevahelist heliisolatsiooni saab väljendada mitme erineva suuruse abil, mis määratakse 1/3 oktaav sagedusribades, mille kaudu on võimalik hinnata ühe arvuga hoone helitoimivuse näitaja: $R'_w, D_{nT,w}$ või $D_{nT,w} + C$. [15]

Heliisolatsiooniindeks R on leitav katsekehale langeva helivõimsuse ning seda läbiva helivõimsuse suhte kümnenndlogaritmina, valemiga: [15]

$$R = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_2} \right) \quad (1.3)$$

kus, W_1 – katsekehale langev helivõimsus, dB;

W_2 – katsekeha läbinud helivõimsus, dB;

Tegelik heliisolatsiooniindeks R' on määratav vastuvõtvasse ruumi kiirguva helivõimsuse ja ruumi eraldavale tarindile langeva helivõimsuse suhte miinus kümnenndlogaritmina, mis on leitav valemiga: [15]

$$R' = -10 \log \left(\frac{W_{tot}}{W_1} \right) \quad (1.4)$$

kus, W_{tot} – vastuvõtvasse ruumi kiirguv koguhelivõimsus, dB;

Enamjaolt moodustub vastuvõtvasse ruumi kanduv heli mitmest helivõimsusest, mida kiirgavad ruume eraldav tarind, külgnevad elemendid ja muud komponendid. Seepärast arvutatakse indeks R' mõõtetulemuste põhjal valemiga (1.5). [15]

$$R' = L_1 - L_2 + \left[10 \log \left(\frac{S_s}{A} \right) \right] \quad (1.5)$$

kus, L_1 – keskmine helirõhutase allikaruumis, dB;
 L_2 – keskmine helirõhutase vastuvõtvas ruumis, dB;
 A – ekvivalentne helineeldumispind vastuvõtvas ruumis, m²;
 S_s – eraldava elemendi pindala, m²;

Standarditud tasemete vahe D_{nT} on heliallika ning vastuvõtva ruumi vahel ajas ja ruumis keskmistatud helirõhutasete vahe, mis on tekitatud ühe või mitme heliallika poolt, ning viidud vastavusse normatiivse järelkõlakestusega vastuvõtvas ruumis. [15]

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + \left[10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] \quad (1.6)$$

kus, T – järelkõlakestus vastuvõtvas ruumis, s;
 T_0 – järelkõlakestuse normatiivväärtus, elumajade puhul 0,5 s;

Järelkõlakestus T on leitav Sabine valemi põhjal: [16]

$$T = \frac{0,16V}{A} \quad (1.7)$$

kus, V – vastuvõtva ruumi ruumala, m³;

Taandatud tasemete vahe D_n on ajas ja ruumis keskmistatud helirõhutasete vahe kahe ruumi vahel, mis viiakse vastavusse normatiivse ekvivalentse helineeldumispinnaga vastuvõtvas ruumis. [15]

$$D_n = L_1 - L_2 - \left[10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \right] \quad (1.8)$$

kus, A_0 – normatiivne neeldumispind, mille väärtus on 10 m²;

Töös käsitletakse peamiselt tegelikku heliisolatsiooniindeksit R' . Heliisolatsiooniindeksi ja helirõhutasete vahed on omavahel seotud ning on leitavad valemitega (1.9) ja (1.10). [15]

$$D_n = R' + \left[10 \log \left(\frac{A_0}{S_s} \right) \right] = R' + \left[10 \log \left(\frac{10}{S_s} \right) \right] \quad (1.9)$$

$$D_{nT} = R' + \left[10 \log \left(\frac{C_{sab} V}{T_0 S_s} \right) \right] = R' + \left[10 \log \left(\frac{0,32V}{S_s} \right) \right] \quad (1.10)$$

kus, C_{sab} – Sabine'i konstant, 0,16 s/m;

Ühearvulised kaalutud suurused (näiteks R_w , $D_{nT,w}$, R'_w) on võimalik määrata standardis EVS-EN ISO 717-1:2021 välja toodud mõõtetulemuste ja õhuheli normväärtuste põhjal. Saadud tulemuste põhjal on võimalik hinnata õhuheli isolatsiooni. Mida suurem on õhuheli isolatsioon, seda parem on antud tarindi helitakistus. [17]

1.3.2 Löögimüra isolatsioon

Löögimüra tekib vahelagedel ja treppidel käimise tagajärjel, mis kandub teistesse ruumidesse struktuurse mürana. Struktuurne müra on konstruktsioonis tekkiv mehaaniline võnkumine, mis omakorda tekitab õhumüra. Löögimüra levikut ehitises hinnatakse taandatud löögimürataseme indeksi $L'_{n,W}$ abil. Laboratooriumis teostatud mõõdistuste põhjal saadakse löögimürataseme indeks $L_{n,w}$, mis ei võta arvesse kaudset heli ülekannet. [14]

Löögiheli taandatud helirõhutase L'_n kirjeldab löögimasina poolt tekitatud heli, mis näitab löögiheli rõhutaset vastuvõtva ruumi ekvivalentse neeldumisala standardse neeldumispinna suhtes. [18]

$$L'_n = L_i + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (1.11)$$

kus, L_i – vastuvõtvast ruumis mõõdetud löögiheli helirõhutase, dB;

A – vastuvõtva ruumi ekvivalentne neeldumisala, m²;

A_0 – standardne ekvivalentne neeldumispind, mis elumajade puhul võetakse 10m²;

Standarditud löögimüra helirõhutase L'_{nT} näitab järelkõlakeestuste suhet normatiivse järelkõlakeestuse suhtes vastuvõtvast ruumis. [18]

$$L'_{nT} = L_i - 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (1.12)$$

kus, T – järelkõlakestus vastuvõttvas ruumis, s;

T_0 – standardne järelkõlakestus, mis elumajade puhul võetakse 0,5 s;

Löögihelide iseloomustamiseks kasutatakse Eestis ühenumbriulist suurust $L'_{n,w}$. Selleks, et leida ühenumbriiline kaalutud väärtus, on standardis EVS-EN ISO 717-2:2021 välja toodud täpsemad juhised, et arvesse võtta põrandakatete mõju löögimüra isolatsioonile. [19]

1.3.3 Tehnoseadmete müra

Tehnoseadmete põhjustatud müra on hoone tehnikommunikatsioonide või seadmete poolt tekitatav müra. Tehnikommunikatsioonideks loetakse vee- ja kanalisatsiooni seadmed, kütte-, ventilatsiooni- ja jahutusseadmed, liftid jne. [14]

Püsiva ja muutuvate tehnoseadmete poolt tekitatav müra ei tohi ületada normi üksiku müraallika ega mitme müraallika koosmõjul. Lühiajaliselt toimivate müraallikate puhul ei tohi olla normtase ületatud mistahes üksiku seadme puhul. [14]

Tehnoseadme helirõhutase L_{XY} on mõõtmistulemustel saadud keskmine helirõhutase ruumis, mis on võimalik välja arvutada valemiga (1.13). [20]

$$L_{XY} = 10 \log \left(\frac{10^{\frac{L_{XY,1}}{10}} + 10^{\frac{L_{XY,2}}{10}} + 10^{\frac{L_{XY,3}}{10}}}{3} \right) \quad (1.13)$$

kus, $L_{XY,1}$ – korrigeeritud helirõhutase, mis on saadud nurga lähedal positsioonil 1 mõõtmisega, dB;

$L_{XY,2}; L_{XY,3}$ – korrigeeritud helirõhutasemed, mis on saadud kahe mõõtmisega ruumi reverberatsiooniväljas, positsioonil 2, dB;

X – kasutatud sageduskorrektioon (X võib olla A või C)

Y – iseloomustab korrigeeritud aega (Y võib olla F,S või ekvivalentne pidev tase L_{eq})

Erinevad L_{XY} mõõtmised ei ole omavahel võrreldavad, kuna mõõtmistulemused erinevad sõltuvalt kasutatavatest mõõtmisparameetritest. [20]

Tehnoseadmete standarditud helirõhutase $L_{XY,nT}$ võtab arvesse vastuvõtva ruumi järelkõla normatiive ning on arvutatav valemiga (1.14). [20]

$$L_{XY,nT} = L_{XY} - k \quad (1.14)$$

$$k = 10 \log \frac{1}{3} [(T_{500} + T_{1000} + T_{2000})/T_0] \quad (1.15)$$

kus, k – järelkõlaindeks, mis arvutatakse oktaavribades 500 Hz, 1 kHz ja 2 kHz mõõdetud järelkõlakeestuste aritmeetilisest keskmisest, dB;

Tehnoseadmete taandatud helirõhutase $L_{XY,n}$ on ekvivalentsele neeldumispinnale vastav helirõhutase vastuvõtvas ruumis ning on leitav valemiga (1.16). [20]

$$L_{XY,n} = L_{XY} - k - 10 \log \left(\frac{A_0 T_0}{0,16V} \right) \quad (1.16)$$

kus, V – vastuvõtva ruumi kubatuur, m^3 ;

T_0 – normatiivne järelkõlakeestus, mis eluhoonete puhul võetakse 0,5s;

A_0 – standardne ekvivalentne neeldumispind, mis elumajade puhul võetakse $10m^2$;

Tehnoseadmete heli ühearvulised suurused määratakse vastavalt riiklike ehitusseadustiku määruste nõuete kohaselt. Eestis kehtiva määruse kohaselt määratakse ühearvulised suurused A-korrigeeritud ja C-korrigeeritud statsionaarsetele püsiva või muutuva tasemega müraallikatele ($L_{pA,eq,T}$, $L_{pC,eq,T}$). Samuti kehtestatakse muutuva tasemega või lühiajaliselt toimivatele üksikutele müraallikatele ($L_{pA,max}$). Elu- ja magamisruumides Eestis kehtestatud tehnomüra normtasemed on välja toodud tabelis 1.1. [21] Tabelis esitatud taotlustase on soovituslik helirõhutase, mida tuleks rakendada hoonete projekteerimisel ja ehitusel. [14]

Tabel 1.1 Tehnoseadmetest põhjustatud helirõhu piirtasemed elu- ja magamisruumides [14],[21]

Helirõhutasemed	Müra piirtase (dB)	Taotlustase (dB)
$L_{pA,eq,T}$	30	25
$L_{pC,eq,T}$	50	45
$L_{pA,max}$	35	32

1.3.4 Spektrilähendustegurid

Õhumüra spektrilähendustegurid C (roosa müra) ja C_{tr} (tänavaliiklusmüra) võtavad arvesse müraallikate eri spektreid, hinnates heliisolatsioonigraafikuid üksikutes sagedusribades. Lähendustegurid ei ole ühearvulised suurused, vaid eri arvud, mille eesmärk on tagada kokkusobivus normgraafikutega. Spektrilähendustegur on võimalik arvutada valemitega (1.17) ja (1.18). [17]

$$C_j = X_{Aj} - X_W \quad (1.17)$$

$$X_{A,j} = -10 \log \sum 10^{\frac{L_{i,j} - X_i}{10}} \quad (1.18)$$

kus, j – helispektrite nr 1 (C) ja nr 2 (C_{tr}) indeks;
 $X_{A,j}$ – iseloomustab erinevust A-korrigeeritud helitasemete vahel allika- ja vastuvõturuumis, vastavalt helispektri indeksile j , dB;
 X_W – kaalutud õhumüra iseloomustava ühiku ($R_w, D_{nT,w}, R'_w$) ühearvuline suurus, dB;
 i – 1/3-oktaavriba indeks sagedusvahemikus 100 - 3150 Hz või oktaavriba indeks sagedusvahemikus 125 - 2000 Hz
 $L_{i,j}$ – spektri j nivood sagedusel i ;
 X_i – õhumüra isolatsiooni iseloomustava suuruse ($R_i, D_{nT,i}, R'_i$) sagedusel i mõõdetud tulemus, dB;

Löögimüra iseloomustamiseks üksikute madalsageduste korral kasutatakse spekterlähendustegurit C_l , mis antakse eraldi väärtusena. Tõhusate katetega massiivsete vahelagede korral on lähendusteguri väärtus ligikaudu 0, kuid ilma katteta või vähese efektiivsusega katte korral jääb väärtus vahemikku -15 dB kuni 0. Puittaladega vahelae korral on see väärtus enamjaolt positiivne. Juhul kui spektrilähendustegureid kasutatakse laiendatud sagedusvahemikus, tähistatakse tegur koos sagedusvahemikuga, näiteks $C_{l,50-2500}$. Tegureid on võimalik arvutada valemitega (1.19) ja (1.20). [19]

$$C_1 = L_{n,sum} - 15 - L_{n,w} \quad (1.19)$$

$$L_{sum} = 10 \log \sum_{i=1}^k 10^{L_i/10} \quad (1.20)$$

kus, L_{sum} – mõõdetud löögimürade energeetiliselt arvutatud summa sagedusriba k jaoks, dB;

Täpsemalt spektrilähendustegurite arvutamise ning nende hinnangulise suuruse leidmiseks vajalikud avaldised on välja toodud standardites ISO 717-1 (õhumüra) ja ISO 717-2 (löögimüra).

1.4 Eluhoonetele kehtivad heliisolatsiooninõuded erinevates riikides

Hooned tuleb projekteerida ja ehitada kasutades ehituskonstruksioone ja -tooteid, mille akustilised omadused on vastavuses nõuetega. Seeläbi saab tagada ehitise ruumides ja territooriumil nõuetele vastavad akustilised tingimused. [3]

Kasutatavate materjalide akustiliste omaduste hindamiseks on eelistatult vaja toodete laboratoorseid uuringuid. Nende puudumisel tuleks hinnata konstruktsioone ja tooteid arvutuslike meetoditega, mudelkatsetustega ning mõõtmistega valmis või poolleioleval ehitisel. Ehituslikud konstruktsioonid peavad säilitama ette antud nõudeid kogu ehitise kasutusaja. [14]

Järgnevalt uuritakse erinevates riikides kehtivad heliisolatsiooninõuded nii õhumüra kui ka löögimüra osas. Esitamiseks on valitud lisaks Eestile ka Skandinaavia riigid (Soome, Rootsi, Norra ja Taani). Töös käsitletakse ainult eluhoonetele rakendatud heliisolatsiooninõudeid.

1.4.1 Õhumüra isolatsiooninõuded

Eestis käsitleb hoonetele ja hooneosadele esitatud minimaalseid heliisolatsiooninõudeid standard EVS 842:2003 „Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest“. Standardi kohaselt peab heliisolatsioon olema tagatud ka heli kaudse ülekande korral. Eestis

sisepiiretele esitatavad heliisolatsiooninõuded on välja toodud õhumüra indeksi R'_w alusel. [14]

Tabel 1.2 Elamu sisepiiretele esitatavad õhumüra isolatsiooninõuded [14]

Ruumi tüüp	Õhumüra isolatsiooniindeks R'_w (dB)
Korterite eluruumide vahel	55
Ühe korteri ruumide vahel	43
Korterite ja üldkasutatavate ruumide vahel, kui korteri seinas on uks	39

Soomes käsitleb hoonetele esitatavaid heliisolatsiooninõudeid standard SFS 5907 „Acoustic classification of spaces in buildings“ ja Soome Keskkonnaministeeriumi määrus nr 796/2017. Standardi kohaselt on heliisolatsioon nõuded jagatud nelja erinevasse klassi – A, B, C, D. Klasside järgi kõige kõrgemaid nõudeid esitab klass A ning madalamaid klass D. Uutele eluhoonetele esitatakse miimumnõue klassiga C [22]. Ruumide vahelist õhumüra isolatsiooni käsitletakse kaalutud helirõhutasemete vahega, mille tähiseks on $D_{nT,w}$ [23].

Tabel 1.3 Elamu korterivahelise tarindile kehtivad õhuheli nõuete klassifikatsioon vastavalt standardile SFS 5907 ja määrusele nr. 796/2017.

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$R'_w + C_{50-3150}$	63	58	-	-
R'_w	-	-	55	49
$D_{nT,w}$	-	-	55	-

Rootsis on eluhoonete heliisolatsiooni miimumnõuded määratud standardiga SS 25267:2015 „Acoustics – Sound classification of spaces in buildings – Dwellings“. Standardi kohaselt on sarnaselt Soomega heliisolatsiooni nõuded jagatud nelja erinevasse klassi – A, B, C, D, kus klass D iseloomustab kõige madalamaid ning klass A kõige kõrgemaid nõudeid. [24]

Uutele eluhoonetele esitatavad minimaalsed nõuded esitatakse klass C abil. Heliklassile C vastavad miimumnõuded on esitatud dokumendis: „Boverket’s mandatory provisions and general recommendations, BBR“. Dokumendi kohaselt esitatakse helinõuded kaalutud helirõhutasemete vahega $D_{nT,w,50}$. [25]

Tabel 1.4 Eluhoonete eluruumivahelistele tarinditele kehtivate õhuheli isolatsiooninõuete klassifikatsioon vastavalt standardile SS 25267:2015

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$D_{nT,w,50}$	60	56	52	-
$D_{nT,w,100}$	-	-	-	48

Norras käsitleb hoonete heliisolatsiooni miinimumnõudeid standard NS 8175:2019 „Acoustic conditions in buildings. Sound classification of various types of buildings“. Sarnaselt Soome ja Rootsiga on heliisolatsiooni nõuded jagatud klassidesse A, B, C ja D, kus klass A iseloomustab kõrgemaid ning klass D kõige madalamaid nõudeid. Uutele eluhoonetele esitatavad miinimumnõudeid iseloomustab klass C. Õhumüra isolatsiooninõuded on esitatud õhumüra indeksi R'_w alusel. [26]

Tabel 1.5 Eluhoonete eluruumivahelistele tarinditele kehtivate õhuheli isolatsiooninõuete klassifikatsioon vastavalt standardile NS 8175:2019

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$R'_w + C_{50-5000}$	62	58	54	-
R'_w	-	-	-	50

Taanis on hoonete heliisolatsiooni miinimumnõuded sätestatud standardiga DS 490 „Sound classification of dwellings“. Õhumürale esitatavad miinimumnõuded on välja toodud õhumüra indeksiga R'_w . Sarnaselt teistele Skandinaavia riikidele, on ka Taanis jaotatud nõuded nelja erinevasse klassi: A, B, C, D, kus C kirjeldab miinimumnõudeid. Samuti kehtestab ehituslikud miinimumnõuded Taani valitsuse poolt väljastatud ehitusmäärus BR18. Õhumüra isolatsiooninõuded on esitatud kaalutud õhumüra indeksi R'_w põhjal. Heliklasside A ja B korral rakendub spektrilähendustegur $C_{50-3150}$. [27] [28]

Tabel 1.6 Eluruumi ja väljaspool eluruumi asuvate ruumide vahel kehtivate õhuheli isolatsiooninõuete klassifikatsioon vastavalt standardile DS 490:2007

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$R'_w + C_{50-3150}$	63	58	-	-
R'_w	-	-	55	50

1.4.2 Löögimüra isolatsiooninõuded

Eestis vastavalt standardile EVS 842:2003 on löögimüra korral normaliseeritud suuruseks $L'_{n,w}$. Löögimüra nõuded esitatakse vastuvõtvale ruumile juhul, kui müra lähteruumi põrandapindala on minimaalselt 2,5 m². Löögimüra indeksid peavad olema väiksemad, kui seda on järgnevas tabelis 1.7. [14]

Tabel 1.7. Elamu sisepiiretele esitatavad löögimüra isolatsiooninõuded [14]

Ruumi tüüp	Taandatud löögimürataseme indeks $L'_{n,w}$ (dB)
Korterist teise korterisse	53
Kahekorruselise korteri eluruumide vahel	63
Rõdult, trepilt, koridorist jms ruumidest, vannitoast ja WC-st teise korterisse.	58

Soome standardi SFS 5907 ning Keskkonnaministeriumi määruse nr. 796/2017 alusel hinnatakse maksimaalset eluruumide vahelist löögimüra kaalutud standardiseeritud löögiheli rõhutase ning spektrilähendusteguri summana. Uutele elamutele miinimum heliklassi C puhul soovitatakse kasutada samuti spektrilähendustegurit $L'_{n,w} + C_{L,50-2500}$. Heliklassidele vastavad maksimaalsed väärtused on toodud tabelis 1.8. [22] [23]

Tabel 1.8 Elamu korterivahelisele tarindile kehtivad löögiheli nõuete klassifikatsioon vastavalt standardile SFS 5907 ja määrusele nr. 796/2017.

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$L'_{n,w} + C_{L,50-2500}$	43	48	-	-
$L'_{n,w}$	-	-	53	58
$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	-	-	53	-

Rootsis standardi SS 25267 ja ehitusmääruse „*Boverkets byggregler*” – föreskrifter och allmänna råd, BBR” alusel hinnatakse löögimüra maksimum tingimusi kaalutud standarditud löögiheli helirõhutase $L'_{nT,w50}$ põhjal. Tabelis 1.9 on välja toodud maksimaalsed löögiheli tasemed erinevate klasside lõikes. [24] [25]

Tabel 1.9 Korteri välisest ruumist korterisse kostuvate löögihelide klassifikatsioon vastavalt standardile SS 25267 ja Rootsi ehitusmäärusele BBR

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	48	52	56	-
$L'_{nT,w}$	-	-	-	60

Norras vastavalt standardis NS 8175:2019 välja toodud nõuetele hinnatakse löögimüra tugevust kaalutud taandatud helirõhutasele $L'_{n,w50}$. Sarnaselt õhumürale on löögimüra maksimum tugevused klassifitseeritud tabelis 1.10. [26]

Tabel 1.10 Korteritevahelise löögimüra tugevuse klassifikatsioon vastavalt standardile NS 8175:2019

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$L'_{n,w} + C_{l,50-2500}$	46	50	54	-
$L'_{n,w}$	-	-	-	56

Taanis vastavalt standardile DS 490 käsitletakse löögimüra tugevust kaalutud taandatud helirõhutasemega $L'_{n,w}$, kus A ja B klassidele lisandub veel spektrilähendustegur $C_{l,50-2500}$. Taanis korteritevahelised löögimüra maksimaalsed helitugevused vastavalt helitugevusklassidele on välja toodud järgnevas tabelis 1.11. [27]

Tabel 1.11 Korterite välisest ruumist teise korterisse kostuva maksimaalse löögiheli klassifikatsioon vastavalt standardile DS 490

	Klass A (dB)	Klass B (dB)	Klass C (dB)	Klass D (dB)
$L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$	43	48	-	-
$L'_{nT,w}$	-	-	53	58

Skandinaavia riikides kasutatav klassifikatsioonisüsteem heliklassides A, B, C, D tugineb põhimõttele, kus klass A on kõige paremate tingimustega heliklass, heliklass C esitab miinimumnõuded uutele hoonetele ning heliklass D esitab nõuded vanade hoonete renoveerimisel. Heliklassid on uuringute kohaselt koostatud vastavalt tabelile 1.12. [1]

Tabel 1.12 Eluruumide Skandinaavia põhine klassifikatsiooniskeem ja heliklasside kirjeldus koos elanike ligikaudse rahulolu protsendiga

Heliklass	Klassi kirjeldus	Elanike protsentuaalne hinnang helitingimuste sobivusele	
		Head või väga head tingimused	Kehvad tingimused
A	Suurepärased akustilised tingimused, kus elanikud on väga harva häiritud helidest	> 90 %	-
B	Väga head akustilised tingimused, kus elanikud võivad vähesel määral olla häiritud helidest	70 – 85 %	< 10 %
C	Tagab rahuldavad akustilised tingimused, kus enamikud inimesed on heliisolatsiooni osas rahul	50 – 65 %	< 20 %
D	Vanemate hoonete renoveerimisel tagatavad miinimumnõuded, kus helitingimused ei ole rahuldavad	30 – 45 %	25 – 40 %

1.4.3 Eri riikides kehtivate heliisolatsiooninõuete võrdlus

Riikides kehtestatud heliisolatsiooninõuded erinevad sõltuvalt riigis kehtestatud normidele. Mitmetes riikides on kasutusel lisaks miinimumnõuetele ka heliisolatsiooni klassid. Välja toodud riikides ei ole heliisolatsioone klasse kasutusele võetud ainult Eestis.

Lisaks klasside erinevusele on mitmetes riikides kõrgemate heliklasside puhul kasutusel ka spektrilähendustegurid, millega on võimalik arvestada allika spektrimõju ühenumbrielsele väärtusele. Eestis lisa spektrinõudeid kasutusele võetud ei ole, kuid vastavalt standardile EVS 842 on soovitatav rakendada spektri lähendustegureid $C_{50-3150}$ ja $C_{i,50-2500}$ [14].

Numbriliste väärtuste võrdlus on raskendatud, sest riigiti kasutatakse erinevad heliisolatsiooni indikaatoreid, mistõttu tuleb need eelnevalt teisendada ühisele tähisele. Peamiselt õhumüra heli kirjeldavaid suurusi, tegelik heliisolatsiooniindeks R'_w ja kaalutud standardiseeritud helirõhutasemete vahe $D_{nT,w}$, on võimalik ühistele parameetritele viia valemiga (1.21). [29]

$$D_{nT,w} = R'_w - 10 \log \frac{3,1 m}{l} \quad (1.21)$$

kus, l – ruume eraldava tarindi pinnaga risti olev ruumimõõt, m;

Sarnane seos on ka löögimüra käsitlevate suuruste $L'_{n,w}$ ja $L'_{nT,w}$ vahel valemiga (1.22). [29]

$$L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \log \frac{V}{m^3} + 15 \text{ dB} \quad (1.22)$$

kus, V – vastuvõtva ruumi ruumala, m³;

Selleks, et erinevate riikide nõudeid võrrelda, tuleks riikide nõuded viia ühtsele süsteemile. *COST Action TU0901* on välja toodud teoreetilis-empiirilised seosed selleks, et igal riigil oleks võimalik oma nõuded ühistele indikaatoritele teisendada. Soovitusliku indikaatoritena on teisendamiseks kasutusele võetud suurused $D_{nT,50}$ ja $L'_{nT,50}$. [30]

Tabel 1.13 Teoreetilis-empiriilis seosed erinevate heliisolatsiooni parameetrite vahel

Heliisolatsiooni kirjeldav suurus, dB	Teisendus suurusele $D_{nT,50}$ või $L'_{nT,50}$, dB
$R'_w \geq X$	$D_{nT,50} \geq X - 1,0 + (5,2 - 0,12R'_w)$
$D_{nT,w} \geq X$	$D_{nT,50} \geq X + 5,2 - 0,12(D_{nT,w} + 1,0)$
$L'_{n,w} \geq X$	$L'_{nT,50} \geq X - 2,3 + (30,0 - 0,51L'_{n,w})$
$L'_{nT,w} \geq X$	$L'_{nT,50} \geq X + 30,0 - 0,51(L'_{nT,w} + 2,3)$

Vastavalt kohaldatud teisendustele saame erinevate riikide õhu- ja löögimüra miinimum nõuete võrdluseks suurused tabelites 1.14 ja 1.15. Saadud tulemused on ümardatud vastavalt, et muuta nõue rangemaks.

Tabel 1.14 Õhumüra isolatsiooni miinimumnõuded ja nende teisendused erinevate riikide lõikes

	Min. nõude indikaator	Min. nõude suurus, dB	Teisendus $D_{nT,50}$, dB
Eesti	R'_w	55	53 (52,6)
Soome	R'_w	55	53 (52,6)
	$D_{nT,w}$	55	54 (53,5)
Rootsi	$D_{nT,w,50}$	52	52
Norra	R'_w	55	53 (52,6)
Taani	R'_w	55	53 (52,6)

Tabel 1.15 Löögimüra isolatsiooni miinimumnõuded ja nende teisendused erinevate riikide lõikes

	Min. nõude indikaator	Min. nõude suurus, dB	Teisendus $L_{nT,50}$, dB
Eesti	$L'_{n,w}$	53	53 (53,7)
Soome	$L'_{n,w}$	53	53 (53,7)
	$L'_{nT,50}$	53	53
Rootsi	$L'_{nT,50}$	56	56
Norra	$L'_{n,w}$	53	53 (53,7)
Taani	$L'_{n,w}$	53	53 (53,7)

1.5 Heliisolatsiooni mõõtmine

Konstruksiooni heliisolatsiooni on võimalik mõõdistada kahel erineval viisil: mõõdistused labori tingimustes või platsimõõdistused reaalsel objektil. Laboris mõõdistamisel ehitatakse kaks külgnevat ruumi, mis on üksteisest täielikult isoleeritud. Neid ühendab ainult üks ühine tarind, mille osas teostatakse mõõdistused. Labori tingimustel mõõdistamisel saab infot ainult uuritava tarindi helipidavuse osas, kuna teised ruumi osad on mõõdistamisest eraldatud ning heli nende kaudu edasi kanduda ei saa. [7]

Katseruumid on sarnased kajakambritele, mistõttu helienergia on praktiliselt ideaalselt hajutatud ning heli jaotub kõikides suundades võrdsetes kogustes. Mõõtmiste ajal on helienergia võrdne jaotumine oluline eeldus, kuna katseruumi mitme mikrofoni salvestatud tasemed keskmistatakse. Sellega eemaldatakse kõik helivälja ebavõrdsused, et saada helitaseme täpsem suurus. [7]

Konstruksiooni platsimõõdistused annavad reaalsemaid tulemusi, sest objektil kindla tarindi mõõtmisel võetakse arvesse struktuuris tekkivaid koostoimeid: külgnevad ülekanded, teatud sagedusribadel tekkiv resonants ning muud helivälja efektid. Efektid avalduvad ainult kohapeal vastavalt lähte- ja heli vastuvõtva ruumi hooneosadest. Mõõtmistes võetakse seeläbi arvesse mis tahes mõju külgnevate ehituselementide kaudu (seinad, põrand, lagi). [7]

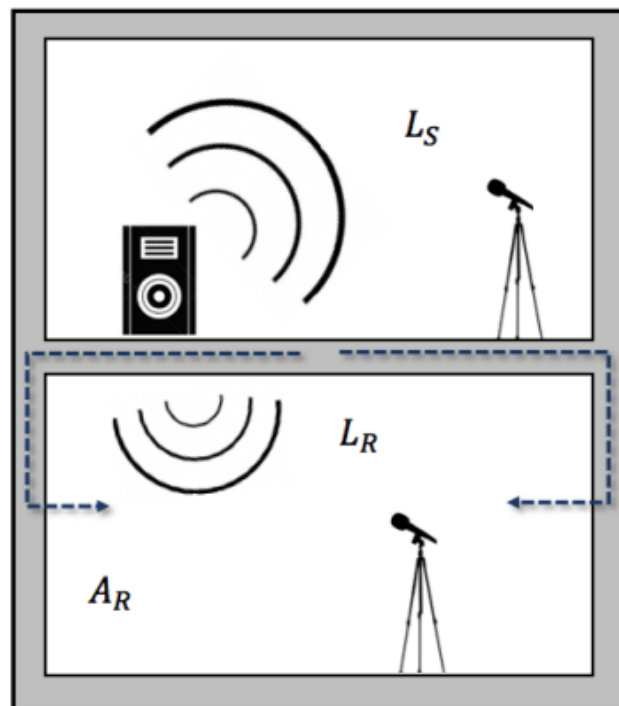
Hoone tarindite mõõdistused teostatakse 1/3 oktaavrifa filtritega, mille keskvahepea peab jääma sagedusvahemikku 100 – 3150 Hz. Juhul kui mõõdistusel on vaja lisainformatsiooni madal- või kõrgsageduse helide osas, tuleb teostada lisamõõdistusi kasutades 1/3 oktaavrifa filtreid vahemikus 50 – 80 Hz madalsageduse ning 4000 - 5000 Hz kõrgsageduse puhul. [14]

1.5.1 Õhumüra heliisolatsiooni mõõdistus

Õhumüra isolatsiooni mõõdistuseks on vajalik määratleda müraallika ruum (edaspidi lähteruum), kuhu paigaldatakse kõlar või kõlarid, ja heli vastuvõttev ruum. Müramõõdistused sisaldavad helirõhutaseme mõõdistusi mõlemas ruumis heli tekitamisel, taustamüra mõõdistusi heli vastuvõtvas ruumis, kui kõik heli tekitavad seadmed on välja lülitatud ning järelkõlakestuse mõõdistusi vastuvõtvas toas. [16]

Õhumüra mõõdistamisel tuleb kõlar paigaldada vähemalt 0,5 m kaugusele ruumi piiravatest tarinditest ning lähteruumiga ühisest tarindist peab kõlar paiknema vähemalt 1,0 m kaugusel. Mitme kõlari kasutamisel ei tohi kaks kõlarit asetseda paralleelselt ruume eraldava tarindi suhtes, kui kõlaritevaheline kaugus on väiksem kui 0,7 m. Vähemalt kahel mõõdistusel peab kahe kõlari vaheline kaugus olema 1,4 m. Juhul kui õhumüra isolatsiooni mõõdetakse läbi vahelae, peab kõlar olema põrandast vähemalt 1,0 m kõrgusel. [16]

Heli vastuvõttavas ruumis saab mikrofoni paigaldada statiivile. Samuti võib mõõdistaja mikrofoni käes hoida kindlates positsioonides, kuid mikrofoni peab olema mõõdistajast vähemalt käe siruulatuse kaugusel. Mõõdistada tuleb vähemalt viies erinevas ruumipunktis iga kõlaripositsiooni kohta. Kaks erinevat mõõttekohta ei tohi olla ühe piirdetarindi suhtes sarnase positsiooni juures ning mikrofoni asetused peaksid olema ebaregulaarselt toa suhtes. [16]



Joonis 1.1 Õhumüra isolatsiooni mõõtmine kahe korteri vahel [7]

L_S - keskmine helirõhutase allikaruumis, dB; L_R - keskmine helirõhutase vastuvõttavas ruumis, dB; A_R - ekvivalentne helineeldumispind vastuvõttavas ruumis, m²;

Heli allika positsioonidele leitakse standardile vastav helitasemete vahe või heliisolatsiooniindeks valemite (1.5) ja (1.6) abil ning vastavalt tulemustele leitakse standardiseeritud helirõhu tasemete vahe D_{nT} või tegelik heliisolatsiooniindeks R' valemitega (1.23) ja (1.24). [16]

$$D_{nT} = -10 \log \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{-\frac{D_{nT,j}}{10}} \quad (1.23)$$

$$R' = -10 \log \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{-\frac{R'_j}{10}} \quad (1.24)$$

kus, m – kõlari positsioonide arv;

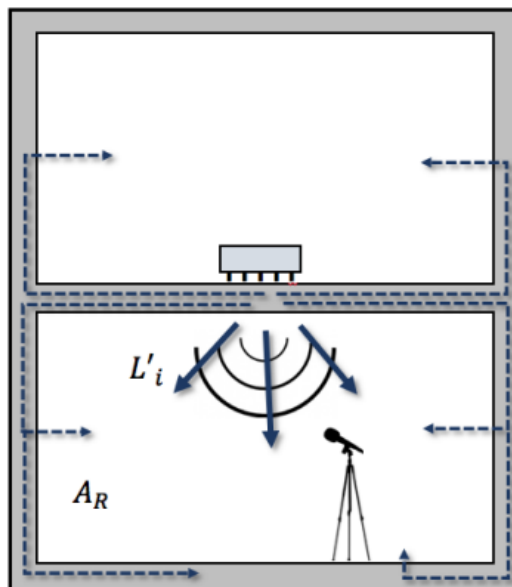
$D_{nT,j}$ – as standardiseeritud tasemete vahe kõlaripositsioonil j , dB;

R'_j – heliisolatsiooniindeks kõlaripositsioonil j , dB;

1.5.2 Löögimüra heliisolatsiooni mõõdistus

Löögimüra isolatsiooni hindamiseks kasutatakse löögiheli allikana standardset löögimasinat, millel on ritta paigutatud viis poolekilost vasarat. Vasarate keskjoonte vaheline kaugus peab olema 100 mm. Löögimasina tugede kaugus vasarate keskjoontest peab olema vähemalt 100 mm ning toed peavad olema varustatud vibratsiooni isoleerivate patjadega. Standarditud on löögimasina haamrite mõõdud, nende kukkumise kiirus, suund ja sagedus. [18]

Löögimasin tuleb mõõdistuseks asetada vähemalt nelja erinevasse juhuslikult valitud asukohta. Masina kaugus põranda servadest peab olema vähemalt 0,5 m. Talade ning sõrestike korral tuleb seade asetada 45 kraadise nurga alla talade suunas ning tuleb teostada ka rohkem mõõdistusi sõltuvalt põrandapinnast. [18]



Joonis 1.2 Löögiheli rõhutaseme mõõtmine korterite vahel standardse löögimasinaga [7]

L'_i - vastuvõtvast ruumis mõõdetud löögiheli helirõhutaseme, dB;

Möödistamiseks tuleb iga müraallika asukohta kohta kasutada sama arv mikrofoni asukohti või nende täisarvulise korrutisega. Mõõtmised tuleb läbi viia iga müraallika asukohta mikrofoni erinevates asukohtades. Juhul kui müraallikaid on vähem kui viis, tuleb iga müraallika asukohta kohta vähemalt kahes erineva mikrofoni asukohas möödistusi teostada. [18]

Selleks, et helitase ei oleks mõjutatud taustmürast, mõõdetakse vastuvõtvas ruumis taustmüra helirõhutasemeid. Sõltuvalt tulemusele ning taustamüra ja heliallika poolt koos tekitatud helirõhutasemete vahele, arvutatakse helirõhutasemete korrigeeritud väärtused vastavalt EVS-EN ISO 16283-2:2020 juhistele. [18]

Mitme heliallika asukohta korral saab arvutada standarditud helirõhu taseme L'_{nT} või löögiheli taandatud helirõhu taseme L'_n valemitega (1.25) ja (1.26). [18]

$$L'_{nT} = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{L'_{nT,j}}{10}} \right) \quad (1.25)$$

$$L'_n = 10 \log \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{L'_{n,j}}{10}} \right) \quad (1.26)$$

kus, m – löögimasina asukohtade arv;

$L'_{nT,j}$ – standardne löögiheli helirõhutase löögimasina asukohas j , dB;

$L'_{n,j}$ – löögiheli taandatud helirõhutase löögimasina asukohas j , dB;

1.5.3 Tehnoseadmete helirõhutasemete möödistus

Tehnoseadmete helimöödistuste teostamisel tuleb kasutada vähemalt kahte erinevat positsiooni. Üks positsioon peab olema heliallika ruumile lähima pinna lähedal, kus heli tundub kõige kõvem. Pinnast peab mikrofoni asetsema poole meetri kaugusel. Teine positsioon peab asuma ruumi keskosas, kus lähima heliallika kaugus ei tohi olla lähemal kui 1,5 meetrit. [20]

Möödistusi tuleb teostada vähemalt kolmel korral – positsioonil 1 vähemalt üks mõõtmine ja positsioonil 2 vähemalt kaks mõõtmist. Iga mõõtmise korral tuleb arvestada mõõdetava seadme töötsükliga ning kasutada eraldi tsüklit. [20]

Maksimaalse helirõhutaseme (L_{max}) mõõtmisel tuleb tehnoseadet käitada kas automaatselt või manuaalselt tavakasutuse piirides. Mõõtmisel määratakse helirõhutase umbes 30 sekundi pikkuse mõõtmise jooksul. Juhul kui tegu on ajas muutuva heliga (veekraani avamine ja sulgemine), tuleb helirõhutase mõõta tüüpilise käidu osas. [20]

Ekvivalentse pideva helirõhutaseme (L_{eq}) mõõtmisel tuleb arvestada katsealuse seadme tüüpilise töötsükliga ning sellel perioodil teostada mõõdistused. Juhul kui mõõdistatakse segistit, tuleb veekraan fikseerida asendisse, mis põhjustab kõrgeimat helirõhutaset. [20]

Veepaigaldiste mõõdistuse jaoks on vajalik voolaval veel valamust ära joosta. Samuti tuleks eelnevalt veenduda, kas veesurve ja vooluhulk on normide kohased. Mõõdistamisel tuleb veekraan täielikult avada, kuid kui asend ei ole maksimumis, tuleb sellekohane märge protokollis juurde lisada. Sanitaarpaigaldiste helirõhutaset ei mõõdetata üldjuhul mõõdetava seadmega samas ruumis. [20]

Ventilatsiooni mõõdistuste jaoks tuleb käsitsi käitavad süsteemid seada projektijärgsetesse õhuvoolu hulkadele ning kontrollida, et kõik ventilatsiooniavad on õiges asendis avatud. Kuna ventilatsioon töötab pidevalt ühes asendis, tuleb nii maksimaalse kui ka ekvivalentse helirõhutaseme mõõtmiseks arvestada umbes 30 sekundiga. [20]

2 ARVUTUSMEETODITE ÜLEVAADE

2.1 Üldpõhimõtted

Töös kasutatavad arvutusmeetodid põhinevad standarditel EVS-EN ISO 12354-1 ja EVS-EN ISO 12354-2. Samuti on kasutatud Soome RIL 243-1 välja toodud arvutusmudelit ning arvutuspõhimõtteid. Arvutusmeetodid põhinevad massiivsete tarindite arvutamisele, kus võetakse arvesse ka siirdehelidest tingitud helitugevusi.

2.1.1 Massiivsete tarindite heliisolatsioonivõime

Homogeensete ehituselementide puhul (näiteks betoonpaneel) on võimalik arvutada laboratoorset heliisolatsiooniindeksit R üpriski täpselt. Homogeense tarindi massi määramisel võib arvesse võtta ka mörtil ja tihedalt kinnitatud krohvi. Heliisolatsiooniindeksit R on võimalik arvutada järgnevate valemite abil: [15]

$$R = -10 \log \tau \quad (2.1)$$

$$\tau = \left(\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 * \frac{\pi f_c \sigma^2}{2f \eta_{tot}} \quad f > f_c \quad (2.2)$$

$$\tau = \left(\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 * \frac{\pi \sigma^2}{2\eta_{tot}} \quad f \approx f_c \quad (2.3)$$

$$\tau = \left(\frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \left(2\sigma_f \left[\frac{1-f^2}{f_c^2} \right]^{-2} + 2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{4f \eta_{tot}} \right) \quad f < f_c \quad (2.4)$$

kus, τ – ülekangetegur;

m' – mass pindalaühiku kohta, kg/m²;

c_0 – heli kiirus õhus (340 m/s), m/s;

ρ_0 – õhu tihedus, kg/m³;

f – sagedus, Hz;

f_c – kriitiline sagedus, leitav valemiga (2.5), Hz;

η_{tot} – üldine kaotegur;

σ – vabade paindelainete kiirgustegur;

σ_f – forsseeritud ülekande kiirgustegur;

$$f_c = c_0^2 / 1,8c_L t \quad (2.5)$$

kus, t – elemendi paksus, m;
 c_L – materjali pikilaine kiirus, m/s;

Forsseeritud lainete kiirgustegurit on võimalik leida järgnevate valemite abil. [15]

$$\sigma_f = 0,5 [\ln(k_0 \sqrt{l_1 l_2}) - \Lambda]; \sigma_f \leq 2 \quad (2.6)$$

$$\Lambda = -0,964 - \left(0,5 + \frac{l_2}{\pi l_1}\right) \ln \frac{l_2}{l_1} + \frac{5l_2}{2\pi l_1} - \frac{1}{4\pi l_1 l_2 k_0^2} \quad (2.7)$$

$$k_0 = \frac{2\pi f}{c_0} \quad (2.8)$$

kus, $l_1; l_2$ – nelinurkse elemendi servade pikkused, m;
 k_0 – lainete arv, rad/m;

Vabade lainete kiirgusteguri arvesse võtmisel kehtivad mitmed tingimused. Kiirgusteguri abitegurite arvutamise valemid on välja toodud valemiga (2.9).

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/f}}; \sigma_2 = 4l_1 l_2 \left(\frac{f}{c_0}\right)^2; \sigma_3 = \sqrt{\frac{2\pi f(l_1 + l_2)}{16c_0}} \quad (2.9)$$

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2}\right) \quad (2.10)$$

Selleks, et teada, millises sagedusvahemikus ja kuidas kiirgustegur arvesse võtta, on kasutusele võetud sageduse lisategur f_{11} . Juhul kui $f_{11} \leq f_c/2$ saab kiirgusteguri leida valemitega (2.11), (2.12) ja (2.13). [15]

$$f \geq f_c; \sigma = \sigma_1 \quad (2.11)$$

$$f < f_c; \sigma = \frac{2(l_1 + l_2) c_0}{l_1 l_2} \frac{c_0}{f_c} \delta_1 + \delta_2 \quad (2.12)$$

$$\delta_1 = \left[\frac{(1 - \lambda^2) \ln \frac{1 + \lambda}{1 - \lambda} + 2\lambda}{4\pi^2 (1 - \lambda^2)^{1,5}} \right], \text{ kus } \lambda = \sqrt{\frac{f}{f_c}}$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 0; \leftarrow f > f_c/2 \\ \frac{8c_0^2(1 - 2\lambda^2)}{f_c^2 \pi^4 l_1 l_2 \lambda \sqrt{1 - \lambda^2}}; \leftarrow f \leq f_c/2 \end{cases}$$

$$f < f_{11} < \frac{f_c}{2} \text{ ja } \sigma > \sigma_2; \rightarrow \sigma = \sigma_2 \quad (2.13)$$

Juhul kui $f_{11} > f_c/2$ on kiirgustegur võimalik määrata järgnevate võrratuste alusel. [15]

$$f < f_c \text{ ja } \sigma_2 < \sigma_3 \rightarrow \sigma = \sigma_2$$

$$f > f_c \text{ ja } \sigma_1 < \sigma_3 \rightarrow \sigma = \sigma_1 \quad (2.14)$$

$$f = f_c \rightarrow \sigma = \sigma_3$$

Kasutades üleval toodud meetodit, on võimalik arvutada erinevate lõplikult pikkade homogeensete elementide heliisolatsiooniindeksid. Mudeli põhjal on võimalik tulemused leida 1/3 oktaavi erinevatel sagedustel ning mis iseloomustavad laboratoorsetes tingimustes teostatud õhumüra isolatsiooniindeksit. Sarnast mudelit on võimalik rakendada, kui mõõdistustulemused puuduvad näiteks savitellistest, betoonist, poorbetoonist ja eri tüüpi kergbetoonist valmistatud elementide puhul. Selle hulka ei saa lugeda aukudega konstruktsioonelemente, mille aukude maht ületab 15% kogumahust, näiteks täisbetoneerimata õõnesbetoonplokkidest müüritis. [15]

Homogeensete elementide õhumüra isolatsiooniindeksit on võimalik lihtsustatult leida ka massiseaduse alusel, mille abil saab määrata heliisolatsioonivõime madalatel ja kesksagedustel. Massiseaduse kohaselt on võimalik heliisolatsiooniindeks leida valemite (2.15) ja (2.16) põhjal. [3]

$$R = 20 \log m'f - 48 \quad f < \frac{1}{2}f_c \quad (2.15)$$

$$R = 20 \log m'f + 10 \log \left[\eta \left(\frac{f}{f_c} - 1 \right) \right] - 44 \quad f \geq f_c$$

$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)m'}{Eh^3}} \quad (2.16)$$

kus, μ – Poissoni koefitsent;

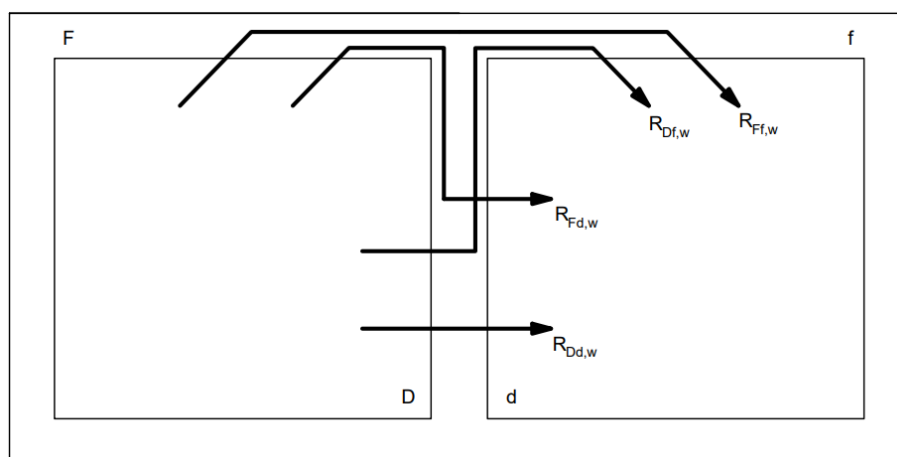
E – materjali elastsusmoodul, Pa;

h – plaadi paksus, m;

Saksamaal kasutatavate valemite põhjal on loodud massiseaduse empiirilised seosed, mille põhjal on võimalik leida homogeense tarindi ühenumbiline väärtus. Antud valem (2.17) sisaldab ka kaoteguri iseloomulikku parandust.

$$R_W = 30,9 \log \left(\frac{m'}{m_0'} \right) - 22,2 \quad (2.17)$$

Õhumüra isolatsiooni arvestamisel tuleb arvesse võtta ka kaudse heli ülekandeid. Selleks loetakse helisid, mida mööda kandub heli ühe liitekoha kaudu vastuvõtva ruumi poolsele küljele, võttes arvesse ka heli liikumise otsetee. Joonisel 2.1 on kujutatud 2D mudelil helide erinevad liikumisteed. Kahe ruumi vahelise heliisolatsiooni arvutusmeetoditel tuleb arvesse võtta 12 erinevat liikumisteed. Antud mudel on võimeline arvestama eri tüüpi konstruktsioonide helide ülekandumist. [3]



Joonis 2.1 Helide liikumisteede tähistusviisid heli ülekandel külgnevate tarindite kaudu vastavalt standardile EVS-EN ISO 12354-1

D – lähtekülje vaheseina tähistus, F – külgnevad tarindid, d – vastuvõtva ruumi vaheseina tähistus, f – vastuvõtva ruumi külgnevad tarindid, $R_{Dd,w}$ – heliisolatsiooniindeks heli otseülekandel, $R_{Df,w}$ – heliisolatsiooniindeks heli liikumisel vaheseinast külgnevasse tarindisse, $R_{Ff,w}$ – heliisolatsiooniindeks heli liikumisel külgnevast tarindist külgnevasse tarindisse, $R_{Fd,w}$ – heliisolatsiooniindeks heli liikumisel külgnevast tarindist vaheseina

Sellise mudeli arvutamisel saadakse tulemuseks välimõõtmistele vastav heliisolatsiooniindeks R'_w , mis on leitav valemi (2.18) abil. Juhul kui ruumidevaheline vahesein on kergtarindusega, võib liikumisteed D_f ja F_d arvutustest välja jätta, samas kui külgnevad tarindid on kergtarindusega, ei saa antud valemi abil leida usaldusväärset tulemust. [3]

$$R'_w = -10 \log \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-R_{Fd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^4 10^{-R_{Df,w}/10} \right] \quad (2.18)$$

kus, $R_{Dd,w}$ -heliisolatsiooniindeks heli otseülekandel, dB;

$R_{Df,w}$ -heliisolatsiooniindeks heli liikumisel vaheseinast külgnevasse tarindisse, dB;

$R_{Ff,w}$ -heliisolatsiooniindeks heli liikumisel külgnevast tarindist külgnevasse tarindisse, dB;

$R_{Fd,w}$ - heliisolatsiooniindeks heli liikumisel külgnevast tarindist vaheseina, dB;

2.1.2 Löögimüra isolatsiooni arvutamine

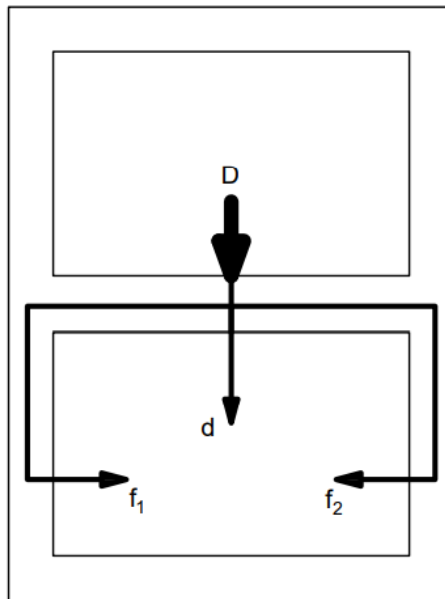
Löögimüra tekitavad vastuvõtvas ruumis helid, mis kiirguvad iga ruumis asuva konstruktsioonelemendi kaudu. Kiirguse põhjustab heli, mis antakse elemendile löögiimpulsi toimel. Ruumis asub mitmeid eri konstruktsioone ning heli liigub mööda igat erinevat elementi, seetõttu saab löögimüra leida liites kokku kõiki eri trajektoore pidi liikuvad energiad. Selle tulemusel on leitav löögiheli taandatud rõhutase L'_n . Valemiga (2.19) on võimalik arvutada löögiheli üldine rõhutase üksteiste kohal asuvate ruumide puhul. Ülekande trajektoorid on märgitud joonisel 2.2. [31]

$$L'_n = 10 \log \left(10^{\frac{L_{n,d}}{10}} + \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{n,ij}}{10}} \right) \quad (2.19)$$

kus, $L_{n,d}$ - otsesest heliülekandest tingitud löögiheli taandatud rõhutase, dB;

$L_{n,ij}$ - külgsuunalisest heliülekandest tingitud löögiheli taandatud rõhutase, dB;

n - elementide arv;



Joonis 2.2 Heliülekangetrajektooride määratlemine kahe üksteise kohal asuva ruumi korral
 d – löögiheli otsene ülekanne, D – otsene ülekangetrajektoor, Df_1 ja Df_2 – külgnev ülekangetrajektoor

Eelnevalt toodud arvutusmudel võtab arvesse ehitiste osade akustilised omadused, sealhulgas liitekohtade jäikuse, külgsuunalise leviku teed ja pörandakatted. Kuna antud meetod eeldab arvutusprogrammide kasutust, on võimalik määrata ka lihtsustatud mudeli alusel löögihelitaseme indeks võttes arvesse massiseadus. Katteta vahelae ekvivalentne löögihelitaseme $L'_{n,w,eq}$ saab määrata valemi (2.20) abil. [3]

$$L'_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \frac{m'}{m'_0} \quad (2.20)$$

Lihtsustatud mudelit on võimalik arvesse võtta juhul, kui vahelae mass on 100 – 600 kg/m². Massiseaduse põhjal on võimalik määrata löögitaseme indeks $L'_{n,w}$ valemi (2.21) põhjal, kui võtta arvesse pörandakatte parandustegur ΔL_w ja piki külgnevaid tarindeid liikuva heli tegur K , mis oleneb vahelae ja sellega külgnevate tarindite pinnamassist. Külgnevate tarindite pinnamassist arvestatakse välja kergete vahe- ja välisseinte mass ning kandvate tarindite mass, mille omasagedus jääb alla 125 Hz. [3]

$$L'_{n,w} = L'_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad (2.21)$$

kus, ΔL_w – pörandakatte löögihelitaseme parandus, dB;

K – piki külgnevaid tarindeid liikuva heli arvesse võttev tegur, dB;

Massiseaduse mudel võimaldab arvutada pehmete pörandakatetega vahelagede löögiheli indeksit. Ujuvate pörandatarindite korral tuleb kasutada täpset meetodit või hinnata vahelae tarindi löögiheliindeksit labori- ja objektimõõdistustega. [3]

Kergete vahelaetarindite löögimüra indeksi arvutamiseks ei leidu üldist heakskiitu pälvitud meetodit. Antud tarindite puhul tuleb projekteerimise käigus valida varem tõestatud lahendus, millele on teostatud objektimõõdistused ning on hinnatud mingi hoone kasutusotstarbe suhtes küllaldaseks. [3]

2.2 Arvutustarkvarad

Hoonete tarindite akustiliste tingimuste hindamiseks on loodud mitmed arvutustarkvarad, mis muudavad ruumidevahelise seina heliisolatsiooni määramise lihtsamaks. Käesolevas töös käsitletakse kahte peamiselt kasutatavat tarkvara – Insul ja CadnaB. Olemasolevate mõõdistuste põhjal teostatakse kontrollarvutused ning võrreldakse teoreetiliste arvutuste ning reaalse mõõdistuste vahet.

2.2.1 Insul

Marshall Day Acoustics poolt loodud arvutustarkvara „Insul“ on olnud arenduses juba enam kui 20 aastat. Tarkvara pidevalt uuendatakse, et sellega oleks võimalik projekteerimise faasis eeldada tarindi helipidavust. Insuli on sisseehitatud andmebaas erinevate materjalidega, kuhu on võimalik kasutajal omalt poolt materjale juurde lisada. Programmi abil on võimalik hinnata seinte, pörandate, katuste, lagede helipidavust, leides tarindi ligikaudse kaalutud heliisolatsiooniindeksi või taandatud löögimüra indeksi 1/3 oktaavribas koos spektrilähendusteguritega. [32]

Programmi kasutaja liides on tehtud võimalikult lihtsaks, et materjalide muutuse korral oleks võimalik koheselt hinnata kogu tarindi ligikaudset heliisolatsiooni väärtust. Tarkvara ei asenda reaalse platsi mõõdistust, kuid aitab ligikaudselt hinnata tarindi helipidavust. Insuli hinnanguline täpsus on ± 3 dB lihtsamate tarindite korral, kuid keerukamate liidete või mitmekihiliste konstruktsioonide puhul ei suuda tarkvara sellist täpsust tagada [32]. Massiivpörandate löögiheli puhul, kus peamine konstruktsioon on betoon, on saadud objektimõõdistuste ja arvutustulemuste vaheks $\pm 3 - 5$ dB ning

kergkonstruktsioonis põrandate puhul $\pm 3 - 6$ dB, kus põranda kogupaksus on vahemikus 250 - 350 mm. Tavapäraselt on kergkonstruktsioonis põrandate puhul Insuli programmi täpsuseks $\pm 5 - 10$ dB, kus tarindi kogupaksus on vahemikus 350 - 750 mm. Madalsageduse puhul võib erinevus olla üle 10 dB [33].

Seinakonstruktsioonide korral on programmiga võimalik hinnata kuni kolmekihilise tarindi õhumüra isolatsiooni võimet, kus igal kihil saab märkida kuni kuus materjalikihti koos nende kinnitustarvikutega. Homogeense tarindi arvutuse puhul leitakse tulemused madal- ja kesksagedustel massiseaduse alusel ning kõrgsagedustel võetakse arvesse ka koointsidentsiefekti mõju. Mitmekihiliste konstruktsioonide puhul arvutab Insul tulemuse kolmes või neljas sagedusvahemiku piirkonnas, sõltuvalt õhkvahe karkassi ja isolatsioonimaterjali olemasolust. Tulemused leitakse Sharpi ja Cremeri teooriate alustel. [32] [33]

Vahelagede heliisolatsiooni hindamisel on programmiga võimalik arvutada nii õhu- kui ka löögimüraisolatsiooni võimet. Löögimüra arvutamiseks kasutab programm läbi jäiga tarindi kiirguva löögienergia kiirgumist ühest ruumist teise. Saadud tulemus sõltub kogu tarindi massist, paindejäikusest ning materjalide summutusvõimest ja selle takistusest. Vahelagede õhuisolatsiooni indeksi arvutamisel ei võta tarkvara arvesse põrandakatte materjali. [33]

Insuli puhul tasub arvestada sellega, et programm ei suuda hinnata siirdehelide kandumist ühest ruumist teise. Selle tõttu tekivad erinevused ka arvutusliku ning reaalse mõõdistuse vahel. Programmist saadud tulemustega on võimalik hinnata ruumidevahelist heliisolatsiooni juhul kui kasutada teisi akustika programme, mis võimaldavad 3D ruumis helide levikut hinnata.

2.2.2 CadnaB

Arvutustarkvara CadnaB on Datakustik GmbH poolt loodud programm, mis on võimeline arvutama õhumüra ja löögimüra tugevust tervel majal korraga. Samuti saab programmi abil õhumüra tugevust ning levikut fassaadi kaudu. Arvutused teostatakse 1/3 oktaavribades ning tulemused väljastatakse ühenumbriksena. Programm võimaldab arvutusi teostada eri riikide standardite põhjal. [34]

CadnaB programmis on võimalik modelleerida terve hoone korraga. Seinad, ukSED ja aknad on võimalik 2D mudelis valmis teha ning muudatused esinevad koheselt ka 3D

mudelis. Kuna programm on võimeline arvutama ka 3D mudelit, siis arvestab programm ka võimalike siirdehelide ülekandumise põhimõttest, mis annab ligilähesema tulemuse võrreldes objektimõõdistustega. [34]

Programmis on võimalik valida seinatüüpideks süsteemi andmebaasis olevate baaslahenduste seast. Samuti on võimalik sisestada eelnevalt välja arvutatud tarindi parameetrid. Selleks saab eelnevalt tarindi heliisolatsiooni parameetrid välja arvutada kasutades akustikatarkvara Insul või teostades arvutused vastavalt standardile EN ISO 12354. [35]

2.3 Teoreetilised arvutused võrreldes platsimõõdistusega

Selleks, et kontrollida standardis EN ISO 12354 välja toodud arvutusmeetodite ning Insuli akustikaprogrammi õigsust, võrreldakse käesolevas peatükis varasemalt teostatud tarindi heliisolatsiooni platsimõõdistuse protokolliga. Kontrollid viiakse läbi lihtsate ning tavapärase tarindite kontrolliga. Tarindite puhul arvutatakse välja eraldi heliisolatsiooniindeks ning vahelagede juures lisaks taandatud löögimürataseme indeks.

Objektimõõdistused on teostatud akrediteeritud katselaborite poolt, kes teostavad igapäevaselt heliisolatsioonimõõdistusi vastavalt üldtunnustatud mõõtestandarditele. Antud peatükis ei nimetata objekti ega ka mõõdistusi teostanud ettevõtte nime anonüümsuse tagamiseks.

2.3.1 Tüüpiliste korterivaheliste tarindite arvutustulemused

Õhumüra isolatsiooniindeksi arvutuses kasutatakse Lisa 1 välja toodud konstruktsioonide lahendusi. Tarindid on valitud tänapäeva kortermajade enamlevinud lahenduste seas, mida kasutatakse korteritevaheliste seinte konstruktsioonides.

Õõnesbetoonplokk tarindina (TS1) on kasutatud 240 mm täisbetoneeritud õõnesplokki, mis on kahelt poolt krohvitud ja viimistletud. Täidetud õõnesplokki pinnamass on võetud vastavalt Columbia-Kivi AS poolt välja toodud betooni mahule, mis on vajalik, et müüritis täita [36]. Täitebetooni tihedus on võetud tavabetooni

tiheduse järgi standardist ISO 12354-1 [15]. Betooni elastsusmoodul on võetud betooniklassi C20/25 keskmise elastsusmooduli alusel [37] ning lihtsustuse mõttes on ühiseks viidud kogu konstruktsiooni arvutamiseks. Helipidavuse arvutamisel ei ole arvesse võetud krohvitud pinna massi.

Betoonplokk seina heliisolatsiooniindeksi arvutus vastavalt massiseadusele valemite (2.15) ja (2.16) abil.

$$R = 20 \log m'f - 48 \quad \text{kui } f < \frac{1}{2}f_c$$

$$R = 20 \log m'f + 10 \log \left[\eta \left(\frac{f}{f_c} - 1 \right) \right] \quad \text{kui } f \geq f_c$$

$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)m'}{Eh^3}}$$

Arvutuse teostamiseks kasutatud lähteandmed:

$$E = 30 \text{ GPa} = 30 * 10^9 \text{ Pa} \quad \eta_{int} = 0,005$$

$$h = 0,240 \text{ m} \quad \mu = 0,25$$

$$m' = 522 \text{ kg/m}^2$$

Kaotegur η mõjutab massiivsete kivimaterjalist seinte heliisolatsioonivõimet peamiselt sagedusel alla 500 Hz. Kuna kaotegur oleneb sagedusest, saab antud väärtuse leida valemiga (2.22).

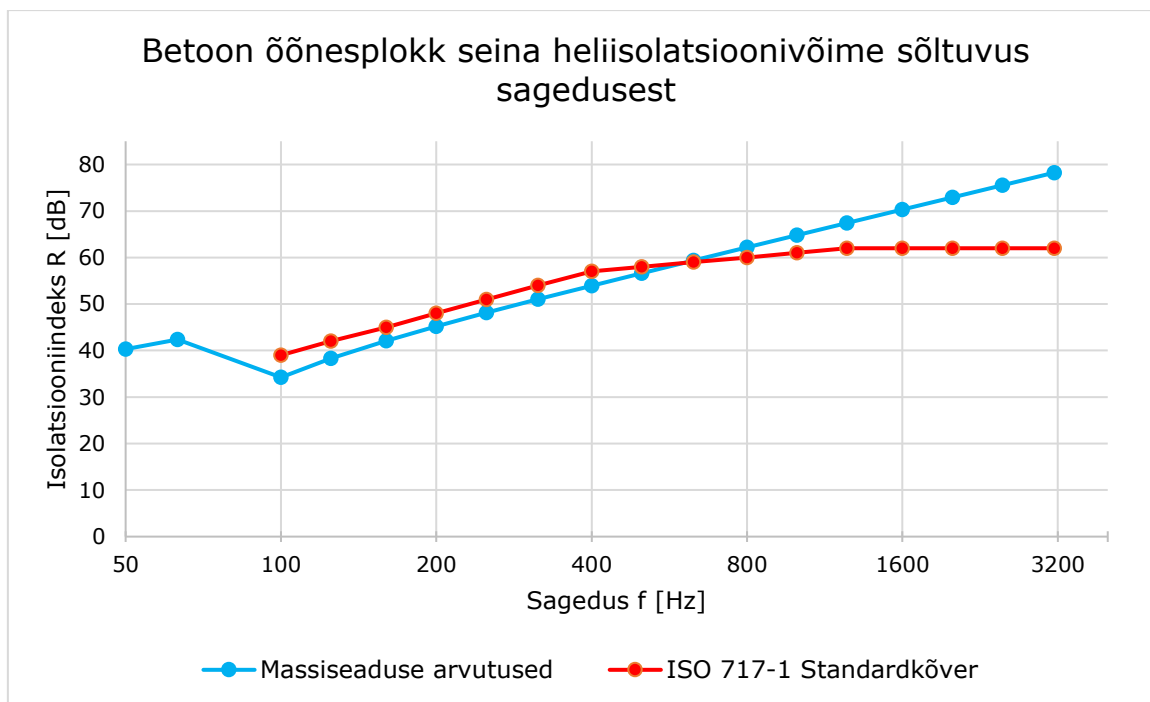
$$\eta \approx \eta_{int} + \frac{c}{\sqrt{f}} \quad (2.22)$$

kus, c – konstant, mis sõltub tüüpilisest ehitussüsteemist, müüritis- ja betoonehitiste puhul $c = 0,5$. [15]

Tabel 2.1 Betoon õõnesplokk ühearvuliste väärtuste määramine massiseaduse alusel.

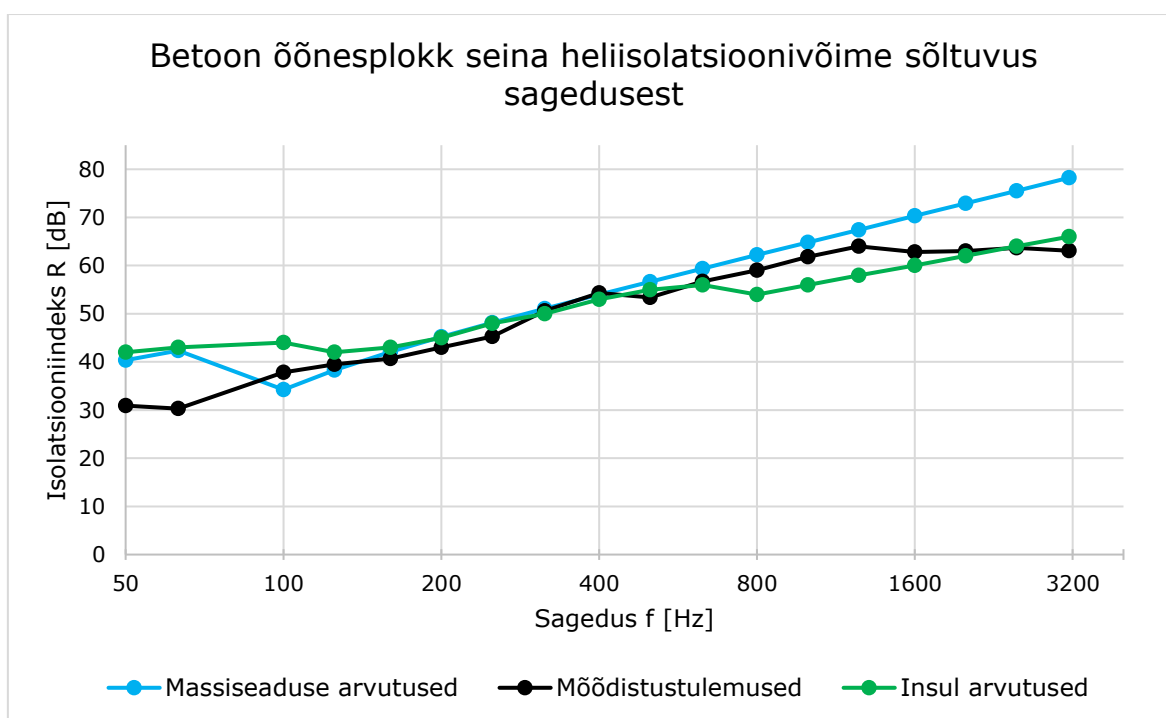
Sagedus [Hz]	R [dB]	ISO 717-1 Standardköver [dB]	Hälve [dB]
50	40,3	-	-
63	42,4	-	-
100	34,2	39	4,8
125	38,3	42	3,7
160	42,1	45	2,9
200	45,2	48	2,8
250	48,1	51	2,9
315	51,0	54	3,0
400	54,0	57	3,0
500	56,7	58	1,3
630	59,4	59	0,0
800	62,2	60	0,0
1000	64,8	61	0,0
1250	67,4	62	0,0
1600	70,3	62	0,0
2000	72,9	62	0,0
2500	75,5	62	0,0
3150	78,2	62	0,0

Selleks, et leida tarindi heliisolatsiooniindeks R, tuleb standardköverat nihutada täisarvuliselt mõõtekövera suunas kuni ebasoodsate hälvete summa on võimalikult suur ületamata 32 dB. Juhul kui hälvete summa on alla 32, siis tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvulise suuruse saab leida standardkövera 500 Hz väärtuse põhjal [17]. Antud tarindi puhul hälvete summa $24,4 \text{ dB} \leq 32 \text{ dB}$, mistõttu saame tarindi ühearvuliseks suuruseks 58 dB.



Joonis 2.3 Betoon õõnesplokki seina heliisolatsiooniindeksi ühearvulise väärtuse määramine

Antud tarindile on teostatud arvutused ka akustikaprogramm Insul abil. Samuti on teostatud helimõõdistused valmis ehitises kahe ruumi vahel, kus eraldavaks tarindiks oli täisbetoneeritud õõnesbetoonplokki müüritis. Massiseaduse ja Insuli põhjal arvatud tulemuste ning objektimõõdistuse võrdlus on leitav jooniselt 2.4. Arvustulemuste ning objektimõõdistuste ühearvuliste suuruste võrdlus on esitatud tabelis 2.2.



Joonis 2.4 Betoon õõnesplokki seina heliisolatsiooni arvutuste võrdlus objektimõõdistusega

Tabel 2.2 Õõnesbetoonploki heliisolatsioonindeksi ühearvuliste suuruste võrdlus

Ühearvulise väärtuse leidmise meetod	Heliisolatsiooniindeksi väärtus [dB]
Massiseaduse alusel leitud väärtus	$R = 58$
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus	$R_w = 57$
Objektimõõdistuste põhjal leitud väärtus	$R'_w = 59$
Tootja poolt deklareeritud väärtus	$R'_w = 58$

Raudbetoonpaneel tarindi (TS2) puhul on kasutatud 200 mm paksust betoonpaneeli, mis on kahelt poolt krohvitud ja viimistletud. Standardse paneeli jaoks on lähteandmed võetud TMB Element kodulehelt. Tootjapoolseks pinnamassiks on 462 kg/m^2 [38]. Ülejäänud arvutuseks tarvilikud suurused on saadud standardist ISO 12354-1. Lihtsustuse mõttes ei ole massiseaduse põhjal arvutuseks võetud krohvi massi.

Arvutuse teostamiseks kasutatud lähteandmed:

$$E = 30 \text{ GPa} = 30 * 10^9 \text{ Pa}$$

$$\eta_{int} = 0,005$$

$$h = 0,200 \text{ m}$$

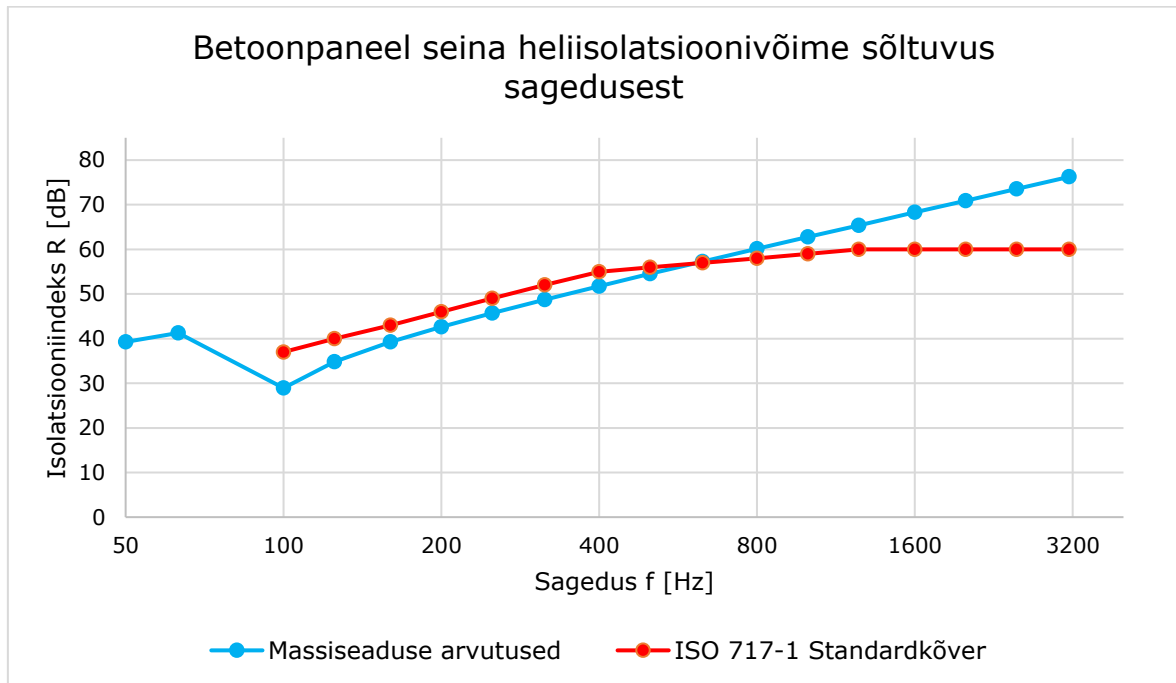
$$\mu = 0,25$$

$$m' = 462 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 2.3 Raudbetoonpaneeli ühearvuliste väärtuste määramine massiseaduse alusel

Sagedus [Hz]	R [dB]	ISO 717-1 Standardkõver [dB]	Hälve [dB]
50	39,3	-	-
63	41,3	-	-
100	28,9	37	8,1
125	34,8	40	5,2
160	39,3	43	3,7
200	42,6	46	3,4
250	45,7	49	3,3
315	48,8	52	3,2
400	51,8	55	3,2
500	54,5	56	1,5
630	57,3	57	0,0
800	60,1	58	0,0
1000	62,8	59	0,0
1250	65,4	60	0,0
1600	68,3	60	0,0
2000	70,9	60	0,0
2500	73,5	60	0,0
3150	76,2	60	0,0

Ebasoodsate hälvete summa betoonpaneel seina puhul on $31,6 \text{ dB} \leq 32 \text{ dB}$ ehk tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvuline suurus on 56 dB.

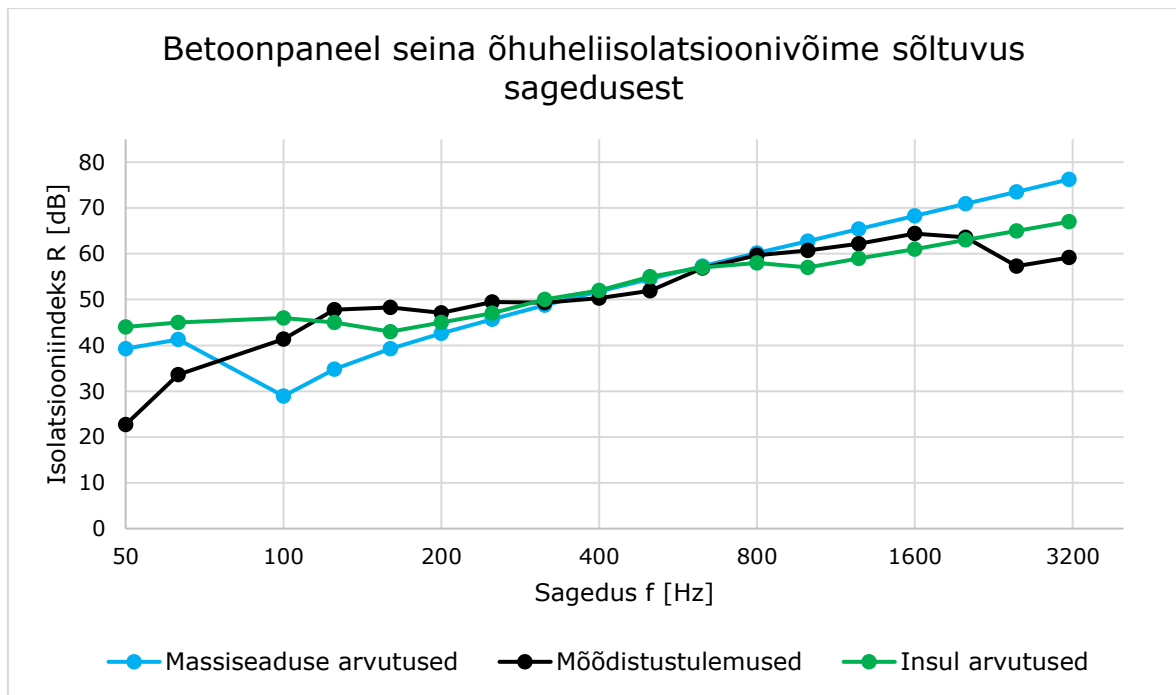


Joonis 2.5 Betoonpaneel tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvulise väärtuse määramine

Antud tarindile on teostatud heliisolatsiooniindeksi arvutused tarkvara Insul abil ning samuti ka valmis objekti mõõdistustel. Võrreldavus arvutustulemuste ja objektimõõdistuste vahel sõltub ehituskvaliteedist, sest seina liite puhul, mis ei ole teostatud vastavalt projektile, võivad lisanduda siirdehelid, mille tulemusel halveneb mõõdistustulemus. Tarindi arvutustulemuste võrdlus objektimõõdistusega vastavalt sagedusele on välja toodud joonisel 2.6. Betoonpaneeli heliisolatsiooniindeksi ühearvuliste väärtuste võrdlus on toodud välja tabelis 2.4.

Tabel 2.4 Betoonpaneel tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvuliste väärtuste võrdlus

Ühearvulise väärtuse leidmise meetod	Heliisolatsiooniindeksi väärtus [dB]
Massiseaduse alusel leitud väärtus	$R = 56$
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus	$R_w = 57$
Objektimõõdistuste põhjal leitud väärtus	$R'_w = 58$
Tootja poolt deklareeritud väärtus	$R_w = 57$



Joonis 2.6 Betoonpaneel tarindi heliisolatsiooni arvutuste võrdlused objektimõõdistusega

Keramsiitplokist tarindi (TS3) puhul koosneb tarind 250 mm Fibo 5 plokist, mis on kahelt poolt krohvitud ja viimistletud. Arvutuseks vajalikud toote andmed on saadud tootja kodulehelt [39]. Selleks, et leida müüritise pinnamassi, on arvesse võetud Fibo plokkide projekteerimis- ja kasutusjuhendis välja toodud ligikaudset mördi kulu. [40] Samuti on arvutustes arvesse võetud ka krohvitud pinna massiga, kuna antud tarind eeldab helipidavuse saavutamiseks pinna krohvimist. Krohvitud pinna arvestus on võetud toote Weber TT põhjal, mis on sobilik kiviseinte tasandamiseks [41].

Arvutuse teostamiseks kasutatud lähteandmed:

$$E = 3 \text{ GPa} = 3 \cdot 10^9 \text{ Pa} \qquad \eta_{int} = 0,01$$

$$h = 0,250 \text{ m} \qquad \mu = 0,25$$

$$\rho = 890 \text{ kg/m}^3$$

Müürisegu kulu ploki kohta – 3 kg

Plokkide kulu ruutmeetrise seina müürimiseks – 10 tk

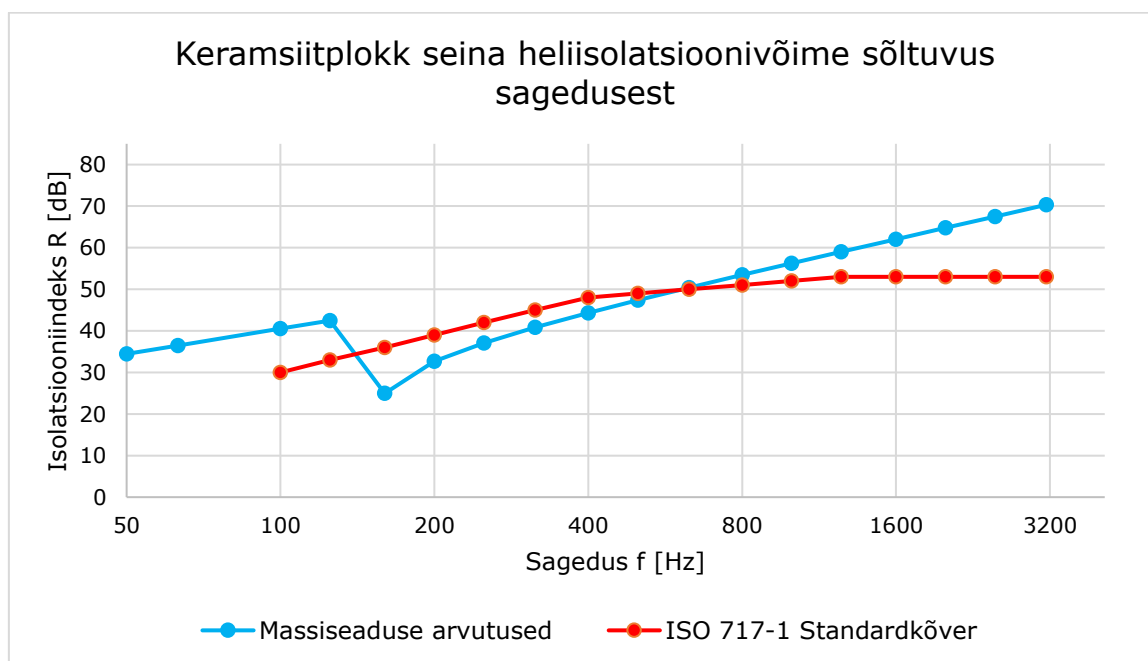
Krohvi pinnamass 10 mm krohvipaksuse korral – 14 kg/m²

Müüritise pinnamass - $890 \cdot 0,250 + 3 \cdot 10 + 14 = 266 \text{ kg/m}^2$

Tabel 2.5 Keramsiitplokist tarindi ühearvuliste väärtuste määramine massiseaduse alusel

Sagedus [Hz]	R [dB]	ISO 717-1 Standardkõver [dB]	Hälve [dB]
50	34,5	-	-
63	36,5	-	-
100	40,5	30	0,0
125	42,5	33	0,0
160	25,0	36	11,0
200	32,7	39	6,3
250	37,1	42	4,9
315	40,9	45	4,1
400	44,3	48	3,7
500	47,4	49	1,6
630	50,4	50	0,0
800	53,5	51	0,0
1000	56,3	52	0,0
1250	59,0	53	0,0
1600	62,1	53	0,0
2000	64,8	53	0,0
2500	67,5	53	0,0
3150	70,3	53	0,0

Ebasoodsate hälvete summa krohvitud Fibo 5 tarindi puhul on $31,7 \text{ dB} \leq 32 \text{ dB}$ ehk tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvuline suurus on 49 dB.

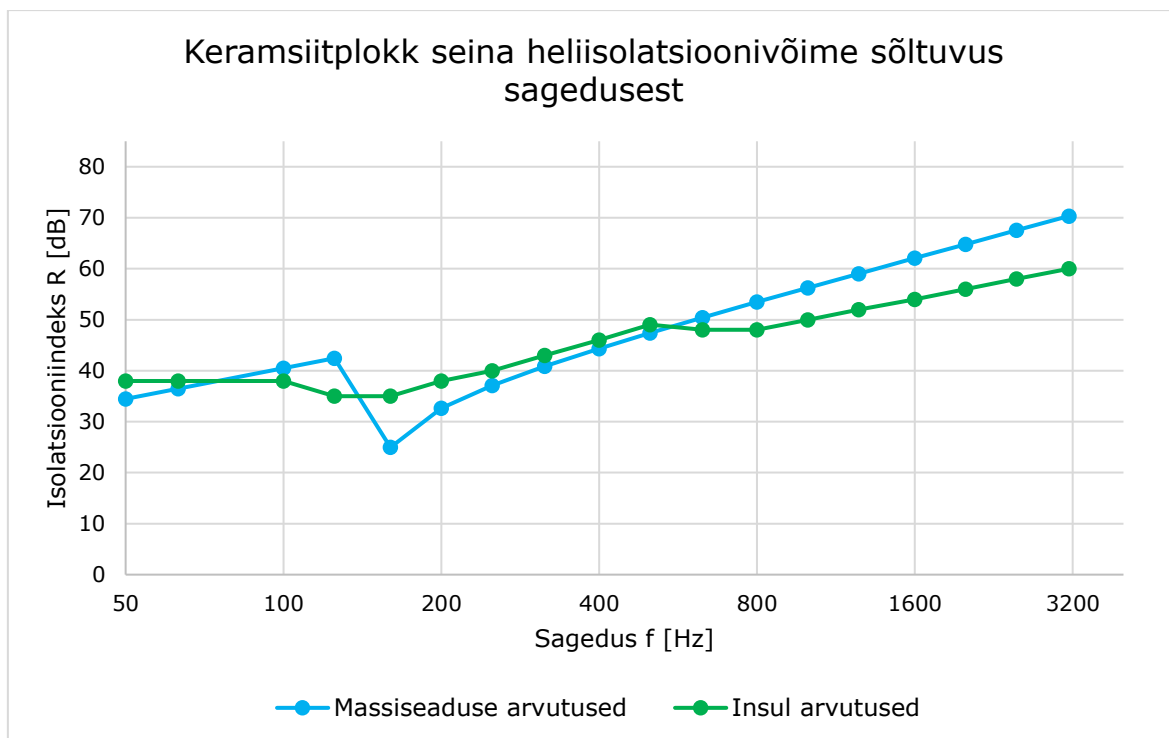


Joonis 2.7 Keramsiitplokk tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvulise väärtuse määramine

Fibo 5 tarindile on teostatud helipidavusarvutused massiseaduse ning Insuli abil. Insuli ning massiseaduse arvutused näitavad, et levinult kasutatud tarind ei vasta Eestis kehtestatud heliisolatsiooni miinimumnõuetele. Tootja poolt deklareeritud krohvitud tarindi väärtus näitab, et tarindi korrektsel välja ehitamisel on tagatud helipidavuse nõuded. Antud tulemuste vahe näitab, et õhulise tarindi korral, mis vajab helipidavuse tagamiseks krohvikihhi olemasolu, on raske usaldada arvutusmeetodite kasutust helipidavuse hindamiseks. Tarindi heliisolatsiooni võrdlused erinevate meetodite kasutamisel on leitavad tabelis 2.6 ja joonisel 2.8.

Tabel 2.6 Fibo 5 tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvuliste väärtuste võrdlus

Ühearvulise väärtuse leidmise meetod	Heliisolatsiooniindeksi väärtus [dB]
Massiseaduse alusel leitud väärtus	$R = 49$
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus	$R_w = 50$
Tootja poolt deklareeritud väärtus	$R'_w = 56$



Joonis 2.8 Keramsiitplokk tarindi heliisolatsiooni arvutustulemuste võrdlused

Poorbetoonplokk tarindi (TS4) lahendusena on kasutatud Bauroc AS poolt välja töötatud ning katsetatud konstruktsiooni. Lahendusena kasutatakse Bauroc Acoustic 150 seinaplokke topeltmüüritisena, kus kahe kiviseina vahe on 50 mm ning õhkvahe on 30 mm paksune mineraalvilla kiht. Kiviseinad ei tohi olla omavahel ühendatud müürisidemete abil. Müüritis on mõlema ruumi poolses küljes krohvitud ja viimistletud. Krohvitud pinna arvestus on võetud toote Weber TT põhjal, mis on sobilik kiviseinte tasandamiseks. [42]

Arvutuse teostamiseks kasutatud lähteandmed on võetud vastavalt müüritisplakkide tootja deklareeritud väärtustele. Kasutatud lähteandmed:

$$E = 3100 \text{ MPa} = 3,1 * 10^9 \text{ Pa} \qquad \eta_{int} = 0,0125$$

$$h_{plokk} = 0,150 \text{ m} \qquad \mu = 0,25$$

$$\rho_{plokk} = 575 \text{ kg/m}^3$$

Krohvi pinnamass 10 mm krohvipaksuse korral – 14 kg/m²

Topeltmüüritise heliisolatsiooniindeksi arvutamisel kasutatakse ideaalse mitmekihilise tarindi põhimõtet, kus kaks erinevat seina on teineteisega sidumata ning mille õhkvahe on helineelav materjal. Selleks, et leida heliisolatsiooniindeks, kasutatakse järgnevaid valemi (2.23) põhimõttel välja toodud seoseid. [3]

$$\begin{aligned} R &= 20 \log[f(m'_1 + m'_2) - 47] & f &< f_{mam} \\ R &= R_1 + R_2 + 20 \log(fd) - 29 & f_{mam} &< f < f_1 \\ R &= R_1 + R_2 + 6 & f_1 &< f \end{aligned} \quad (2.23)$$

kus, m'_1 ja m'_2 – vastavalt seina 1 ja 2 pinnamassid, kg/m²;

R_1 ja R_2 – vastavalt pindade 1 ja 2 heliisolatsiooniindeksid, dB;

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

f_1 – piirsagedus, Hz;

d – õhkvahe laius, m;

Mass-õhk-mass resonantssageduse ja piirsageduse saab leida valemite (2.24) ja (2.25) abil.

$$f_1 = \frac{c_0}{6d} \quad (2.24)$$

$$f_{mam} = 80 \sqrt{\frac{m'_1 + m'_2}{dm'_1 m'_2}} \quad (2.25)$$

Tabel 2.7 Poorbetoonplokk tarindi ühearvulise väärtuse määramine massiseaduse alusel

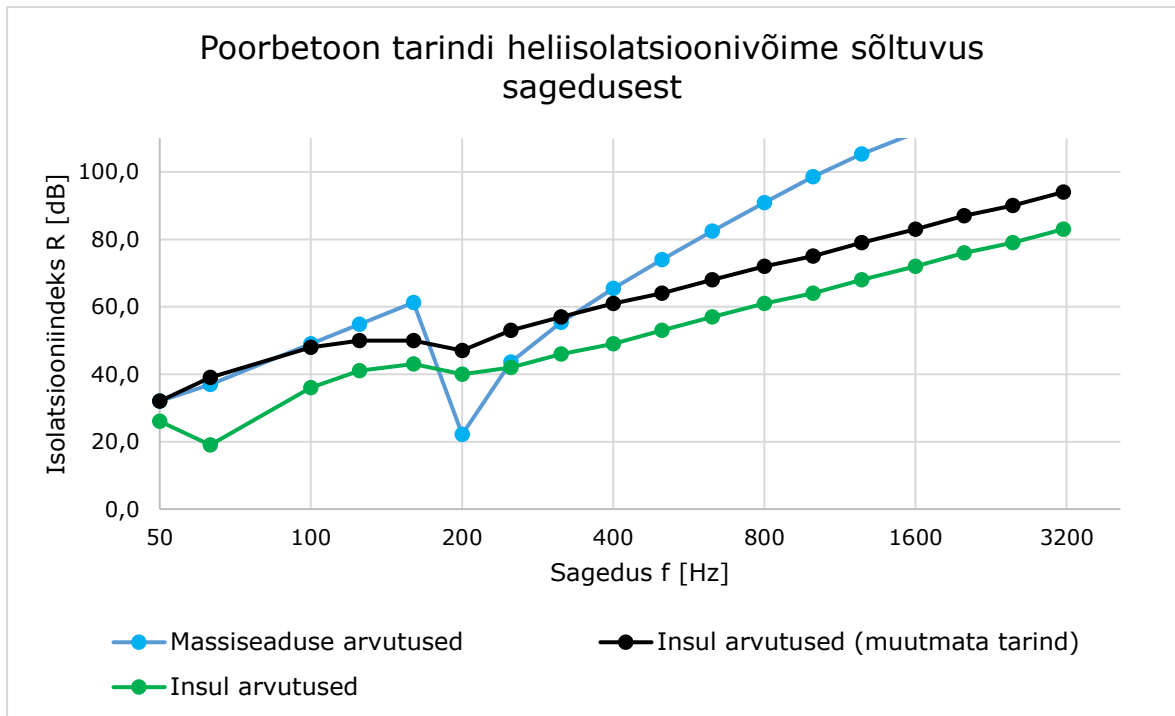
Sagedus [Hz]	R [dB]	ISO 717-1 Standardköver [dB]	Hälve [dB]
50	32,0	-	-
63	37,0	-	-
100	49,0	38	0,0
125	54,8	41	0,0
160	61,3	44	0,0
200	22,1	47	24,9
250	43,6	50	6,4
315	55,4	53	0,0
400	65,4	56	0,0
500	74,0	57	0,0
630	82,4	58	0,0
800	90,9	59	0,0
1000	98,6	60	0,0
1250	105,3	61	0,0
1600	111,5	61	0,0
2000	117,1	61	0,0
2500	122,7	61	0,0
3150	128,4	61	0,0

Ebasoodsate hälvete summa topeltnüüritise puhul on $31,3 \text{ dB} \leq 32 \text{ dB}$ ehk tarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvuline suurus on 57 dB.

Akustikaprogramm Insul arvutustulemuste korral tuleb topeltnüüritise puhul teha muudatus seoses programmi võimekusega. Selleks, et programmi abil leida tarindi hindamiseks täpsem heliisolatsiooniindeks R_w , tuleb seinad omavahel siduda kasutades kipskarkassi. Vastasel juhul erineb sidumata ja seotud nüüritiste heliisolatsiooniindeks 10 dB, mis raskendab tarindi hindamist objektiivselt. Võrdlus tootja poolt deklareeritud väärtuste ning arvutusmodelite kaudu määratud heliisolatsiooniindeksite võrdlus on välja toodud tabelis 2.8.

Tabel 2.8 Poorbetoonitarindi heliisolatsiooniindeksite ühearvuliste väärtuste võrdlus

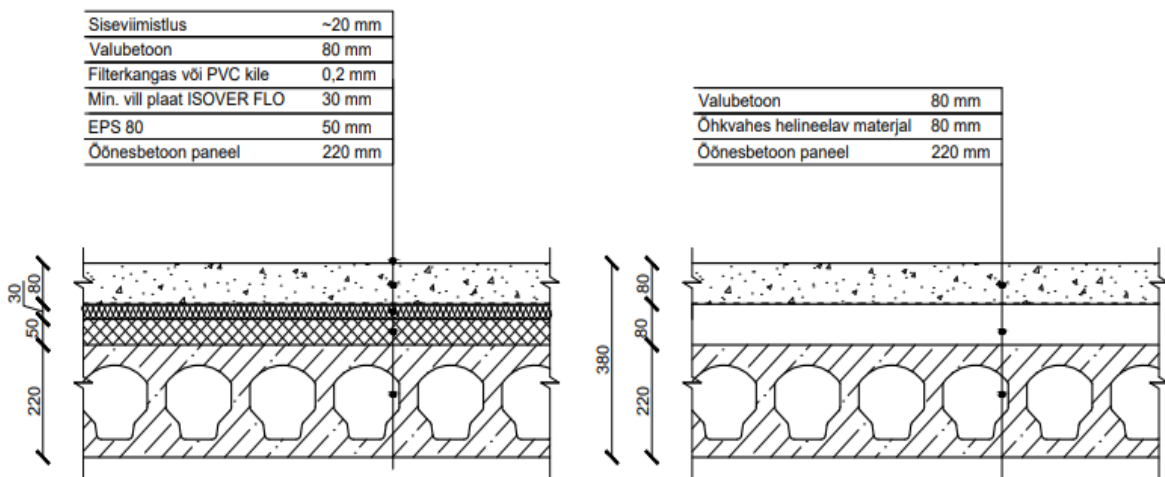
Ühearvulise väärtuse leidmise meetod	Heliisolatsiooniindeksi väärtus [dB]
Massiseaduse alusel leitud väärtus	$R = 57$
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus	$R_w = 56$
Insulis modifitseerimata tarindi väärtus	$R_w = 66$
Tootja poolt deklareeritud väärtus	$R'_w = 55$



Joonis 2.9 Poorbetoonitarindi heliisolatsiooni arvutustulemuste võrdlused

2.3.2 Vahelae heliisolatsiooni arvutustulemused

Vahelae (TVL 1) õhulisolatsiooni arvutuste kohta ei ole massiivsete tarindite puhul otsest arvutusmudelit välja toodud. Selleks, et teostada vahelae arvutused, kasutame massiivse sandwich-tarindi arvutuse põhimõtteid, kus kahe kivimaterjalist plaadi vahele on paigaldatud soojusisolatsioon. Selline arvutusmudel võtab arvesse ka selle, et kiviplaadid on omavahel klambritega ühendatud, seetõttu ei ole võimalik arvutustega täpset tulemust leida ning saab tarindi ligikaudse hinnangu. Tarindi lihtsustuse mudel on nähtav joonisel 2.10. Põrandakate jäetakse arvutusmudelist välja.



Joonis 2.10 Tegelik tarind ja ideaalse arvutusmudeli lihtsustus

Arvutuseks vajalikud andmed valubetooni jaoks on võetud avatud õppematerjalidest vastavalt betooniklassile C20/25 [37] ning õõnespaneeli jaoks E-Betoonelemendi toodete lehelt vastavalt paneelile HCE 220 [43]. Lihtsustatud arvutusmudeli põhjal koosneb tarind 80 mm paksusest valubetonist tihedusega 2300 kg/m³ ning 220 mm paksusest betoon õõnespaneelist, mille vahel on 80 mm helineeldmaterjaliga õhkvahe. Arvutuseks vajalikud lähteandmed on välja toodud tabelis 2.9.

Tabel 2.9 Vahelae tarindi lähteandmed

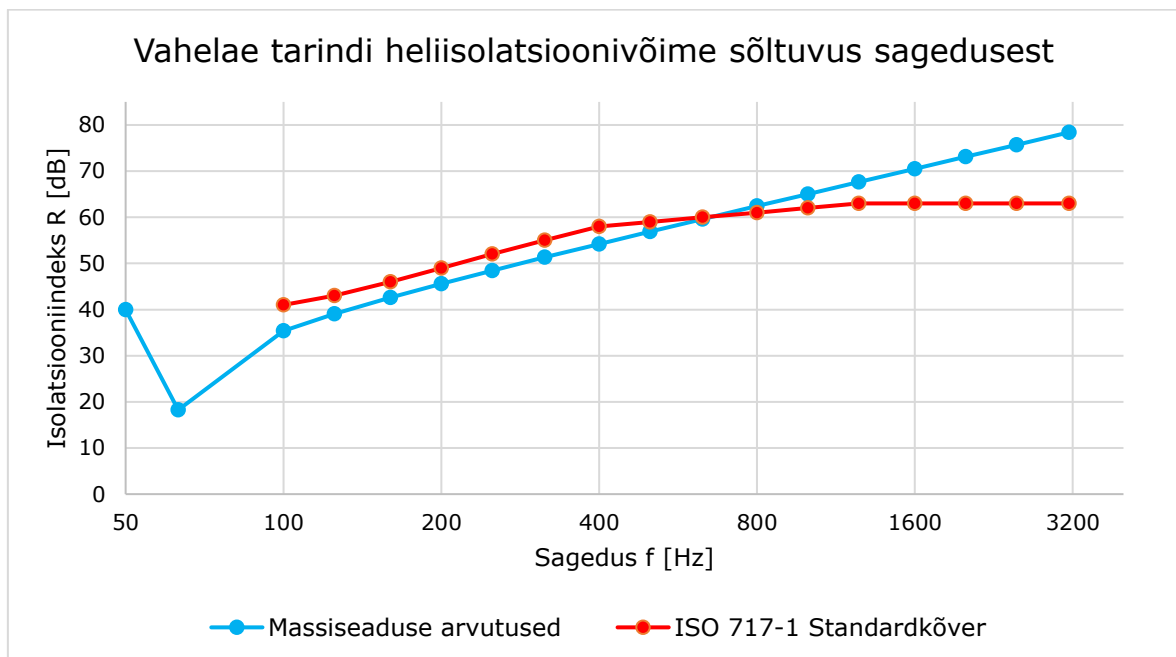
Materjal	Paksus [m]	Pinnamass [kg/m ²]	Elastsusmoodul [Pa]	Poissoni tegur	Kaotegur
Valubeton	0,080	184	30*10 ⁹	0,25	0,005
Õõnespaneel	0,220	317	30*10 ⁹	0,25	0,005

Tegu on kahe erineva pinnaga, mistõttu koitsidentsi piirsageduse väärtusena kasutame madalamat väärtust. Seega arvutustulemustes kasutatav piirsagedus on $f_c = 62$ Hz. Tabelis 2.10 on välja toodud vahelae tarindi arvutusmudeli põhjal leitud heliisolatsiooniindeksi väärtused.

Tabel 2.10 Vahelae heliisolatsiooniindeksi ühenumbriilise väärtuse määramine

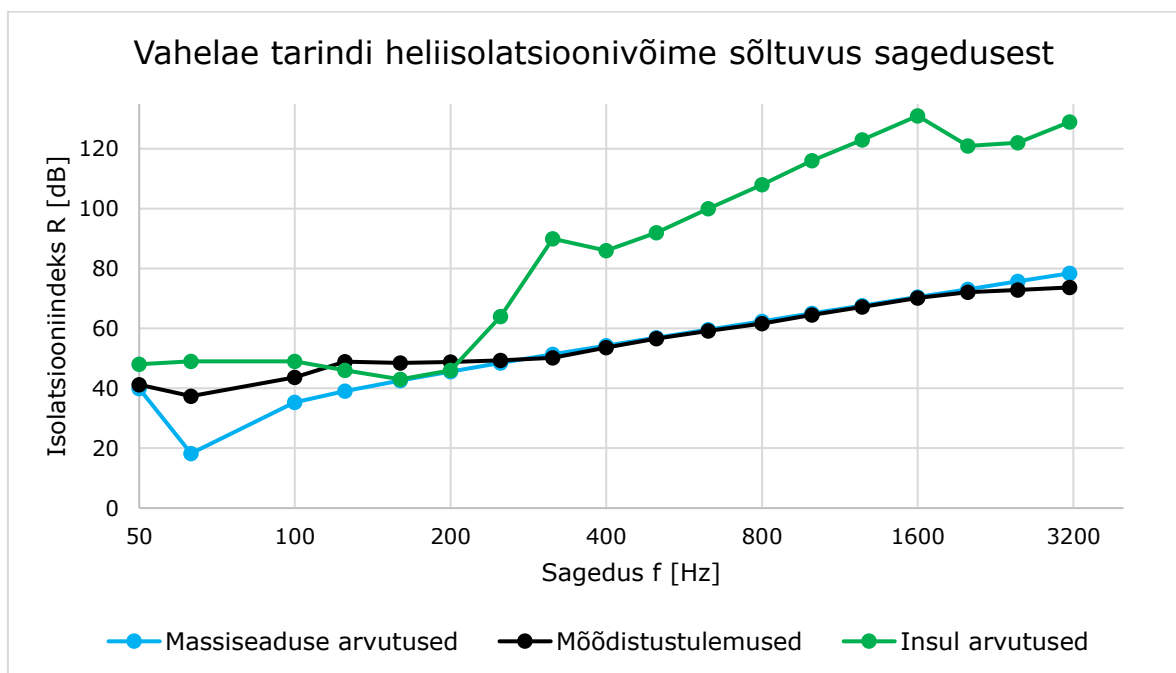
Sagedus [Hz]	R [dB]	ISO 717-1 Standardköver [dB]	Hälve [dB]
50	40,0	-	-
63	18,3	-	-
100	35,4	41	5,6
125	39,0	43	4,0
160	42,6	46	3,4
200	45,6	49	3,4
250	48,5	52	3,5
315	51,3	55	3,7
400	54,2	58	3,8
500	56,9	59	2,1
630	59,6	60	0,4
800	62,4	61	0,0
1000	65,0	62	0,0
1250	67,6	63	0,0
1600	70,5	63	0,0
2000	73,1	63	0,0
2500	75,7	63	0,0
3150	78,4	63	0,0

Massiseaduse alusel leitud vahelae tarindi heliisolatsiooniindeksiks on 59 dB, kuna ebasoodsate hälvete summa $29,9 \text{ dB} \leq 32 \text{ dB}$.



Joonis 2.11 Vahelae heliisolatsiooni ühearvulise heliisolatsiooniindeksi määramine

Tarindile teostatud heliisolatsiooniindeksite arvutusi massiseaduse ja Insuli akustikaprogrammi abil saab võrrelda ka objektil mõõdistustulemustega, mis annab parema kuvandi tarindi helipidavuse võimekusest. Võrdlustulemused on esitatud joonisel 2.12.



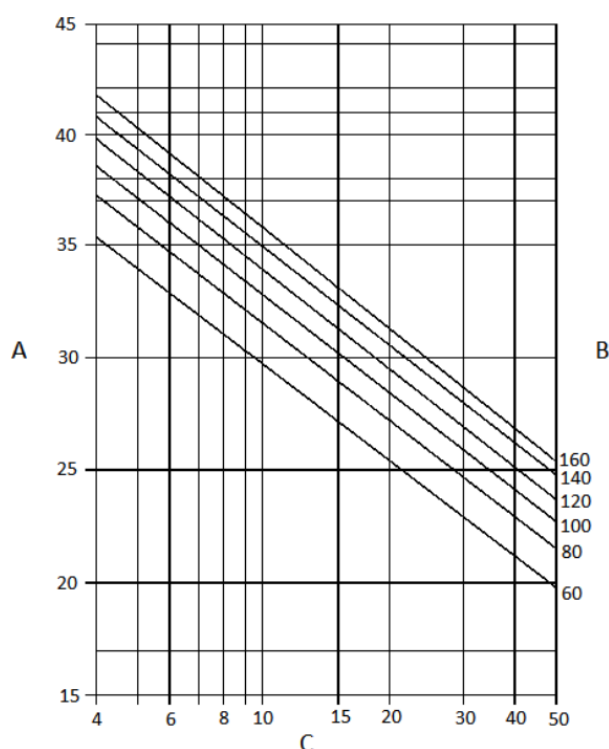
Joonis 2.12 Vahelae heliisolatsiooniindeksi arvutustulemuste võrdlus objektimõõdistustega

Jooniselt on näha, et massiseaduse põhjal arvatud tulemused on ligilähedased valmis objektile teostatud mõõdistustega. Insuli programmi abil leitud väärtused ei ole objektiivsed võrreldes neid massiseaduse ja mõõdistustulemustega, mistõttu on keeruline hinnata vahelae tarindi korral Insuli programmi täpsust. Samuti on Insuli programmi abil leitud ühenumbiline väärtus teistest tulemustest väga erinev. Õhuheli ühenumbilised heliisolatsiooniindeksi väärtused on välja toodud tabelis 2.11.

Tabel 2.11 Vahelae tarindi heliisolatsiooniindeksi ühenumbiliste väärtuste võrdlus

Ühearvulise väärtuse leidmise meetod	Heliisolatsiooniindeksi väärtus [dB]
Massiseaduse alusel leitud väärtus	$R = 59$
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus	$R_w = 71$
Objektimõõdistuste põhjal leitud väärtus	$R'_w = 61$

Löögimüra isolatsiooni leidmiseks on kasutatud Insul arvutusprogrammi ning ujuvpõranda arvutusmudelit vastavalt standardile EVS 12354-2. Akustikaprogrammi Insuli arvutustulemustes on arvestatud ka põrandakatte olemasoluga, milleks on Insuli andmebaasist valitud parkettpõrand paksusega 14 mm, mille all 3 mm paksune parketi aluskate. Samuti on teostatud arvutused ka põrandakatte olemasoluta, et leida kui palju mõjutab põrandakatte olemasolu ligikaudselt löögimüra levikut.



Joonis 2.13 Liivast/tsemendist või kaltsiumsulfaadist tasanduskihiga ujuvpõrandate löögiheli kaalutud rõhutaseme vähenemine vastavalt standardile EVS-EN ISO 12354-2 [31]

A – löögiheli kaalutud rõhutaseme vähenemine põrandakatte arvelt, ΔL_w , dB;

B – ujuvpõranda mass pindalaühiku kohta, kg/m^2 ; C – elastse kihi dünaamiline jäikus pindalaühiku kohta, MN/m^3 ;

Vahelae tarindis kasutatav elastne vahekiht koosneb 30 mm paksusest mineraalvillaplaadist Isover FLO dünaamilise jäikusega 16 MN/m^3 [44] ning 50 mm paksusest vahtpolüstüreen soojustusplaadist EPS 80. Lihtsustusena on terve vahekihi dünaamiliseks jäikuseks võetud 16 MN/m^3 . Löögiheli taandatud rõhutaseme leidmiseks kasutame eelnevalt välja toodud valemeid (2.20) ja (2.21). Ujuvpõrandate löögiheli rõhutaseme vähenemine on leitav joonise 2.13 abil.

Vastavalt tabelis 2.9 välja toodud andmetele on ujuvpõranda pinnamass suurem, kui joonisel märgitud maksimaalne suurus 160 kg/m^2 , mille tõttu ei ole võimalik joonise abil löögiheli rõhutaseme vähenemist määrata. Selleks, et leida löögiheli kaalutud rõhutaseme vähenemine, kasutame valemit (2.26).

$$\begin{aligned} \Delta L_w &= 13 \log(m') - 14,2 \log(s') + 20,8 = \\ &= 13 \log(184) - 14,2 \log(16) + 20,8 = 33,1 \text{ dB} \end{aligned} \quad (2.26)$$

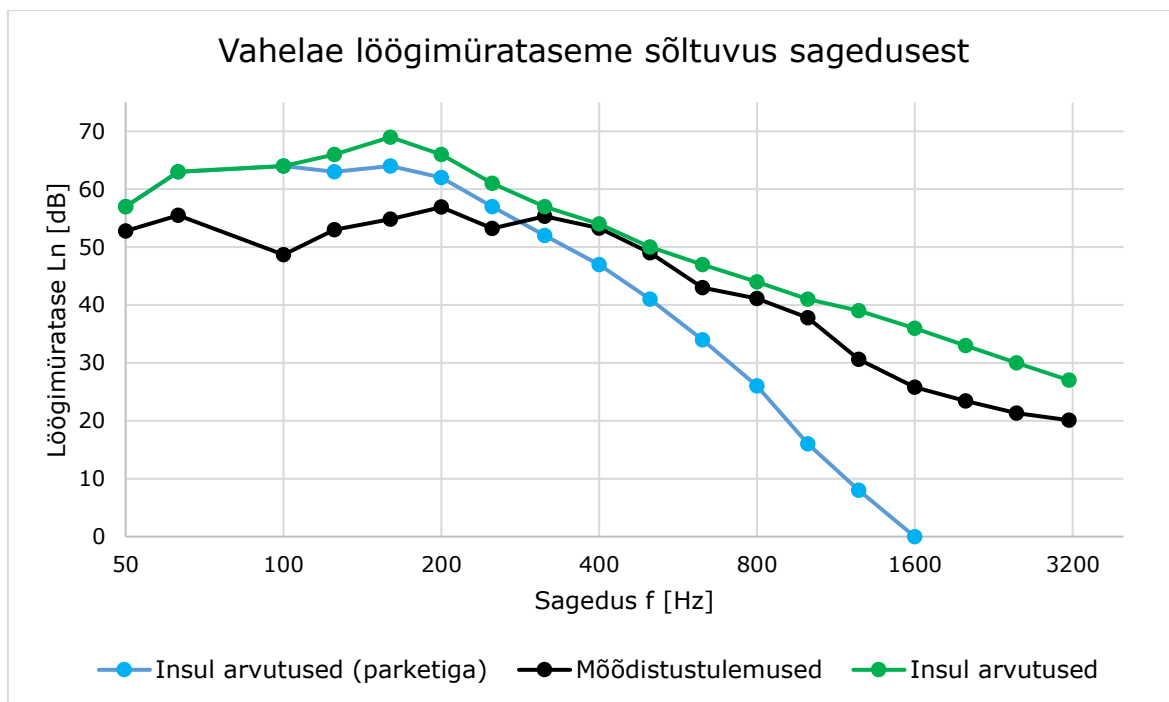
Ekvivalentse kaalutud löögiheli taandatud rõhutase on leitav valemiga (2.20), mille alusel saame tulemuseks:

$$L'_{n,w,eq} = 164 - 35 \log \frac{m'}{m'_0} = 164 - 35 \log \left(\frac{317}{1} \right) = 76,5 \text{ dB}$$

Tarindi taandatud löögiheli rõhutase on seega arvutatav valemiga (2.21). Lihtsustusena on külgsuunalise ülekande parandustegur $K = 0$.

$$L'_{n,w} = L'_{n,w,eq} - \Delta L_w + K = 76,5 - 33,1 = 43,4 \text{ dB}$$

Löögiheli rõhutase sõltuvalt sagedusele on leitud akustikaprogrammi Insul abil, kus leitud tulemused konstruktsioonile endale ning ka tarindile koos ujuva paigaldusviisiga parketile. Samuti on teostatud objektil mõõdistused, kus on vahelae konstruktsiooniks olnud eelnevalt välja toodud tarindi lahendus. Arvutusprogrammi Insul ning objektimõõdistuste löögiheli rõhutaseme võrdlus on nähtav joonisel 2.14.



Joonis 2.14 Vahelae löögimürataseme Insuli arvutustulemuste võrdlus objektimõõdistustega

Jooniselt on näha, et parketiga kaetud Insuli arvutused on erinevatel sagedustel madalama löögimüra tasemega, kui seda on põrandakatteta. Samuti alates sagedusest 300 Hz on müra taseme madalam kui objektimõõdistustel. Samas tulemused lähevad miinusesse, mistõttu ei saa seda käsitleda kui objektiivset tulemust. Saadud tulemustest leitud ühenumbriksed väärtused on leitavad tabelis 2.12.

Tabel 2.12 Vahelae löögimüratasemete ühenumbriksed väärtuste võrdlus

Ühearvulise väärtuse leidmise meetod	Löögiheli rõhutase väärtus [dB]
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus koos parkettpõranda olemasoluga	$L_{n,w} = 54$
Insul arvutusprogrammi abil leitud väärtus	$L_{n,w} = 57$
Objektimõõdistuste põhjal leitud väärtus	$L'_n = 48$
Ujuvpõranda arvutusmudeli põhjal leitud väärtus	$L'_{n,w} = 43$

Ühearvuliste löögimüratasemete väärtuste alusel on näha, et isegi kui Insuli poolt leitud väärtused parketiga tarindi puhul olid eri sagedustel madalamad kui objektimõõdistuste puhul, siis ühearvuliste väärtuste korral objektimõõdistuse tulemus oli parem, kui seda programmi abil leitud. Vahe programmi ja mõõdistuste vahel on 6 dB. Ujuvpõranda arvutusmudeli põhjal leitud kaalutud taandatud löögiheli rõhutase tulemus on 5 dB parem, kui seda mõõdistustulemuste põhjal määratud väärtus. Antud juhul on tegu lihtsustatud mudeliga, mis ei võta arvesse erinevatel sagedustel helirõhu tasemeid, mistõttu ei saa tulemust võtta objektiivselt.

2.3.3 Arvutustulemuste järelused

Akustikaprogrammi Insul ja massiseaduste põhjal leitud väärtused on erinevate lihtsate tarindite puhul ligilähedased. Samuti on arvutustulemuste ning objektimöödistuste võrdlusel märgata, et lihtsate tarindite korral on arvutamise teel võimalik tarindi ligilähedane tulemus saada. Sellest saab järeldada, et tarindite korral, kus pole mitmeid keerukaid kihte, on võimalik Insuli ja massiseaduse põhjal hinnata tarindi õhuhelipidavust küllaldase täpsusega.

Keerukamate tarindite puhul, nagu näiteks vahelae konstruktsioon, on arvutustulemuste põhjal hindamine keerukam, kuna Insuli tulemused erinevad möödistustulemustest 10 dB. Erinevused tulenevad peamiselt sellest, et Insul ei suuda hinnata elastsete kihtide korral täpselt tarindi helipidavust. Sellest tulevad erinevused nii õhuheliindeksi kui ka löögimürataseme hindamisel. Samuti ei võimalda Insul hinnata siirdehelide levikut, mis objektimöödistustel tulemusi mõjutab.

Programmis tarindit konstrueerides kasutatud Insuli enda andmebaasi erinevate materjalide hindamisel. Materjalide valikul on võetud võimalikult ligilähedane materjal, mis tarindite lahendustes ette nähtud, kuid toodete omadused ei ole võrdväärised. Sellest tulevad märgatavad erinevused arvutustulemuste ja objektimöödistuste vahel.

Arvutustulemuste ja objektimöödistuste vahel on märgata ka vahet kergplokkide konstruktsiooni korral. Arvutused ei võimalda objektiivselt hinnata krohvi mõju tarindi helipidavusele. Sellest tulenevalt erinevad heliisolatsiooniindeksite väärtused reaalsel objektil möödistatu, arvutustulemuste ning tootja poolt deklareeritud väärtuste vahel.

Selleks, et leida topeltmüüritise heliisolatsiooniindeks R_w , tuleb Insuli programmis siduda omavahel kaks eraldi müüritist. Vastasel juhul on programmi abil leitud väärtus ebatäpne, mille tõttu on tarindi ligikaudset helipidavust raske hinnata.

3 HELIPIDAVAMATE LAHENDUSTE TAGAMINE

3.1 Üldpõhimõtted

Helipidava korteri loomisel on aluseks riigis kehtestavad nõuded miinimumnõuete ($R'_w \geq 55$ dB ja $L'_{n,w} \leq 53$ dB) täitmiseks. Aluseks võetud põhitarindid täidavad Eestis kehtestatud heliisolatsiooni miinimumnõudeid ning helikindlama lahenduse aluseks on põhitarindite helipidavamaks muutmine täiendavate kihtide lisamisel. Selleks tuleb leida lahendused korteritevahelistele seintele ja vahelagedele, et tagada väiksem helide kandumine ühest ruumist teise. Seinte ja vahelagede parendamisega on võimalik parandada õhu- ja löögimüra levikut ühest korterist teise.

Lisaks tarindite parendamisele on tarvilik vähendada korteri välisuksest tulevat müra. Hetkel Eestis kehtiva nõude alusel peab helipidavus korterite ja üldkasutatavate ruumide vahel, kui tarindis on üks, olema vähemalt $R'_w = 39$ dB. Parendades tarindite helipidavust ning jättes uste helipidavuse miinimumnõuete piirile, hakkab elanikule välisukse kaudu rohkem heli kostuma [45].

Tehnosüsteemide poolt tekitava heli piiramine on sama tähtis kui tarindite helipidavamaks tegemine. Kortermajades oleva torustiku ning šahtide kaudu on võimalik helil ühest korterist teise liikuda häirides sellega naabrite igapäeva elutegevust. Samuti on torustikus liikuva vee ning naabrite veeprotseduuride tegevused kortermajade elanikele häirivad. Selleks, et antud helisid piirata, tuleb torustiku kinnitamisel ja isoleerimisel kasutada lahendusi, mis takistaksid heli levikut. [46]

Selleks, et mõista, millise helitugevusega helid meid igapäevaselt ümbritsevad, on tabelis 3.1 välja toodud helitugevused ning sellele vastavad regulaarsed toimingud. [47]

Tabel 3.1 Helitugevuse näide vastavalt igapäevategevusele [47]

Helitugevuse tase [dB]	Tegevuse näide
10	Normaalne hingamine, lehtede kahin
20	Sosistamine meetri kauguselt
30	Taustmüra vaikes kodus
40	Taustmüra tavalises kodus
50	Taustmüra tavalises kontoris, vaikne muusika, vaikne elamurajoon
55	Nõudepesumasin, pardel, elektriline hambahari, suur kontor, vihmased
60	Tavavestlus, vaikne televiisor
70	Mürarikas kontor, tihe liiklus, autosalongi heli, äratuskell, tolmuimeja, WC potis vee peale laskmine
80	Kohviveski, blender, uksekell, vali restoran
90	Traktori kabiini heli, väga tihe liiklus, muruniiduk, käsisaed

3.1.1 Helipidavamate lahenduste lähteparameetrid

Helipidavama paketi aluseks saab lugeda selliseid helipidavuse tingimusi, mille korral elanikel on akustiline mugavus. Seda iseloomustab hoone kvaliteet, kus korteriomanikud ei ole häiritud müra ning igapäevategevused kannata müra mõju all. Samuti saavad elanikud oma müra-rikkaid toiminguid teha ilma, et häiriks nendega naabrite elu. [48]

Lahenduste lähteparameetri hindamisel on kaalutusele võetud Skandinaavia riikide heliklass A parameetrid. Heliklass A rakendub korteritevahelisele õhumüra ja löögimüra isolatsioonile. Õhumürale rakendatav heliisolatsiooniindeks peab korteritevahelise heli korral olema $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB. Löögimürale rakendatav heliisolatsiooniindeks peab nõude tagamiseks olema $L'_{n,w} + C_{l,50-2500} \leq 43$ dB. Nõuded on kehtestatud vastavalt Taani standardile DS 490. [27] Taani nõuded on võetud aluseks, kuna spektrilähendustegurid on võrdväärased Eesti soovituslike lähendusteguritega.

Korteri ning üldruumide vahelise seina korral, kui tarindis asub uks on Eestis miinimumnõue $R'_w = 39$ dB. Selleks, et rakendada Skandinaavia riikide heliklass A, tuleb kasutada lahendusi, kus tarindikompleksi heliisolatsioon on $R'_w + C_{50-3150} \geq 44$ dB vastavalt standardile SFS 5907. [22]

Eestis tehnoseadmetele rakendatav müra normtase vastavalt A-korrigeeritud statsionaarsele püsiva või muutuva helitasemega müraallikale on $L_{pA,eq,T} \leq 30$ dB ning lühiajaliselt toimivatele müraallikatele $L_{pA,max} \leq 35$ dB. Selleks, et tagada heliklass A tingimused, tuleb tehnoseadmete heli vähendada statsionaarsele müraallika puhul helitasemele $L_{pA,eq,T} \leq 24$ dB. Samuti tuleb rakendada meetmed lühiajalistele heliallikatele, et müratase vastaks tingimusele $L_{pA,max} \leq 29$ dB. Nõuded määratud standardi SFS 5907 alusel. [22]

Heliklassi A rakendamisel on kaalutlusele võetud inimeste rahulolu uuringud, mille põhjal elanikud hindavad heliisolatsioonivõimekust vähemalt 90% juhtudest väga heaks. Tabelis 1.12 on välja toodud inimeste rahulolu vastavalt erinevatele heliklassidele. Selleks, et luua 100% rahulolu elanike seas, tuleks arvestada iga elaniku eelistuste ja tegevustega, mis vastaks nende ootustele [7]. Selliselt hoonete ja korterite ehitamine ei ole optimaalne, mistõttu täieliku heliisolatsiooni saavutamine on raskendatud.

3.2 Vaheseinte õhumüra isolatsiooni tagamine

Korteritevaheliste tarindite helipidavamaks muutmisel on kasutatud peatükis 2.3 välja toodud tüüpseid tarindeid. Selleks, et tagada heliklassile A vastav heliisolatsiooniindeks $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB saab tarindeid muuta, lisades tüüpsele seinale kipskarkassil variseina või muutes müüritise konstruktsiooni. Samuti tuuakse selles peatükis välja tarindite lahendused kasutades monteeritavaid seinapaneele, mis ei vaja helipidavuse tagamiseks lisakihti. Parendatud tarindite lahendused on välja toodud Lisa 2 lõigetena. Tarindi helipidavuse hindamiseks on arvutused sooritatud akustikaprogramm Insuli abil.

3.2.1 Vaheseinte parendamine variseina lisamise meetodil

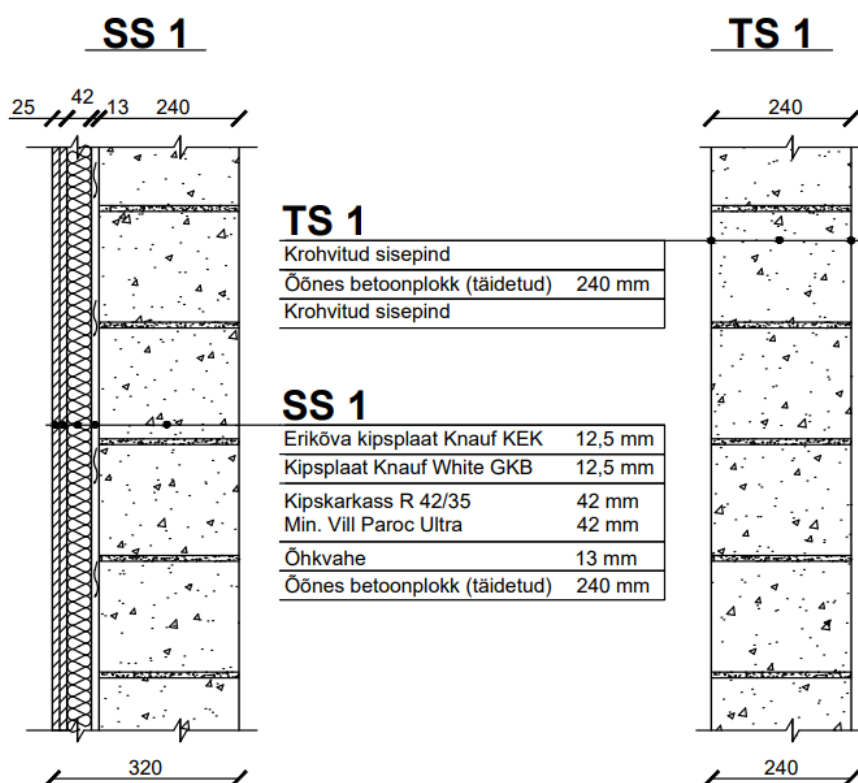
Korteritevaheliste seinte heliisolatsiooni parenduseks kasutatakse variseina lisamise meetodit. Olemasolevale konstruktsioonile lisatakse juurde karkassil topelt kipsplaatidega sein. Kipsplaatseina karkass ei tohi puutuda vastu kandvat konstruktsiooni, vahele peab jääma täiendav õhuvahe. [42]

Heliisolatsiooni parendamiseks on kasutatud karkassil R42/35 topelt kipsplaatseina, millest ruumipoolne kipsplaat on erikõva kipsplaat Knauf KEK ning sisemine standardne kipsplaat Knauf White [49]. Karkassi vahele tuleb paigaldada mineraalvill Paroc Ultra paksusega 42 mm [50]. Variseina ja kandva tarindi vahele tuleb jätta 13 mm laiune õhkvahe. Kuna 42 mm laiune karkass vajab kinnitust põhikonstruktsiooni külge, tuleb kasutada kipskarkassi ja seina vahelise kinnitusena akustilist U-klambrit, mis on varustatud kummipuksiga [51]. Variseina lisamisel muutub tarindi laius 80 mm laiemaks.

Antud lahendust on kasutatud täidetud õõnesbetoonplokk tarindi (TS1) ja betoonpaneel tarindi (TS2) helipidavuse parandamiseks. Parendatud lahenduste tähised vastavalt SS1 õõnesplokk tarindi ning SS2 betoonpaneeli korral. Vastavalt Insulis teostatud arvutusele on tabelis 3.2 välja toodud tarindite hinnangulised heliisolatsiooniindeksid R_w koos spektrilähendusteguriga $C_{50-3150}$.

Tabel 3.2 Variseina lisamisel saavutatud tarindite helipidavus

Tarindi tähis	R_w [dB]	$C_{50-3150}$ [dB]	$R_w + C_{50-3150}$ [dB]
SS 1	68	-3	65
SS 2	68	-3	65

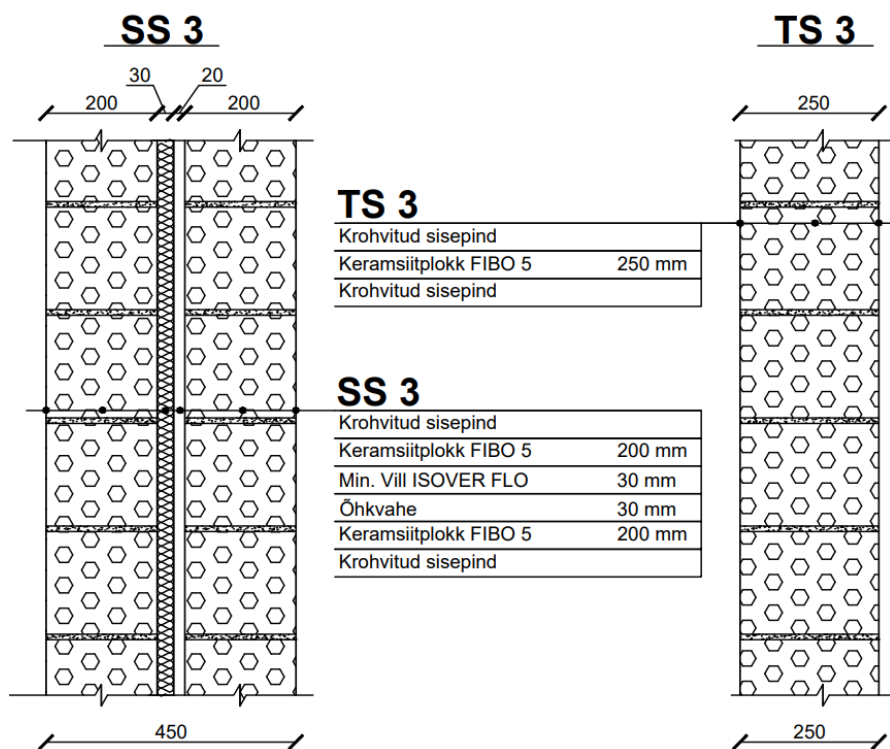


Joonis 3.1 Õonesbetoonplokk konstruktsiooni ja variseina abil parendatud tarindi lõiked

3.2.2 Vaheseinte parendamine konstruktiivse muutmise teel

Konstruktiivse meetodi teel tarindi parendamine eeldab müüritise müürikivide ristlõike muutmist ning lisakihi lisamist. Lisakihiks saab olla müüritise lisamine topeltmüüritis lahenduse jaoks või variseina ehitamine mõlemale poole müüritist. Välja toodud lahendusi rakendatakse keramsiitplokk tarindi TS 3 ja poorbetoonplokk tarindi TS 4 helipidavuse parendamiseks.

Keramsiitplokk tarindi (TS 3) helipidavuse parandamiseks muudame olemasoleva 250 mm paksuse müüritisploki 200 mm Fibo 5 ploki vastu. Selleks, et parandada olemasoleva tarindi helipidavust, lisatakse teine müürikiht 200 mm Fibo 5 ploki. Topeltmüüritise vahele jäetakse 50 mm laiune õhkvähe, milles on 30 mm paksune mineraalvilla kiht. Korteritevahelise tarindi mõlemad küljed tuleb lisaks krohvida 10 mm paksuse kivimüüritis krohviga Weber TT [41]. Helipidavama tarindi täheks vastavalt tüüpseinale on SS 3 ning on kuvatud joonisel 3.2. Akustikaprogramm Insul abil arvutatud tarindi heliisolatsiooniindeks R_w koos spektrilähendusteguriga $C_{50-3150}$ on toodud tabelis 3.3. Parenduse tulemusena muutub tarindi kogulaius 200 mm suuremaks.

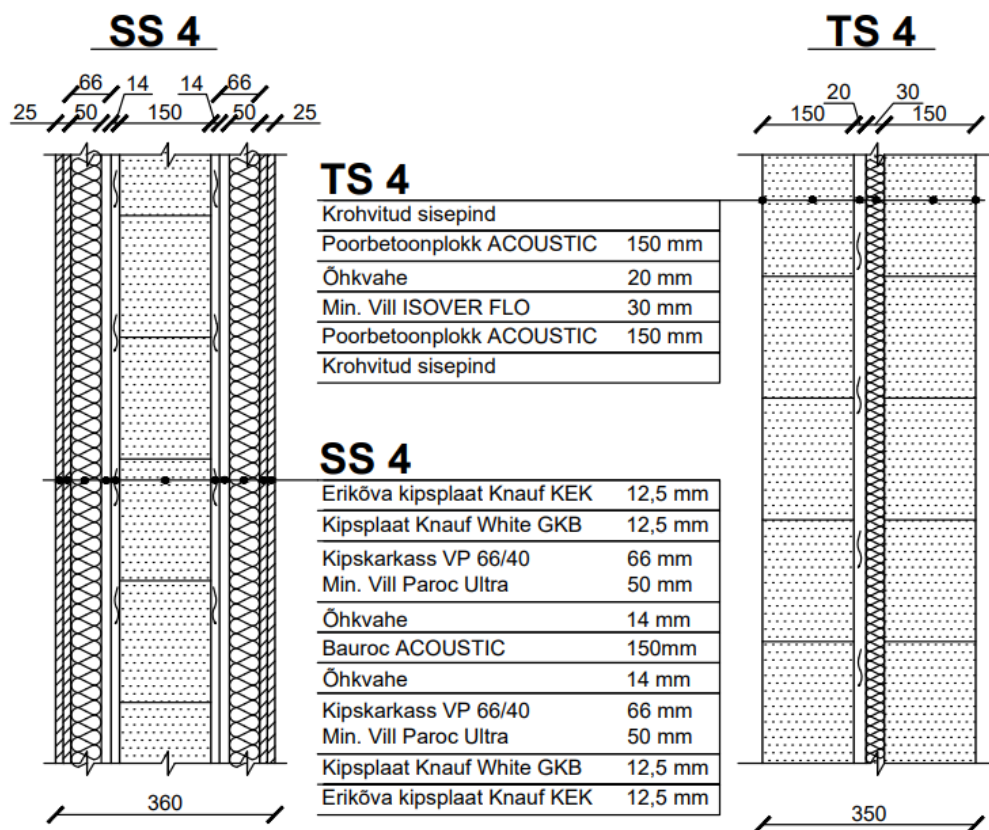


Joonis 3.2 Keramsiitplokki tüüptarindi ja parendatud tarindi lõiked

Poorbetoonplokki tarindi (TS 4) helipidavuse parendamiseks tuleb kasutada ühekordset müüritist Acoustic 150, mille mõlemale poolele on täiendavalt ehitatud eraldi topelt-kipsplaatidega sein. Kipsplaatseina karkass ei tohi puutuda vastu plokki sein, vaid vahele peab jääma täiendav õhuvähe. Mitmekihilise seina erinevaid kihte ei tohi kinnitada teineteisega. Reaalsetel objektidel, mille ruumidevaheliseks tarindiks on olnud antud lahendus on mõõdetud heliisolatsiooniindeksi väärtuseks $R'_w = 60$ dB, kuid on ka objekte, kus tarindi heliisolatsiooniindeksiks on saadud $R'_w = 69$ dB. [42]

Topelt-kipsplaat seina moodustavad erikõva kipsplaat Knauf KEK ja tavaline kipsplaat Knauf White GKB [49]. Kipsplaatide karkassina tuleb kasutada 66 mm laiust kipskarkassi, mis on täidetud 50 mm paksuse mineraalvilla kihiga Paroc Ultra [50]. Kipskarkassi ja müüritise vahele tuleb jätta täiendav õhkvähe laius 14 mm. Tarindit ei tohi kasutada kandva seinana ning on märgitud tähisega SS 4. Programmi Insuli abil arvutatud tarindi heliisolatsiooniindeks R_w koos spektrilähendusteguriga $C_{50-3150}$ on toodud tabelis 3.3. Parendatud lahenduse korral muutub tarindi kogulaius 10 mm suuremaks.

Insuli arvutuste teostamisel on mitmekihilise tarindi erinevad kihid omavahel seotud karkassiga, sest programm ei võimalda objektiivselt hinnata õhkvähega tarindi helipidavust.



Joonis 3.3 Keramsiitplokk tüüptarindi ja parendatud tarindi lõiked

Tabel 3.3 Konstruktiivse muutmise teel saavutatud tarindite helipidavus

Tarindi tähis	R_w [dB]	$C_{50-3150}$ [dB]	$R_w + C_{50-3150}$ [dB]
SS 3	66	-4	62
SS 4	69	-15	54

3.2.3 Homogeensete tarindite lahendused

Homogeensete lahenduste aluseks on raudbetoonist põhikonstruktsioonid, mille korral ei ole vaja lisada tarindile lisakihte heliklass A nõuete saavutamiseks. Sellised tarindid on näiteks monteeritavad betoonpaneelid või monoliitsed betoonseinad, mille heliisolatsiooniindeksi R leidmiseks saab kasutada valemeid (2.15) ja (2.16). Betoontarindi põhikonstruktsiooniks on valitud 300 mm paksune betoonpaneel tähisega SS 5. Arvutuse teostamiseks kasutatud lähteandmed:

$$E = 30 \text{ GPa} = 30 * 10^9 \text{ Pa}$$

$$\eta_{int} = 0,005$$

$$h = 0,300 \text{ m}$$

$$\mu = 0,25$$

$$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 3.4 Betoonseina ühearvulise väärtuse ja spektriteguri $C_{50-3150}$ määramine

Sagedus [Hz]	R [dB]	ISO 717-1 Standardköver [dB]	Hälve [dB]	Spektri tegur $C_{50-3150}$ [dB]	$L_i - R_i$ [dB]
50	43,5	-	-	-40	-83,5
63	25,7	-	-	-36	-61,7
100	39,3	44	4,7	-33	-72,3
125	42,8	47	4,2	-29	-71,8
160	46,4	50	3,6	-26	-72,4
200	49,3	53	3,7	-21	-70,3
250	52,2	56	3,8	-19	-71,2
315	55,0	59	4,0	-17	-72,0
400	57,9	62	4,1	-15	-72,9
500	60,6	63	2,4	-13	-73,6
630	63,3	64	0,7	-12	-75,3
800	66,1	65	0,0	-11	-77,1
1000	68,7	66	0,0	-10	-78,7
1250	71,3	67	0,0	-9	-80,3
1600	74,2	67	0,0	-9	-83,2
2000	76,8	67	0,0	-9	-85,8
2500	79,4	67	0,0	-9	-88,4
3150	82,1	67	0,0	-9	-91,1

Tabelis 3.4 on leitud nii heliisolatsiooniindeksi R kui ka spektrilähendusteguri $C_{50-3150}$ määramiseks leitud tegurid. Massiseaduse alusel leitud betoonpaneeli helipidavuseks on $R = 63$ dB, kuna ebasoodsate hälvete summa $31,3$ dB ≤ 32 dB. Spektrilähendusteguri $C_{50-3150}$ määramiseks tuleb kasutada valemite (1.17) ja (1.18) abi, mille tulemusel spektrilähendusteguri väärtus $C_{50-3150} = -4$ dB.

Tarindile on teostatud arvutused ka akustikaprogramm Insul abil. Lisaks heliisolatsiooniindeksile R_w on programmi abil leitud ka spektrilähendustegur $C_{50-3150}$. Insuli ja massiseaduse abil leitud väärtused on välja toodud tabelis 3.5.

Tabel 3.5 Betoontarindi heliisolatsiooniindeksi ühearvuliste väärtuste võrdlus spektrilähendusteguriga

Arvutusmeetod	Heliisolatsiooniindeks [dB]	$C_{50-3150}$ [dB]	$R_w + C_{50-3150}$ [dB]
Insul	$R_w = 65$	-2	63
Massiseadus	$R = 63$	-4	59

Tulemuste põhjal on märgata, et massiseaduse põhjal leitud väärtus ei vasta tingimustele $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB. Samuti on antud tarind üledimensioneeritud, võttes arvesse tüüpset korterelamut, mistõttu ei ole sellise tarindi kasutamine helipidavuse tagamiseks ratsionaalne.

3.3 Vahelae heliisolatsiooni tagamine

Vahelae tarindi heliklassi A tagamiseks kasutatakse tarindi TVL 1 põhikonstruktsiooni, millele lisatakse täiendav heliisoleeriv ripplagi, mis parandab tarindi õhu- ja löögimüra isolatsiooni. Selleks, et tagada heliklassi A nõue, peab vahelae tarind vastama õhuheli korral helipidavusnõudele $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB. Löögiheli korral peab vahelagi vastama nõudele $L'_{n,w} + C_{l,50-2500} \leq 43$ dB.

Varilagi kinnitatakse otse kandvale õõnespaneeli külge spetsiaalse Knaufi kipskarkassi otsekinnitusklippiga [52]. Kipskarkassina kasutatakse kipskarkassi 60/27, et vähendada ruumi kõrguse kadu. Karkassi vaheline ruum täidetakse 30 mm paksuse mineraalvill plaadiga Isover FLO. Kipskarkassi külge kinnitatakse kahekordne kipsplaat Knauf White GKB. Välja toodud lahenduse korral muutub lagi 55 mm madalamaks. Parendatud tarindi tähiseks vastavalt tüüpsele tarindile on VL 1.

Tarindile on teostatud helipidavuse ligikaudseks hindamiseks arvutused Insul programmi abil. Arvutused on teostatud nii õhu- kui ka löögiheli isolatsiooni hindamiseks. Selleks, et Insuli abil löögi helirõhutaset hinnata, tuleb programmis tarindit muuta, kuna Insul ei võimalda kolmekihilise vahelae löögi helirõhutaset arvutada, kui tegu on ujuva põrandakonstruktsiooniga. Selleks tuleb muuta vahelae elastne kiht sidemeteta kihiks, mille täide on EPS. Insuli abil leitud löögiheli rõhutase $L_{n,w}$ koos spektrilähendusteguriga $C_{l,50-2500}$ ja heliisolatsiooniindeks R_w koos spektrilähendusteguriga $C_{50-3150}$ on välja toodud tabelis 3.6.

Tabel 3.6 Parendatud vahelae tarindi õhu- ja löögimüra ühearvulised väärtused spektrilähendusteguritega

Heli iseloom	Helipidavust hindav tegur [dB]	Spektrilähendus tegur [dB]	Summa [dB]
Õhumüra	$R_w = 75$	$C_{50-3150} = -8$	67
Löögimüra	$L_{n,w} = 32$	$C_{l,50-2500} = 4$	36

3.4 CadnaB arvutustulemused parendatud tarinditele

Selleks, et võtta arvesse külgnevate konstruktsioonide mõju tarindi heliisolatsioonile, teostati arvutused akustikaprogrammi CadnaB. Külgnevate elementide tarbeks teostati eelnevalt Insuli abil arvutused kõikidele ruumi ümbritsevatele seinatüüpidele. Ruumi ümbritsevateks tarinditeks on kortermaja välissein (VS 1), kipssein (KSS 1), vaadeldava ruumi parendatud vahelagi (VL 1) ning põranda konstruktsioon (TVL 1). Antud tarindite lõiked ja arvutustulemuste väljavõtted on toodud lisas.

CadnaB-s koostati eelnevalt kolmemõõtmeline ruum, mille suurus vastas tüüpilisele kahetoalise korteri magamistoale. Tubade kõrguseks määrati 2,8 m, laiuks 2,8 m ja pikkuseks 3,6 m. Arvutusmodelite põhimõttelised skeemid on koos arvutustulemustega toodud lisas 4.

Korteritevaheliste tarindite võrdlemiseks koostati iga tarindi kohta arvutusmodel. Ruumi ümbritsevad tarindid jäeti iga mudeli jaoks samaks, et saada objektiivsem tulemus korteritevahelise helipidavuse hindamiseks. Mudeli koostamisel kasutatud tarindite heliisolatsiooniindeksid on leitud Insuli programmi abil ning on välja toodud eelnevates peatükkides. Korteritevahelise tarindi heliisolatsiooniindeksi arvutamisel on arvesse võetud spektrilähendustegur $C_{50-3150}$. Arvutusmodelite kokkuvõtte on välja toodud tabelis 3.7.

Tabel 3.7 CadnaB-s koostatud korteritevaheliste seinte arvutusmodelite tulemuste kokkuvõtte

Heli siire	Tarind	Vaheseina tüüp							
		SS 1		SS 2		SS 3		SS 4	
		R'_w [dB]	$R'_w + C_{50-3150}$ [dB]	R'_w [dB]	$R'_w + C_{50-3150}$ [dB]	R'_w [dB]	$R'_w + C_{50-3150}$ [dB]	R'_w [dB]	$R'_w + C_{50-3150}$ [dB]
d	Vahesein	67,3	63,3	67,6	63,6	65,6	60,6	68,5	53,5
f1	VS1-VS1	67,8	65,8	68,0	66,0	66,8	64,8	62,1	60,1
f3	VL1-TVL1	80,4	74,4	80,6	74,6	79,2	73,2	78,2	70,2
f4	TVL1-TVL1	79,4	73,4	79,6	73,6	78,1	72,1	75,2	68,2
Kokku [dB]		64,2	61,2	64,4	61,4	62,9	58,9	60,7	52,7

Tulemuste põhjal on näha, et siirdeheli kannab suurt mõju ruumidevahelise helipidavuse juures. Tarindi SS 1 korral, mille heliisolatsiooniindeks $R'_w + C_{50-3150} = 65$ dB, CadnaB arvutuste põhjal $R'_w + C_{50-3150} = 63,3$ dB, tagab siirdehelide mõju tõttu heliisolatsiooniindeksi $R'_w + C_{50-3150} = 61,4$ dB. Vaadeldes tarindeid SS 3 ja SS 4, on ruumidevahelise heliisolatsiooniindeks veelgi madalam spektrilähendusteguri mõjul.

CadnaB tulemuste põhjal ei taga ükski tarind heliklass A vastavat korteritevahelist heliisolatsiooniindeksit $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB. Tulemus võib olla mõjutatud programmi kasutamisest tingitud vigadest või ebatäpsetest tulemustest Insuli arvutuste teel.

Programmi abil teostati arvutusmudel ka korteritevahelise vahelae tarindi osas. Arvutusmudeli aluseks valiti samade mõõtmetega magamistuba, kui korteritevahelise seinte mudeli korral. Ruumi ümbritsevateks tarinditeks on kortermaja välissein (VS 1), korterisisene kipssein (KSS 1) ning korteritevaheline parendatud sein (SS 1). Kortritevahelise tarindi helipidavuse hindamisel on arvesse võetud spektrilähendustegurid $C_{50-3150}$ ja $C_{L,50-2500}$. Arvutusmudeli kokkuvõte on välja toodud tabelis 3.8.

Tabel 3.8 CadnaB-s koostatud korteritevahelise vahelae arvutusmudeli tulemuse kokkuvõte

Heli siire	Tarind	Vahelae helipidavuse liik			
		Õhumüra		Löögimüra	
		R'_w [dB]	$R'_w + C_{50-3150}$ [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]	$L'_{n,w} + C_{L,50-2500}$ [dB]
d	VL1	71,9	65,9	31,5	36,5
f1	VS1-VS1	69,0	67,0	37,1	34,1
f2	SS1-SS1	73,2	70,2	31,2	30,2
Kokku [dB]		66,0	63,0	39,5	38,5

Tulemuste põhjal selgub, et parendatud vahelae tarind VL 1 vastab heliklass A esitatud tingimustele $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB ja $L'_{n,w} + C_{L,50-2500} \leq 43$ dB kasutades korteritevahelise tarindina parendatud seina SS 1. Siirdehelide mõju on piisavalt väike, mistõttu saab antud tarindit kasutada helipidavama lahenduste pakettis.

3.5 Korteri välisukse helinõuete tagamine

Ruume eraldavas vaheseinas on üks peamiseks määrajaks tarindi heliisolatsioonivõime tagamisel. Selleks, et tagada ette antud heliisolatsiooninõue, tuleb valida õiget tüüpi üks ning pöörata tähelepanu selle paigaldamisele. Helipidava ukse valikul, kuid selle nõuetele mittevastava paigalduse korral, langeb ukse heliisolatsioon mitu detsibelli. [3]

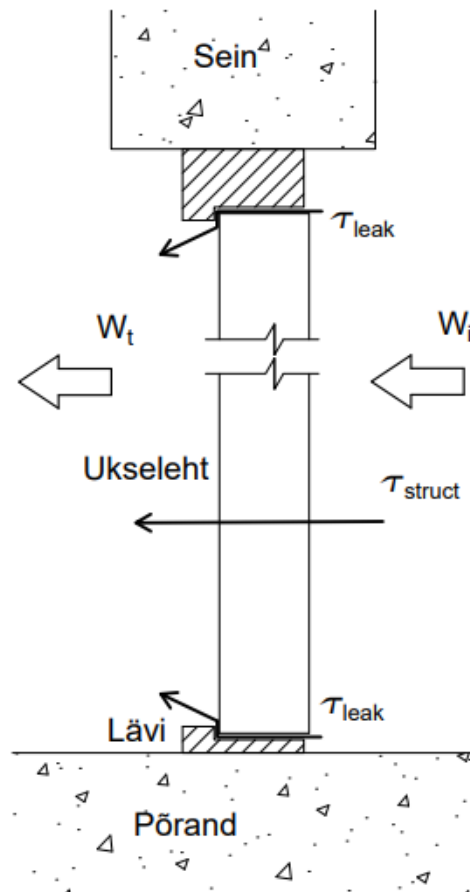
Heli liikumine läbi ukse konstruktsiooni sisaldab kahte peamist komponenti: ukselehte läbiv heli ning ukselehti ja ukselehte vahelt tulenev heli. Selleks, et lihtsustada uksekompleksi arvutusi, ei võeta arvesse raami ja konstruktsiooni vahelt kanduvat heli

selle väikese pindala tõttu. Joonisel 3.4 on näidatud millised helid levivad läbi uksekonstruktsiooni. [53]

Sellise ukseüsteemi heliisolatsiooni on võimalik arvutada valemiga (3.1) [54]. Lekkearvu on arvutuste teel keerukas leida, seetõttu võetakse töös lahenduste leidmiseks arvesse varasemate uuringute põhjal teostatud uste lahendussüsteemid.

$$R_{total} = 10 \log \frac{1}{\tau_{total}} = 10 \log \frac{1}{\tau_{struct} + \tau_{leak}} \quad (3.1)$$

- kus, R_{total} – konstruktsiooni ja tihendeid läbiva lekke heli summa, dB;
 τ_{struct} – konstruktsiooni läbiv helirõhutase, dB;
 τ_{leak} – ukseerva lekke helirõhutase, dB;



Joonis 3.4 Uksekonstruktsiooni arvutuspõhimõtted, arvestades uksetihendeid ning ukselehte läbivat heli.

W_i – müraallikast tulenev helirõhutase, W_t – läbi uksekompleksi jõudev helirõhutase

Selleks, et tagada heliklassile A vastav välisuksega tarind, peab ukseüsteemi heliisolatsiooniindeks vastama nõudele $R'_w + C_{50-3150} \geq 44$ dB. Käesolevas peatükis lahendatakse kaks erinevat ukse sõlme, kuidas oleks võimalik saavutada uksehelistavus vastavalt heliklassile A.

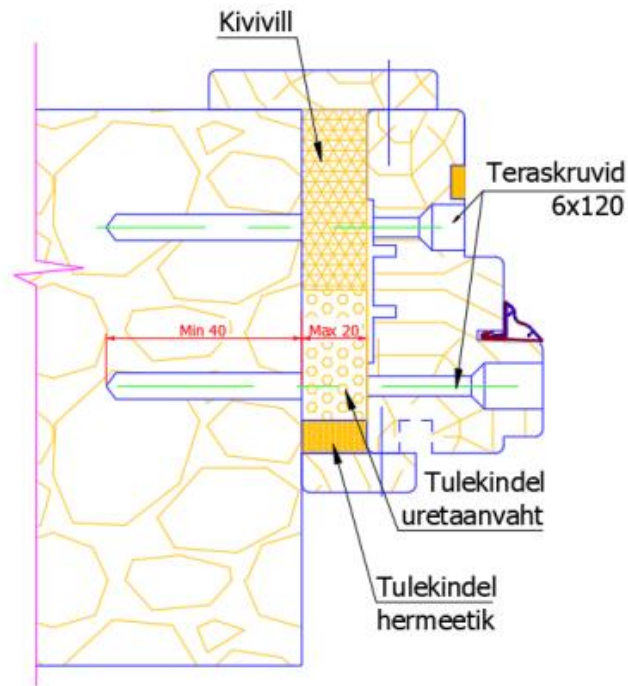
3.5.1 Ühe ukselehega välisuks

Ukse helistavuse tagamiseks tuleb valida õiget tüüpi välisuks, mis täidaksid vajalikud nõuded. Selleks, et täita heliklassi A nõue $R'_w + C_{50-3150} \geq 44$ dB tuleb valida massiivsem uks, mis on kaalult raskem ning vajab paigaldamiseks tugevamaid lenge. Korteril välisukse korral tuleb arvestada ka tulestavusega EI 30, et korter vastaks päästeameti poolt kehtestatud nõuetele.

Selleks, et ühe ukselehega tagada ette antud helistavus, tuleb tähelepanu pöörata ukse paigaldusele, sest puuduliku paigalduse korral väheneb ukse helistavus. Ukse kasutamisel võivad väiksemadki õhulekked heliisolatsioonivõimet vähendada. Samuti tuleb tähelepanu pöörata tihendite korrektsele sulgumisele, kuna ukselehe ja -lengi vahelt tulenev heli määrab suuresti uksetarindi helistavuse. Uksekonstruktsiooni helistavust saab veelgi parandada, kui ukse lengi ning konstruktsiooni vaheline vuuk katta auru- ja tuuletõkketeibiga. [3]

Eestis laialt levinud toodete seast pakutakse parimate heliisolatsiooniomadustega ukse, mille laboritingimustes mõõdetud õhumüra isolatsiooniindeksiks $R_w = 43$ dB. Samasugust lahendust pakub ka Haapsalu Uksetehas AS, kelle tootevalikus on tuletõkkeuks EI30/ R_w 43dB. Sellise ukse komplekti kuulub 2-kordne silikoontihend lengis ning ka tihendiga lävi helistavuse tagamiseks. [55]

Ukse paigaldamisel tuleb lengi ning seina konstruktsiooni vaheline pragu tihendada kivivillaga, tulekindla polüuretaanvahuga ja toa poolt lisaks tulekindla akrüülhermeetikuga. Tihendamisel tuleb tähelepanu pöörata hoolikale tihendusele, kuna väiksemgi ebatihedus halvendab heliisolatsiooni. Samuti tuleb tähelepanu pöörata sellele, et lengid ei kaarduks tihendusmaterjalide liigkasutamisest. Ukselengi paigaldusjuhend on välja toodud joonisel 3.5. [56]



Joonis 3.5 Ukselengi paigaldusjuhend vastavalt Haapsalu Uksetehase nõuetele [56]

Sellise paigaldusviisi juures tuleb väga tähelepanelik olla ukse tihendamise ning ukselehe reguleerimise osas. Isegi kui paigaldatakse välja toodud uks ning selle paigaldus on vastavalt nõuetele, ei garanteeri antud lahendus heliklass A miinimumnõuet.

Muutes välja toodud ukselehe konstruktsiooni ning üritades seeläbi parandada õhumüra heliisolatsiooni, ei saa garanteerida heliklassi A nõuete täitmist. Kasutades puituste ukselehtede erinevaid konstruktsioone, on leitud, et helipidavus sarnaste uste juures objektimöödistuste kohaselt on maksimaalselt $R_w = 44$ dB [57]. Sellise ukse juures saavutatav heliisolatsiooniindeks on ligilähedane töös esitatavatele nõuetele, kuid selleks, et garanteerida ukse helipidavuseks $R'_w + C_{50-3150} \geq 44$ dB, tuleb leida parem lahendus. Suurem heliisolatsiooniindeks kataks võimalikud eksimused, mis võivad tekkida objektil ukse montaažil.

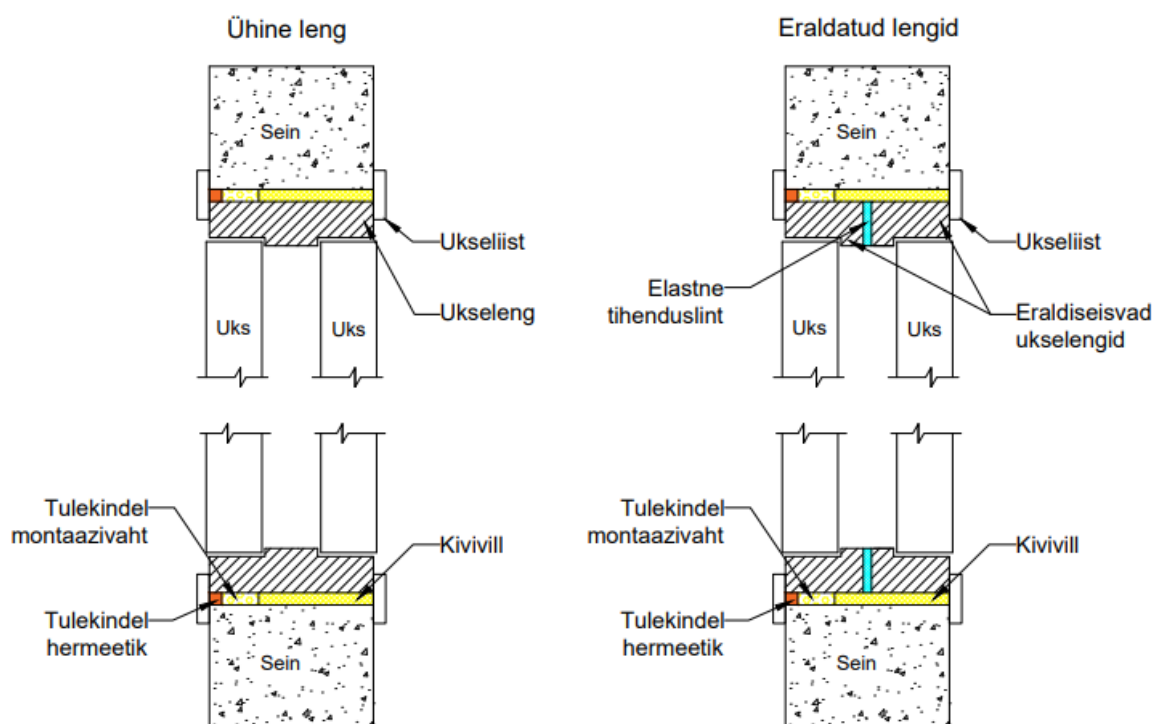
3.5.2 Kahekordse ukse lahendus

Mitmetel juhtudel võib ühe hea heliisolatsioonivõimega ukse asemel kasutada kahekordset ust. Topeltukse kasutamine pakub paremat heliisolatsiooni ning ökonoomsuse seisukohast võib sellise lahenduse kasutamine olla tulusam. Samuti ühekordse ukse kasutamisel väiksemadki lekked põhjustavad heliisolatsioonivõime

nõrgenemise, kuid topeltukse korral tihendavad ühe ukse vead teise ukse helipidavust. [3]

Kahekordse ukse lahendust kasutatakse kortermajade puhul peamiselt vanades paneelilamutes, kus vanade uste helipidavus ei ole elanikele meelepärane. Selleks, et ukse helipidavust parandada, paigaldatakse korteripoolsesse külge lisauks, mis takistab trepikodadest tuleva heli jõudmist korterisse.

Kahekordsete uste lahenduste korral tuleb valida, kas teine uks paigaldatakse olemasoleva uksega samasse lengi või uste konstruktsioonid on üksteisest täielikult eraldatud lisalengiga. Juhul kui ukse heliisolatsioonile ette antud nõuded on väga ranged, saab eraldi lengi abil saavutada parema helipidavuse. Samuti on võimalik paremat helipidavust saavutada suurendades kahe ukselehe vahelist õhkvahet. Joonisel 3.6 on välja toodud kahe erineva lengilahendusega uksekonstruktsiooni liide seinaga. [58]



Joonis 3.6 Kahekordse ukse paigalduslahendused ühisel lengil ja kahel eraldiseisval lengil

Uste puhul ei pea mõlemad ukсед olema nii kõrge heliisolatsiooniklassiga kui ühekordse ukse puhul. Selleks, et tagada tuleohutusnõuetele vastavus, peab korteri trepikoja poolne uks vastama tulepüsivusele EI 30. Tuletõkkeuksed on massiivsed, mistõttu tagavad sellised ukсед ka parema helipidavuse. Selleks, et tagada heliisolatsiooniindeks

suurusega $R'_w + C_{50-3150} \geq 44$ dB saab korteripoolse ukse valida tüüpsete siseuste valikust, mis peavad olema varustatud tihenditega kogu ukse perimeetri ulatuses.

Katsete põhjal on leitud, et ühisele lengile paigaldatud kaks 32 mm paksust ust, kus mõlemal ukselehel on ühekordne kummitihend, annavad heliisolatsiooni tulemused vahemikus $R_w = 44 - 49$ dB. Tulemused sõltuvad õhkvahe sügavusest, kus 35 mm laiuse õhkvahe korral uksekonstruktsiooni heliisolatsiooniindeks $R_w = 44$ dB, laiuse 65 mm korral $R_w = 48$ dB ning 115 õhkvahe korral $R_w = 49$ dB. [3]

Antud tulemused ei võta arvesse spektrilähendustegurit $C_{50-3150}$, kuid helipidavuse tagamisel varuga, võib sarnast lahendust rakendada heliklass A saavutamisel. Selleks, et veenduda ette nähtud helipidavuse tagamises, tuleb pöörduda uksetehaste poole lahenduste arendamiseks ning katsetada lahendusi objektimõõdistustega. Käesolevas töös vaadeldakse ainult uste võimalikke teoreetilisi lahendusi, et tagada etteantud heliisolatsiooniindeks $R'_w + C_{50-3150} \geq 44$ dB.

3.6 Tehnoseadmete madalama müratasemega lahendused

3.6.1 Vesi, kanalisatsioon ja küte

Korteri vee-, kanali- ja küttesüsteemide projekteerimisel tuleb tähelepanelik olla süsteemi valimisel ning torude ja seadmete dimensioneerimisel, et süsteemi müra ei ületaks ruumile ettenähtud helitasemenõudeid $L_{pA,eq,T} \leq 30$ dB ja $L_{pA,max} \leq 35$ dB. Samuti tuleb tähelepanu pöörata torustiku läbiviikudele, mis võivad nõrgendada õhu- ja löögiheli isolatsiooninõudeid. [3] Helipidavamate lahenduste eelduseks on seatud tehnoseadmete mürataseme tingimused $L_{pA,eq,T} \leq 24$ dB ja $L_{pA,max} \leq 29$ dB. Torustike helitaseme saavutamiseks välja toodud lahendused on teoreetilised ning müratasemete tagamiseks ei ole teostatud objektimõõdistusi ega helirõhutasemete arvutusmeetodeid.

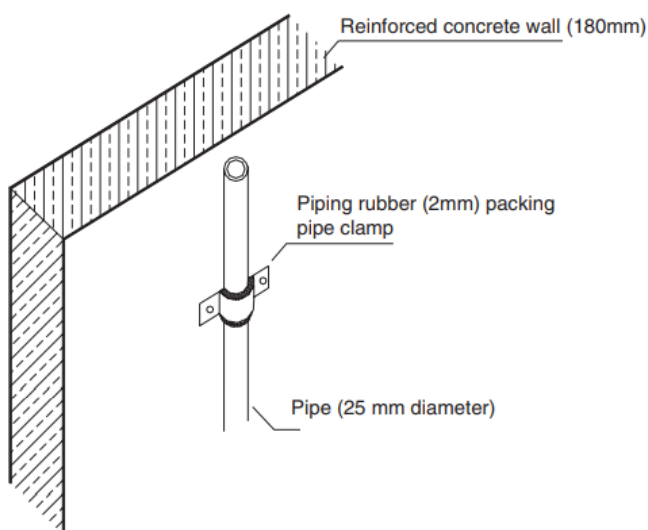
Torustikest tulevaid helitasemeid saab mõjutada projekteerides vee- ja küttesüsteemidele parajad rõhutasemed. Veeseadmete paigaldusel tuleks veenduda torustike korrektse kinnituses ning valides vaiksemaid detaile. [3] Veetorude vaiksemaks tegemisel on võimalus torustik isoleerida, kasutades selleks toruisolatsiooni

koorikuid või spetsiaalseid torude heliisolatsioonimatte. Torukoorikud, mis on mõeldud külmaveetorustike kondensvee tekke vastaseks isolatsiooniks ning sooja- ja kütetorustike soojusisolatsiooniks, toimivad ka heliisolaatorina, vähendades torude vibratsiooni ning summutades torudes veevoolust tekkivat heli. Sellisteks toodeteks on näiteks Isoveri Isotech CPS-Alu 2 [59] ja Thermaflex ThermaCompact [60].

Spetsiaalsed heliisolatsioonimatid vähendavad veelgi torudes tekkiva heli taset. Sellised toruisolatsioonid on õhemad, kuid nende paigaldus on keerukam ning kättesaadavus on limiteeritud. Samuti on antud tooted kallimad, kui standardsed lahendused. Spetsiaalsed toru heliisolatsioonimatid on näiteks Armacell ArmaSound RD [61].

Kanaliseerimisest tekkivat heli mõjutavad torustiku kandurisüsteemid, torude materjal ning kanalisatsioonipüstaku sirgus. Korteris sisest ei tohi kanalisatsioonipüstakus tekkida põlve, mis tekitab vee kasutamisel tugevat heli. Samuti tuleb kanalisatsioonitorud kinnitada võimalikult jäigalt massiivse betoontarindi külge. Toru alumine põlv tuleb valada betooni sisse. Seeläbi saab hoone suurt massi ära kasutada kanalisatsioonitoru võnkumise summutamiseks. [3]

Kanaliseerimises tekkiva heli summutamiseks saab kasutada helipidavaid torusid näiteks Pipelife Master 3 plus [62] või Rehau Raupiano Plus [63]. Lisaks torustiku muutmisele on võimalik torudest tekkivat helitaset vähendada torukoorikute või spetsiaalselt torudele mõeldud isolatsioonimattide paigaldamisega.



Joonis 3.7 Veetorude kinnitamine konstruktsiooni pinnale [64]

Vee ja kanalisatsioonitorude helipidavamal paigaldusel tuleb tähelepanu pöörata torude kokkupuutumisel konstruktsioonelementidega. Selleks, et vähendada torustike helisid ühest korterist teise, tuleks vältida torustiku paigaldamist korteritevahelise tarindi

konstruktsiooni, näiteks veetorude süvistamisel betoonpaneeli. Seeläbi torudes tekkiv vibratsioon kandub konstruktsiooni, mis tekitab häirivat heli kõrval asuvas korteris. Selle asemel tuleks torustik kinnitada konstruktsiooni pinnale jäigalt, kasutades kummiga kinnitusklambreid. [64] Veetorustiku peitmiseks saab kasutada variseina.

3.6.2 Ventilatsioon

Ventilatsioonis tekkiv heli on peamiselt seotud ventilaatorite töötamisel tekkiva heliga. Väljatõmbe heli levib väljatõmbekanalit kaudu ruumidesse ning väljapuhkekanalist välisõhku, samamoodi levib sissepuhkeheli kanali kaudu ruumidesse. Lisaks tekitab ventilatsiooniagregaat müra agregaadis ruumi, mis võib levida mööda ventilatsioonitorustikku struktuurhelina teistesse ruumidesse. [3]

Lõppseadme kaudu ruumi kanduva helirõhu tase on lisaks kanali summutusele ka ruumi summutusest. Ruumi summutus D_{ruum} arvutatakse oktaavribade kaupa helineeldumispinnast A ning on leitav valemiga (3.2). [3]

$$D_{ruum} = 10 \log \frac{A}{4} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i}{4} \quad (3.2)$$

kus, D_{ruum} – ruumisummutus, dB;

A – ruumi summaarne helineeldumispind, $m^2 \cdot Sab$;

α – pinna helineeldumistegur;

S – ruumi pinna pindala, m^2 ;

Ruumi ventseadmest põhjustatud helitase L_A arvutatakse valemi (3.3) alusel. [3]

$$L_A = L_w - D_q - D_{ms} - D_{lõpp} - D_{ruum} \quad (3.3)$$

kus, L_A – agregaadist põhjustatud helitase ruumis, dB;

L_w – agregaadist poolt tekitatav helivõimsustase, dB;

D_q – õhuvoolu jaotumisest tekkiv summutus, dB;

D_{ms} – mürasummutite summutusarvutus, dB;

$D_{lõpp}$ – lõppseadme summutus, dB;

Käesolevas peatükis keskendutakse peamiselt korteripõhise ventilatsiooniagregaadis heli summutamisele, et tagada heliklassile A vastavad helirõhu tugevuse tingimused $L_{pA,eq,T} \leq 24$ dB ja $L_{pA,max} \leq 29$ dB. Töös lähtutakse ventilatsiooni teoreetilisele helisummutamise alusele ja sellekohaseid mõõtmisi ega arvutusmudeleid ei rakendata.

Ventilatsioonisüsteemi helisummutust mõjutavad mitmed tegurid. Selleks, et langetada ventilatsiooni helirõhutaset, tuleb valida sobiv ventilatsiooniagregaat, isoleerida torud, paigaldada mürasummutid ning valida sobiv lõppseade. Seadmete ja toodete valikuga on võimalik tagada ettenähtud helirõhu tugevuse tingimused. [3] Selleks, et valida vajalikud tooted ja seadmed, on töös lähtutud tüüpse korteri ventilatsioonisüsteemist, mis vastab müratasemele $L_{pA,eq,T} \leq 25$ dB. Sellise süsteemi põhjal vaiksema ventilatsioonisüsteemi loomine garanteerib, et lõpptulemusena vastaks helirõhu tasemed heliklassi A tingimustele.

Tüüpse korteri ventilatsioonisüsteemi aluseks on korteripõhine agregaat Flexit Nordic S3 [65]. Selleks, et summutada korterisse jõudvat heli, on agregaadi järgselt paigaldatud sissepuhke- ja väljatõmbetorustikele paigaldatud mürasummutid Lindab LRCA-125-1000 [66]. Lisa summutusena on paigaldatud iga toa sissepuhke lõppelemendi eelsele toru osale summuti Lindab SLU-125-300 [67]. Lõppelementideks on paigaldatud ETS NORD õhujaotaja DSK 125 [68]. Välja toodud toodetega on saavutatud müratase $L_{pA,eq,T} = 25$ dB.

Helipidavama lahenduse jaoks on võimalik ventilatsioonitorud isoleerida eelnevalt välja toodud torukoorikutega, muuta lõppelement vaiksema difuuseri vastu või muuta mürasummutit. Vahetades väiksem mürasummuti SLU 125-300 [67] näiteks mürasummuti LRCA-125-500 [66] vastu, paraneb summutusarv, mis teoreetilist tagab heliklass A helitaseme nõude $L_{pA,eq,T} \leq 24$ dB. Selleks, et tagada väiksem ventilatsioonisüsteemi helitase, tuleks isoleerida torustik torukoorikutega või Armaflex XG isolatsiooniga [69], mis tagab sirgete torude parema summutuse ning vähendab torudes tekkivat vibratsiooni.

3.7 Lahendite järelused

Helipidavama lahenduste paketi loomisel tuleb tähelepanu pöörata helipidavuse parendamisele, valides helikindlamad tarandid, parema heliisolatsioonivõimega korteri välisukse ning vähendades tehnoseadmete poolt tekitatavat helitaset. Tarindi valimise juures tuleb tähelepanu pöörata ka sellele, et tarindi muutmisel ei muutuks ruumi pindala oluliselt väiksemaks. Lisades tarindile variseina, saab muuta tarindi helipidavust paremaks, kuid seeläbi kitseneb ruum 8 cm võrra. Variseina lisamisel saavutatud tarindi heliisolatsiooniindeks vastab heliklass A miinimumnõuetele, mistõttu tuleks eelistada

lahenduste pakettis tarindite SS 1 ja SS 2 kasutamist. Tarindite SS 3 ja SS 4 kasutamisel ei ole tarindi heliisolatsiooniindeks piisavalt hea, et tagada heliklass A esitatud tingimusi. Samuti tuleks kasutusele võtta tarind VL 1, et vähendada õhu- ja löögimüra levikut läbi korteri vahelae.

Korteri välisukse helipidavamaks muutmisel on võimalus vahetada olemasolev välisukse parema helipidavusega ukse vastu või võtta kasutusele topeltukse lahendus. Ühelehelise ukse korral tuleb väga hoolikalt jälgida ukse paigaldust, et tihendid sulgeksid ukselehe perimeetris korrektselt ning uks hoiab ennast tihedalt kinni. Topeltukse korral on võimalus kasutada kahte väiksema helipidavusnõuetega ust ning paigaldusele esitatavad nõuded on leebemad, kui seda on ühelehelise ukse korral. Samuti on võimalik topeltukse lahenduse korral saavutada parem helipidavus trepikojast tulevate helide vastu, mistõttu tuleks kasutada helipidavama paketi lahendusena kahekordset ust.

Tehnoseadmete poolt tekitatava heli summutamiseks on võimalik kasutada müra summutavat torustikku, mürasummuteid torustike osana ning valides vaiksemad tehnoseadmed. Torustik tuleks isoleerida soojusisolatsiooni torukoorikutega või kasutades spetsiaalseid heliisoleerivaid torukoorikuid. Samuti on võimalik vähendada helirõhutaset torustiku korrektse paigaldusega, mille korral torustikus tekkiv heli kandub vähemal määral kinnitatavasse tarindisse. Seeläbi väheneb heli levik tarindi siirdehelidena korterisisesele ja kõrval asetsevasse korterisse.

Ventilatsiooni poolt tekitatava heli summutamiseks tuleb kasutada torustikus helisummuteid. Selleks, et vähendada heli levikut, tuleks kasutada mürasummuteid ventilatsiooniagregaadist väljuvate torude osas ning samuti tuleks paigaldada mürasummuteid vahetult enne lõppelementi, et tagada väiksem helirõhutase. Valides vaiksem lõppelement on võimalik ventilatsiooni helirõhutaset veelgi vähendada.

Välja toodud lahendusi on võimalik kasutada ka tulevikus, kui Eestis tekib sarnaselt teiste naaberriikidega kogu hoone heli klassifitseerimine.

4 HELIKINDLUSE TAGAMISE MÕJU ELANIKULE

Inimesed püüavad luua endale elukeskkonda, milles nad saavad tunda ennast mugavalt. Arenenud riikide inimesed veedavad ligi 90% oma ajast siseruumides. Eluruumide sisetingimustel on tõsine mõju inimese tervisele, mugavusele ja üldisele heaolule. Akustiline rahulolu kuulub eluruumide mugava keskkonna tingimuste alla, mida tihtipeale välditakse hoonete projekteerimisel. Helipidavuse rakendamine võib olla kulukas, kuna puuduvad uuringud müraallika, häirivuse, helitugevuse ning sellest tulenevate füüsiliste ja psühholoogiliste mõjude kohta elanikele. [70]

Heli määratletakse mürana, kui see häirib inimeste toiminguid ning on tarbetult või kahjulikult tugev. Mürast tekib inimesele subjektiivne kogemus ning ka füsioloogiline ebameeldivus, mis võib lõppeda püsiva tervisekahjustusega. Kahjustusteks võib olla kuulmiskahjustus ning probleem uinumise ja unekvaliteedi osas, mis tekitab raskusi igapäeva toimingute teostamisel. Samas liiga summutatud ruum sunnib kõnelejat häält tõstma, mis võib tekitada probleeme tavalise kõneheli kuuldavale toomisega. [3]

Antud peatükis keskendutakse mõjuritele, mis tekitavad helikindlama lahenduste rakendamisel kortermajas. Töös käsitletakse nii positiivseid kui ka negatiivseid mõjureid, mis võivad kaasneda helipidavama korterilahenduste rakendamisel.

4.1 Positiivsed tegurid

Korteritevahelise puuduliku heliisolatsiooni mõjul võivad tekkida elanikul unehäired ning suutmatus tegeleda igapäevaste toimetustega. Pidev häiring naabrite helist võib tekitada tüdimust, pingeid naabrite vahel, tüdimust, väsimust ja depressiooni. Ebapiisava heliisolatsiooni tagajärjel võivad elanikud olla sunnitud loobuma oma tegevustest ning väldivad teatud tegevusi enda kodus, kuna kardetakse naabreid häirida enda toimingutega. Näiteks vanemad keelavad enda lastel kodus mängida, sest kardetakse sellega häirida naabrite elu. Selline olukord võib viia selleni, et otsitakse endale parema heliisolatsiooniga korterit või eramaja. [1] Halva heliisolatsiooni tõttu võib olla raskendatud väikese lapse magamapanek. Naabrite poolt tekitatav heli, mis tuleneb rõdudelt ning kõrvalkorteritest, häirib laste und, mis on väikestele lastele vajalik. [71]

Müra häiringul ei ole otsest mõju inimese tervisele, kuid see võib esile kutsuda negatiivseid emotsionaalseid reaktsioone nagu ärrituvus, stress ning stressiga seotud sümptomeid. Lõpuks müra vastu tekkiv reaktsioon võib negatiivselt mõjuda inimeste tervisega seotud riskiteguritele, näiteks kõrgeenenud vererõhk, madalam veresuhkru tase, muutus pulsus ning hormoonide tasakaalu rikkumine. Sellisel viisil võib kehaliste funktsioonide reguleerimine olla ohustatud, mis võib suurendada haigestumist südame- ja veresoonekonna ja hingamisteede haigustesse. [72]

Uuringud pööravad tähelepanu peamiselt hoone välistele helidele ning nendest tekkivate häiringute osas. Hoone seest tekkivatele helidele tähelepanu tihtipeale ei pöörata, kuigi see on üks peamisi helihäiringute tekitajaid. Sellised helid on näiteks naabrite kõndimisel tekkiv sammumüra, muusika kuulamine kõrvalkorterites, televiisori vali heli ning ka naabrite karjumine. Samuti tekitab ventilatsioonist ning nende seadmetest tekkiv müra rohkem häiringuid kui liikluse müra korteris. [73]

Kasutades heliklass A nõuetele vastavaid lahendusi, väheneb inimeste häiring erinevatest helidest. Parema heliisolatsiooni tagamisel tarindite ehitusel vähendab naabrite poolt kuuldavat heli. Eestis kehtiva minimaalse heliisolatsiooninõude korral ($R'_w \geq 55$ dB) on võib olla kuulda naabri poolt tekitatavat valju kõne, kuid sõnu ei ole võimalik eristada. Rakendades heliklassile A vastavad nõuded ($R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB) on naabrite poolt tekitatav heli vähem tajutav. Tabelis 4.1 on välja toodud heliisolatsiooniindeksi arvvaartuse tähendus kõne arusaadavuse seisukohast kortermajades.

Tabel 4.1 Heliisolatsiooniindeksi arvvaartuse tähendus kõne arusaadavuse seisukohast kortermajades [3]

Heliisolatsiooniindeks R'_w [dB]	Kogetav kõneheli naaberruumis
>65	Vali hüüe kostab läbi seina, sõnadest ei saada aru
>60	Vali kõne ei kosta läbi seina
>55	Vali kõne kostab läbi seina, sõnadest ei saada aru
>50	Normaalne vestlushäääl ei kosta läbi seina
>45	Normaalne vestlushäääl kostab läbi seina, sõnadest ei saada aru
>40	Normaalne vestlushäääl kostab läbi seina, sõnadest saadakse aru, kuid ei sega keskendumist

Kõrgema heliklassi rakendamisel tekib inimesel vähem häiringuid naabrite osas, mille tulemusel on tagatud kodus rahulikum keskkond. Elanikud saavad ennast kodus vabamalt tunda ning ei pea muretsema helide levimise pärast kõrvalkorteritesse.

Inimesed ei pea loobuma enda igapäevategevustest, mis tekitavad suuremal määral heli. Seeläbi paraneb inimeste vaimne ja füüsiline tervis ning tülid naabrite helide teemal vähenevad. Selle tulemusel võib väheneda haigestumise risk südame- ja veresoonekonna ja hingamisteede haigustesse. [72]

Rakendades kõrgemaid helipidavuse nõudeid tehnosüsteemidele, mille tulemusel väheneb ventilatsiooni ning veesüsteemide helirõhutase korteris, on võimalik häiringuid veelgi vähendada. Selle tulemusel lisaks naabrite heli summutamisele, paraneb ka korterisiseste helide levik. Ventilatsiooni kasutamisel väheneb ventilaatoritest tekkiv müra ning vee- ja kanalisatsioonitorustikud ei tekita nii suurel hulgal müra.

Muutes korteri helitasemed väiksemaks, paraneb inimeste unekvaliteet. Uuringute põhjal on kindlaks tehtud, et inimesed, kes magavad vaikes keskkonnas, kogevad paremat unekvaliteeti läbi uneaja keskmise pikkuse mõju ning ka sügava une kestuse tulemusena. Vaikemas keskkonnas elavate inimeste une kestus on keskmiselt 11% pikem ning sügava une kestus 9%. Parema unekvaliteeti tagab inimeste parema keskendumisvõime, vähendab väsimust ning aitab inimestel rohkem keskenduda. [74]

4.2 Negatiivne mõju

Korterivaheliste seinte helipidavamaks muutmisel tekib olukord, kus inimene kaotab enda korteri pinda. Näiteks magamistoa helipidavuse parandamisel, mille üks sein (pikkusega 3,6 meetrit) on naaberkorteriga ühine, muutub 8 cm paksuse lisakihi lisamisel ruumi pindala 0,3 m² väiksemaks. Võttes aluseks tüüpilise kahetoalise korteri pindalaga 45,6 m², mis asub kahe naaberkorteri vahel, ning standardset lahendust kasutatakse iga korterit ümbritseva tarindi (v.a välissein) parendamiseks, väheneb korteri pindala ligikaudu 1,7 m². Kasutades töös välja toodud tarindit SS 3, muutub tarind 20 cm laiemaks, mille tulemusena magamistoa pind väheneb 0,72 m² ning kogu korteri pindala ligikaudu 4,3 m².

Lisaks seinte muutmisele, tuleb helipidavama lahenduste rakendamisel parendada vahelae konstruktsiooni. Vahelae konstruktsiooni muutmisel muutub korteri lagi madalamaks, kui see projektis algselt ette nähtud. Selle tulemusel ei ole korter nii avar kui algselt ette nähtud. Probleemseks muutub esiku ja vannitubade ripplagede juures, kus lagi on toodud madalamale tehnosüsteemide varjamiseks.

Taustmüra madal tase avaldab mõju kõrvaliste helide kuulmise. Näiteks soetades vaikes piirkonnas korteri, võib olla hästi kuulda naabrite poolt tekitatavad helid, isegi kui mõõtmiste põhjal saadud info kinnitab, et tarindid täidavad heliisolatsiooninõudeid. Põhjus avaldub selles, et elukeskkonna ülejäänud taustmüra on sedavõrd vaikne, et tavapärase heliisolatsioonilahenduse kasutamisel kostab kõnekõmin valjemalt kui taustmüra. [3]

Saavutades korteris parem helipidavus kõrvalruumide heli isoleerimisel muutub korterisisene taustmüra madalamaks. Taustmüra vähenemisel muutuvad kõrvalised helid valjemaks ning elanik võib hakata kuulma helisid, mida varasemalt hästi kuulda ei olnud. Näiteks hakkab korterisse paremini kostuma tänavalt tulenev müra, mis võib inimest häirida rohkem, kui naabrite poolt tekitatav heli. [3]

Taustmüra vähenemise tulemusel võib tekkida olukord, kus inimesed hakkavad kuulma korterisiseseid helisid paremini kui varem. Sellisteks heliallikateks võivad olla erinevad seadeldised, koduloomade ja inimeste liikumine korteris. Näiteks varem vaiksena tundunud külmkapp muutub häirivalt valjuks. [3]

KOKKUVÕTE

Magistritöös keskenduti kortermaja ühe korteri helipidavamaks muutmisele. Eesmärk oli luua helipidavam valikupakett, mida oleks võimalik korteri ostul lisana juurde valida, kui eeldatakse, et miinimumnõuete järgsed heliisolatsioonitingimused ei vasta omanike vajadustele. Paketi arendamise aluseks oli Skandinaavia riikides kasutatav heliklass A, mis hõlmab tarindite, avatäidete ja tehnoseadmete heliisolatsiooniomaduste parendamist.

Töös toodi välja Skandinaavia riikides kehtestatud heliisolatsiooninõuded ning riikides kehtestatud klassifikatsiooni alusel määratud miinimumnõuded, teadvustamaks kehtivate normide erinevusest ning nende võrreldavusest. Seejärel toodi välja Eestis kasutatavad tüüpsed korteritevahelised tarindid ning leiti tarindile vastavad heliisolatsiooniindeksid kasutades teoreetilist arvutusmudelit ja akustikaprogramm Insul ning võrreldi saadud tulemusi valmis ehitise helimöödistus tulemustega. Samuti toodi välja võimalikud lahendused, kuidas parandada tüüpsete tarindite, avatäidete ja tehnoseadmete heliisolatsiooni omadusi, et tagada heliklassile A vastavad nõuded helipidavama paketi loomiseks. Lisaks eelnevale toodi välja kirjandusest ja teadustöödest heliisolatsiooni parandamise positiivsed ja negatiivsed tegurid korteriomanikule.

Skandinaavia riikide ja Eestis kehtestatud heliisolatsiooni miinimumnõuded ei ole võimalik hinnata standarditest välja toodud numbrite alusel. Iga riigi korral tuleb jälgida miinimumnõudele helipidavust hindavat indikaatorit. Juhul kui viia Eesti ja Skandinaavia riikide miinimumnõuded ühisele indikaatorile, on elamuhoonetele esitatavad miinimumnõuded ligilähedased, mistõttu on eri riikides kasutatavaid tüüpseid tarindeid võimalik üle võtta.

Arvutustulemuste põhjal sai järeldada, et teoreetiliste arvutusmudelite ja Insuli akustikaprogrammi tulemused on ligilähedased lihtsate tarindite põhjal võrreldes objektile teostatud helimöödistustega, mille ruume eraldavaks tarindiks oli vaadeldav konstruktsioon. Erinevused arvutustulemuste ja möödistuste vahel tekkisid keerukamate konstruktsioonide puhul, kus tarind koosnes mitmest kihist või materjali enda spetsiifiline omadus mõjutab helipidavust, mida ei suuda Insuli programm ega teoreetilised arvutustulemused arvesse võtta. Samuti tuleb programmis Insul mitmekihilise tarindi korral konstruktsiooni modifitseerida kinnitite abil, et saada optimaalsem tulemus. Vastasel korral hindab programm helipidavust märgatavalt paremaks.

Parendatud tüüpsete tarindite lahenduste puhul selgus, et kõige efektiivsem viis heliisolatsiooniindeksit parandada on lisades massiivsele seinale täiendav varisein. Variseina lisamisel on ruumi kadu minimaalne ning läbi selle saavutatav helipidavus vastab Skandinaavia heliklassile A. Heliisolatsiooni arvutused erinevatele tarinditele teostati Insuli programmi abil. Selleks, et viia tarind reaalsesse olukorda ning võtta arvesse siirdehelide mõju, teostati arvutused ka programmis Cadnab, võttes aluseks tüüpse kahetoalise korteri magamistuba. CadnaB arvutustulemuste põhjal selgus, et ükski parendatud korteritevaheline sein ei suuda tagada heliklassile A esitatud nõudeid $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB. Viga võib olla programmi kasutamisest tingitud probleemiga või tarindid ei ole piisavalt helipidavad tagamaks esitatud nõuded.

Avatäidete ja tehnosüsteemide helipidavamate lahenduste juures lähtuti teoreetilistest lahendustest, mille korral on võimalik tagada suurem helipidavus. Korteri välisukse korral tuleb rakendada topeltukse konstruktsiooni, mis võimaldab kasutada kahte väiksema helipidavusega ust, kuid lõpptulemusena saavutatakse suurema helipidavusega lahendus. Tehnosüsteemide helitasemete vähendamiseks, tuleb torustikud isoleerida torukoorikute või spetsiaalsete heliisoleerivate toodetega. Samuti tuleb ventilatsiooni korral kasutada suurema helisummutusvõimega mürasummuteid ning vajadusel vahetada lõppelemendi õhujaotajad välja vaiksema difuuseri vastu.

Helipidavamate lahenduste rakendamisel on võimalik tagada korteriomaniiku helihäiringute vähenemine, mille tulemusena paraneb elaniku uni, väheneb stress, stressiga seotud sümptomid ning ärrituvus. Samuti saavad elanikud ennast koduses keskkonnas vabamalt tunda ning ei pea loobuma igapäevategevustest, mis tekitavad suuremal määral heli. Samas peavad elanikud paketi valimisel arvestama korteri ruumi kaoga. Samuti võib tekkida olukord, kus olemasolevad kodumasinad hakkavad inimesi häirima, sest nende poolt põhjustatud heli tekitab inimese jaoks rohkem müra, kui varem.

Selleks, et kokku panna spetsiifiline helipidavamate lahenduste pakett, tuleks teostada katsetused erinevatele tarinditele, tehnosüsteemidele ja avatäidetele koos kindlate toodetega, et garanteerida helipidavusele esitatavad nõuded. Helimõõdistused tuleks läbi viia valmis ehitises, et võtta arvesse kõikvõimalikke siirdehelide levikut. Mõõdistuste ja katsetuste teostamine ei mahtunud antud töö ossa, mistõttu tuleb selle juurde tagasi tulla tuleviku töödes. Samuti tuleb tuleviku töödes välja tuua ka lahendusi, et parandada helipidavust tänavalt tuleva müra osas.

SUMMARY

The focus of this master's thesis was on making a dwelling more soundproof. The aim was to create an additional soundproofing package which could be chosen as an additional option when purchasing an apartment, if it is assumed that the sound insulation conditions according to the minimum requirements do not meet the needs of the owners. The development of the package was based on the sound class A used in the Scandinavian countries, which includes the improvement of the sound insulation properties of structures, apartment doors and technical equipment.

This thesis highlighted the sound insulation requirements established in the Scandinavian countries and the minimum requirements determined on the basis of the classification schemes in order to be aware of the differences between the applicable standards and their comparability. Subsequently, the typical inter-apartment structures used in Estonia were pointed out and sound insulation index corresponding to the structure were calculated using theoretical calculation models and the acoustic program Insul. Obtained results were compared with the sound measurement results of the finished building. Also, possible solutions to improve the sound insulation properties of typical structures, apartment doors and technical equipment were identified in order to ensure sound class A requirements for an additional soundproofing package. In addition to the above, the positive and negative factors to the apartment owner, regarding the sound insulation improvement, were pointed out from the literature and research.

Minimum sound insulation requirements established in the Scandinavian countries and Estonia cannot be assessed on the basis of the numbers given in the standards. For each country, an indicator assessing the insulation properties should be taken into account of the minimum requirements. If minimum requirements of Estonia and Scandinavian countries are brought to a common indicator, requirements for residential buildings are approximate, so it is possible to adopt the typical structures used in different countries.

Based on the calculation results, it could be concluded that the results of theoretical calculation models and Insul program are approximate on the basis of simple structures, compared to the sound measurements performed on site where inter-apartment structures were the same. Differences between the calculation results and the measurements occurred in more complex constructions, where the structure consisted of several layers or the properties of specific material itself affects the soundproofing which Insul or calculation methods cannot take into account. In addition,

in Insul for multy-layer construction, the design must be modified with fasteners to obtain a more optimal result. Otherwise, the program will evaluate the soundproofing significantly better.

Turned out that the most effective way to improve the sound insulation of typical construction solutions, is to add an additional shed wall to solid wall. When adding a partitional wall, the loss of space is minimal and the soundproofing achieved through it corresponds to the Scandinavian sound class A. Calculations for differents structures were performed using Insul. In order to take into account the effects of transition sounds, calculations were also carried out in CadnaB programm, based on bedroom of a typical two-room apartment. Based on the calculations of CadnaB, it was found that not a single observed inter-apartment structure can meet the requirements for sound class A $R'_w + C_{50-3150} \geq 63$ dB. There may be a issue regarding the usage of the program or the structures may not be soundproof enough to meet the requirements.

Soundproofing solutions for apartment doors and techical systems were based on theoretical solutions. Regarding the dwelling exterior door, a double door construction must be applied, which allows the use of two doors with lower sound performance, but as a construction higher sound insulation is achieved. To reduce the sound levels of technical systems, the pipes must be insulated with tube insulation or special sound insulating products. Regarding the ventilation sound, silencers with a higher sound absorption capacity must be used and if necessary, the air distributors as end elements could be replaced with quieter diffuser.

By implementing soundproofing solutions, it is possible to ensure a reduction of resident's sound disturbances, which results in improved sleep, reduction of stress and stress related symptoms and irritability. Residents can also feel more relaxed in their home environment and do not have to give up everyday activities that make more noise. At the same time, residents must take into account the loss of space in the apartment. There also may be situations where existing household appliances start to disturb people because their noise levels feel much higher than before.

In order to put together an additional soundproofing package, tests should be carried out on different structures, techincal systems and doors with specific products to guarantee soundproofing requirements. Sound measurements should be carried out in finished building to take into account any transmission sound. The experiments should be carried out in the future work with solutions to improve soundproofing regarding the traffic noise.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Birgit Rasmussen, „Building acoustic regulations in Europe – Brief history and actual situation“, Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2018.
- [2] Anders Løvstad, „Perceived sound quality in dwellings in Norway“, Oslo, 2017.
- [3] Soome Ehitusinseneride Liit RIL ry, RIL 243-1-2007 „Hoonete akustiline projekteerimine. Akustika alused“, Tallinn: ET-INFOkeskuse AS, 2009.
- [4] Insul, „Insul“, <https://www.insul.co.nz/>
- [5] CadnaB, „CadnaB“, <https://www.datakustik.com/products/cadnab/cadnab>
- [6] V. Hongisto, M. Mäkilä, M. Suokas, „Satisfaction with sound insulation in residential dwellings – The effect of wall construction“, Turku, 2014.
- [7] Nikolaos Georgios Vardaxis, „Evaluation of acoustic comfort in apartment buildings“, Lund, 2019.
- [8] B. Rasmussen, J.H.Rindel, „Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe“, Taani, 2009.
- [9] ScienceDirect, „Applied Acoustics“, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-acoustics>. [Kasutatud 30.märts 2022].
- [10] Sage Publications, „Building Acoustics“, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://journals.sagepub.com/loi/buaa>. [Kasutatud 30.märts 2022].
- [11] „Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2021“, [Vörgumaterjal]. Saadaval: <https://www.bnam2021.org/>. [Kasutatud 30.märts 2022].
- [12] „Internoise 2021“, [Vörgumaterjal]. Saadaval: [https://internoise2021.org/-](https://internoise2021.org/). [Kasutatud 30.märts 2022].
- [13] Leo L. Beranek, „Noise and vibration control engineering – Principles and applications (2nd edition)“, Hoboken: John Wiley & Sons, INC, 2006.
- [14] Eesti Standardikeskus, EVS 842:2003 „Ehitiste heliisolatsiooninõuded. Kaitse müra eest“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2003.
- [15] 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.
- [16] Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 16283-1:2014+A1:2017 „Akustika. Heliisolatsiooni mõõtmise hoonetes ja hoone osadel. Osa 1: Õhuheli isolatsioon“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2021.
- [17] Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 717-1:2021 „Akustika. Hoonete ja ehituselementide heliisolatsiooni hindamine. Osa 1: Õhuheli isolatsioon“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2021.

- [18] Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 16283-2:2020 „Akustika. Heliisolatsiooni mõõtmine hoonetes ja hoone osadel. Osa 2: Löögiheli isolatsioon“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2021.
- [19] Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 717-2:2021 „Akustika. Hoonete ja ehituselementide heliisolatsiooni hindamine. Osa 2: Löögiheli isolatsioon“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2021.
- [20] Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 10052:2021 „Akustika. Õhuheli ja löögiheli isolatsiooni ning tehnoseadmete heli välimõõtmine. Seiremeetod.“, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2021.
- [21] Sotsiaalminiseerium, määrus nr 42/2021, „Müra normtasemed elu- ja puhkealal, elamutes ning ühiskasutusega hoonetes ja mürataseme mõõtmise meetodid“, [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.riigiteataja.ee/akt/129122020047> [Kasutatud 21.märts 2022].
- [22] Suomen Standardisoimisliitto SFS 5907, „Acoustic classification of spaces in buildings“, Helsinki: SFS Suomen Standardisoimisliitto, 2005.
- [23] Finlex 796/2017, „Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä“, [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796> [Kasutatud 21.märts 2022].
- [24] Svensk Standard SS 25267:2015, „Acoustics – Sound classification of spaces in buildings – Dwellings“, Swedish Standards institute, 2015.
- [25] Boverket, „Boverket’s mandatory provisions and general recommendations, BBR“ 2019, [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.boverket.se/en/start/publications/publications/2019/boverkets-building-regulations--mandatory-provisions-and-general-recommendations-bbr/> [Kasutatud 22.märts 2022].
- [26] Norwegian Standard NS 8172:2019 „Acoustic conditions in buildings. Sound classification of various types of buildings“, Standard Norge, 2019.
- [27] Danish Standards, DS 490:2007 „Sound classification of dwellings“, Kopenhaagen: Dansk standard, 2007.
- [28] Executive order No.1615, „Executive order on building regulations 2018 (BR18)“, Kopenhaagen: Ministry of Transport, Building and Housing, 2018.
- [29] Oliver Kornadt, Albert Vogel, „New regulations on sound insulation in buildings in Germany“, Brisbane: Acoustics 2016.
- [30] COST Action TU0901, „Building Acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe“, [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.cost.eu/uploads/2018/07/Part_I.pdf, [Kasutatud 23.märts 2022].

- [31] Eesti Standardikeskus, EVS-EN ISO 12354-2:2017 „Ehitusakustika. Hoonete akustilise toimivuse hindamine elementide akustilise toime põhjal. Osa 2: Ruumidevaheline löögiheli isolatsioon“ Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2017.
- [32] Insul, „Insul. Tech Info“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.insul.co.nz/tech-info/> [Kasutatud 10.märts 2022].
- [33] Insul, „Sound insulation prediction program. Users manual“, Auckland: Marshall Day Acoustics, 2017.
- [34] CadnaB, „The building acoustic planning system“, [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.datakustik.com/products/cadnab/cadnab> [Kasutatud 10.märts 2022].
- [35] CadnaB, „Documentation“, Gilching: Datakustik GmbH, 2022.
- [36] Columbia-Kivi, „240-õõnesplokk“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.columbia-kivi.ee/240-oonesplokk/>. [Kasutatud 10.aprill 2022].
- [37] Betoonkonstruktsioonide projekteerimise alused, „Materjalid“ [Võrgumaterjal], Saadaval: https://moodle.ttkk.ee/pluginfile.php/303915/mod_resource/content/2/Osa%202.%20Materjalid%20%5B2020-01%5D.pdf. [Kasutatud 12.aprill.2022].
- [38] TMB element, „Precast concrete wall“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.tmbelement.ee/wp-content/uploads/2015/06/EPD-Precast-Concrete-Wall.pdf>. [Kasutatud 19.aprill 2022].
- [39] Fibo, „Fibo plokitooted ja lahendused“ [Võrgumaterjal], Saadaval: https://www.ee.weber/files/ee/202002/Fibo_plokitooted_A4_veebi_va%CC%88ike_5.pdf. [Kasutatud 19.aprill 2022].
- [40] V.Voltri, „Fibo plokide kasutamisjuhend“, Tallinn: 2012.
- [41] Weber, „weber TT“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.ee.weber/pahtlid/siseseinte-tasandamine-ja-viimistlemine/weber-tt>. [Kasutatud 20.aprill 2022].
- [42] Bauroc AS, „Heliisolatsioon“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://bauroc.ee/projekteerijale/heliisolatsioon/>. [Kasutatud 21.aprill 2022].
- [43] E-Betonelement, „Vahelaepaneelid“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://betonelement.ee/tooted/oonespaneelid/>. [Kasutatud 20.aprill 2022].
- [44] Isover Saint-Gobain, „Isover FLO“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.isover.ee/tooted/isover-flo>. [Kasutatud 20.aprill 2022].
- [45] Valtteri Hongisto, „Airborne sound insulation of wall structures – measurement and prediction methods“, Espoo: Helsinki University of Technology, 2000.
- [46] Füsün Demirel, „Noise caused by the usage of water piping in apartment building structures“, Ankara: Gazi University, 2005.
- [47] Marina Milner-Bolotin, Rina Zazkis, „A study of future physics teachers' knowledge for teaching: A case of a decibel sound level scale“, Soome, Lumat General Issue Vol 9 No 1 (2021), 336-365, 2021.

- [48] A. Jagniatinskis, M. Mickaitis, B. Fiks, „Development Classification Scheme for Evaluation Dwellings Sound Insulation Performance in Lithuania“, Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University, 2013.
- [49] Knauf Tallinn UÜ, „Kipsplaadid“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.knauf.ee/et/tooted/kipsplaadid/>. [Kasutatud 26.aprill 2022].
- [50] Paroc Group Oy, „PAROC Ultra“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.paroc.ee/tooted/konstruksioonid/uldehituslikud-soojustusmaterjalid/paroc-ultra>. [Kasutatud 26.aprill 2022].
- [51] Knauf Tallinn UÜ, „U-riputi akustiline“ [Võrgumaterjal], Saadaval: https://www.knauf.ee/et/tooted/u-riputi-akustiline.html#showtab-tab_85994_2. [Kasutatud 26.aprill 2022].
- [52] Knauf Tallinn UÜ, „CD-Otsekinnitusklipp“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.knauf.ee/et/tooted/cd-otsekinnitusklipp.html>. [Kasutatud 28.aprill 2022].
- [53] J.M. Herrera, M. Recuero, „Influence of seal installation to predict sound insulation of double panel steel doors“, Madrid: Universidad Politecnica de Madrid, 2009.
- [54] V. Hongisto, „Sound insulation of doors – Part 1: Prediction models for structural and leak transmission“, Turku: Finnish Institute of Occupational Health, 1999.
- [55] Haapsalu uksetehas, „Tuletõkkeuks EI30/R_w 43 dB“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.uksetehas.ee/tooted/tuletokkeuks-ei30-rw43db/>. [Kasutatud 01.mai 2022]
- [56] Haapsalu uksetehas, „Tule-, suitsu- ja helikindla välisukse EI30/R_w40dB Ex paigaldus- ja hooldusjuhend“ [Võrgumaterjal], Saadaval: https://www.uksetehas.ee/wp-content/uploads/2021/05/Tule-suitsu-ja-helikindla-v%C3%A4lisukse-EI30Rw40dB-Ex-paigaldus-ja-hooldusjuhend_Ver2.pdf. [Kasutatud 01.mai 2022].
- [57] V. Hongisto, J. Keränen, M. Lindgren, „Sound insulation of doors – Part 2: Comparison between measurement results and predictions“, Turku: Finnish Institute of Occupational Health, 1999.
- [58] Paul White, „Practical studio design: Part 2 – Soundproofing doors and windows“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.soundonsound.com/techniques/practical-studio-design-part2>. [Kasutatud 02.mai 2022].
- [59] Isover Saint-Gobain, „Isotec Climpipe Section Alu2 (CPS-Alu 2)“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.isover.ee/tooted/isotec-climpipe-section-alu2-cps-alu-2>. [Kasutatud 02.mai 2022].
- [60] Thermaflex „ThermaCompact“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://thermaflex.com/thermacompact/>. [Kasutatud 02.mai 2022].

- [61] Armacell, „ArmaSound RD“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://local.armacell.com/en/armacell-europe/products/armasound-rd/>. [Kasutatud 02.mai 2022].
- [62] Pipelife Eesti AS, „Vaikne hoonekanalisatsiooni süsteem“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.pipelife.ee/Hooned/Vaikne-hoonekanalisatsioon.html>. [Kasutatud 03.mai 2022].
- [63] Rehau, „Building drainage“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://www.rehau.com/de-de/gebaeudeentwaesserung>. [Kasutatud 03.mai 2022].
- [64] Füsün Demirel, „Noise caused by the usage of water piping in apartment building structures“, Ankara: Gazi University, 2005.
- [65] Flexit, „Nordic S3 installation instructions“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <http://www.cloxx.ee/dokumendid/flexit/paigaldusjuhend-koduagregaat-flexit-nordic-s3.pdf>. [Kasutatud 04.mai 2022].
- [66] Lindab Acoustic solutions, „Circular straight low-built silencer LRCA“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/lindab/technical/lrca.pdf>. [Kasutatud 04.mai 2022].
- [67] Lindab Acoustic solutions, „Circular straight silencer SLU“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/PDF/Documentation/ADS/Lindab/Technical/slu.pdf?v=5249429979469366918>. [Kasutatud 04.mai 2022].
- [68] ETS NORD, „DSK/DSK-P Difuser“ [Võrgumaterjal], Saadaval: https://pim.etsnord.com/data/RDT-11_DSK_DSK-P_et.pdf. [Kasutatud 04.mai 2022].
- [69] Armacell, „Armaflex XG“ [Võrgumaterjal], Saadaval: <https://kesko-onninen-pim-resources-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/17617521.pdf>. [Kasutatud 04.mai 2022].
- [70] M. J. Abbaszadeh, R. Madani, „Effects of non-acoustic factors on noise annoyance in apartment buildings“, Iraan: Art University of Isfahan, 2021.
- [71] R. Tucker, F. Andrews, L. Johnson, „Architects’ professional perspectives on child- and family-friendly apartment design in Australia“, Geelong: Journal of Asian architecture and building engineering, 2021.
- [72] Heidi A. R. Jensen, Birgit Rasmussen, Ola Ekholm, „Neighbour noise annoyance is associated with various mental and physical health symptoms: results from nationwide study among individuals living in multi-storey housing“, Kopenhaagen: BMC Public Health, 2019.
- [73] Juan Wang, Dan Norbäck, „Home environment and noise disturbance in a national sample of multi-family buildings in Sweden – associations with medical symptoms“, Uppsala: BMC Public Health, 2021.
- [74] Y. Chen, X. Yan, H. Li, J. Guo, „Human sleep in silent environment: experiment and results“, Beijing: Euronoise 2018.

LISAD

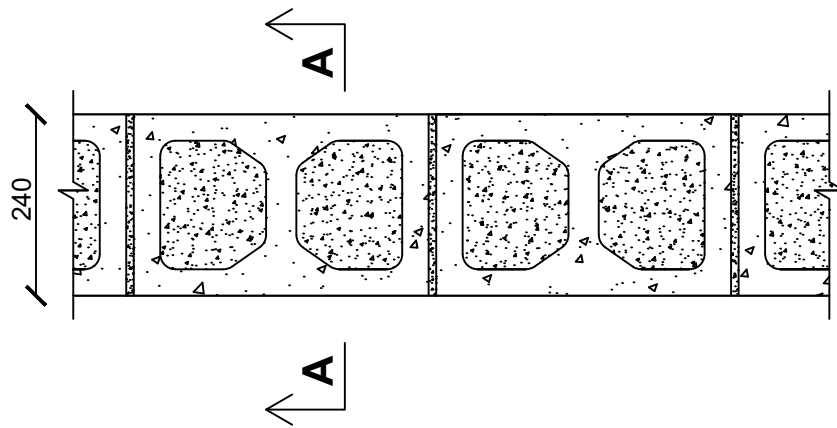
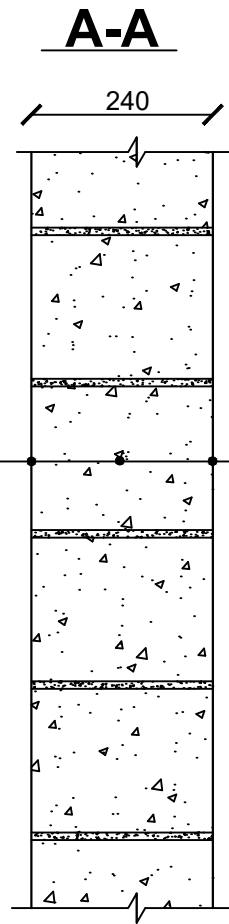
Lisa 1 Tüüpsete tarindite lõiked

TS 1

Krohvitud sisepind

Õõnes betoonplokk (täidetud) 240 mm

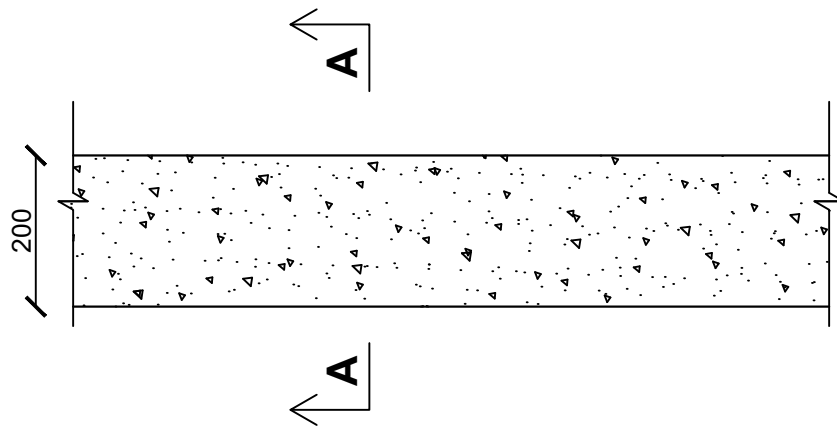
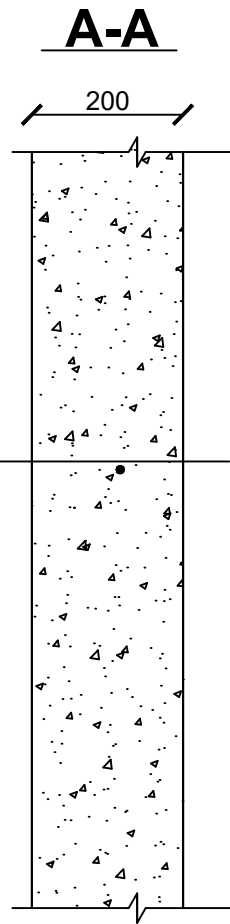
Krohvitud sisepind



TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Leht/Lehti 1/7
Koostaja: Ago Jaani		Tüüpsein TS1: Täisbetoneeritud õõnesbetoonplokk tarind	
Juhendaja: Marko Ründva			
Ehituse ja arhitektuuri instituut		Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule	

TS 2

Krohvitud sisepind	
Betoonpaneel	200 mm
Krohvitud sisepind	



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

2/7

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

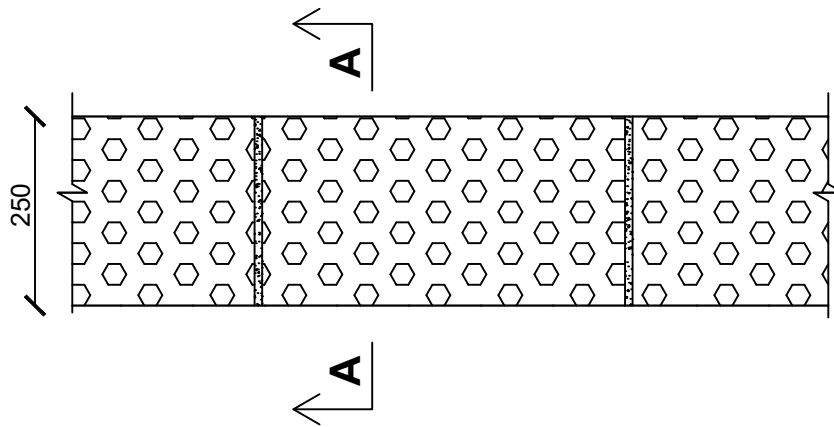
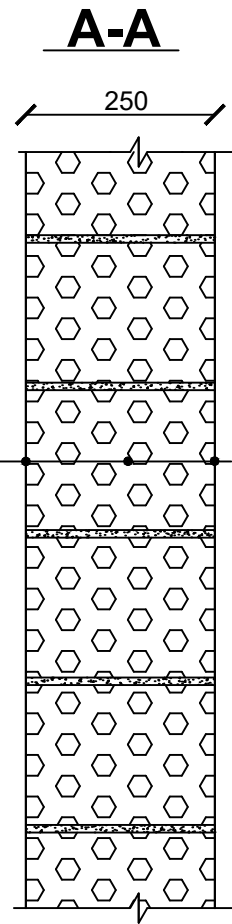
Tüüpsein TS2: Betoonpaneel sein

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri
heliisolatsiooni parendamiseks ning selle
kasutamise mõju elanikule

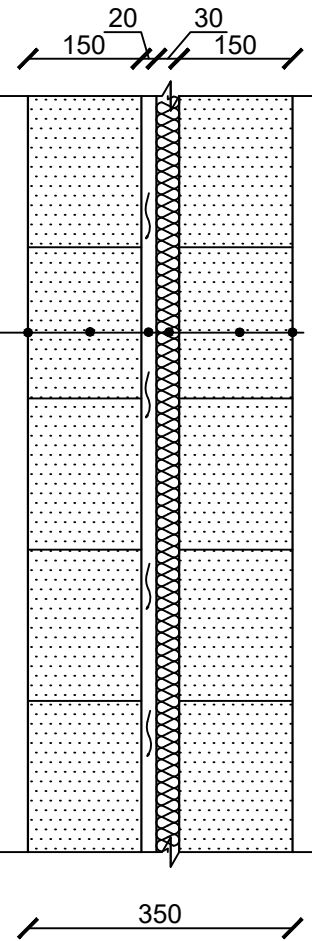
TS 3

Krohvitud sisepind	
Keramsiitplokki FIBO 5	250 mm
Krohvitud sisepind	



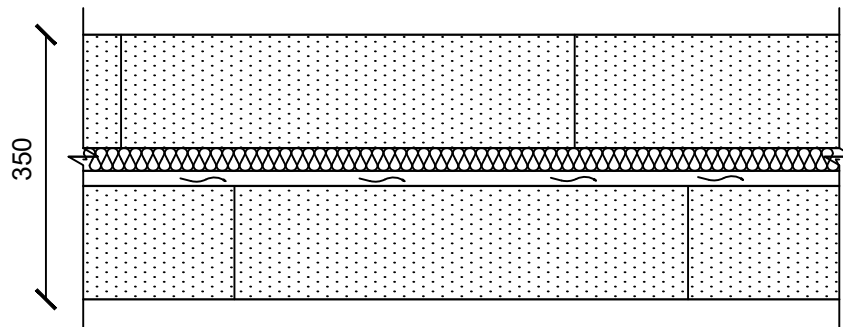
TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Leht/Lehti 3/7
Koostaja: Ago Jaani		Tüüpsein TS3: Keramsiitplokki Fibo 5 tarind	
Juhendaja: Marko Ründva			
Ehituse ja arhitektuuri instituut		Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule	

A-A



TS 4

Krohvitud sisepind	
Poorbetoonplokk ACOUSTIC	150 mm
Õhkvahe	20 mm
Min. Vill ISOVER FLO	30 mm
Poorbetoonplokk ACOUSTIC	150 mm
Krohvitud sisepind	



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

4/7

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

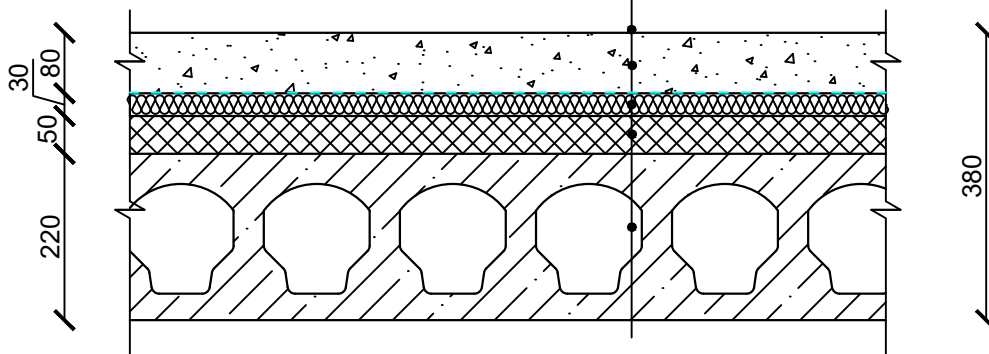
Tüüpsein TS4: Poorbetoonplokk Bauroc
Acoustic tarind

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri
heliisolatsiooni parendamiseks ning selle
kasutamise mõju elanikule

TVL 1

Siseviimistlus	~20 mm
Valubetoon	80 mm
Filterkangas või PVC kile	0,2 mm
Min. vill plaad ISOVER FLO	30 mm
EPS 80	50 mm
Õõnesbetoon paneel	220 mm



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

5/7

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

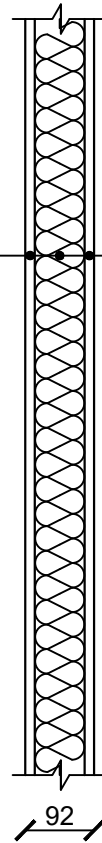
Tüüpne vahelae lõige TVL1: Vahelae standardlahendus

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule

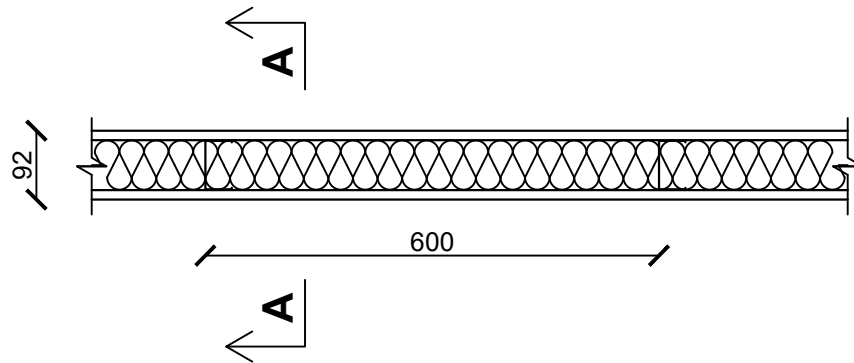
A-A

12,5 // 66 // 12,5



KSS 1

Erikõva kipsplaat Knauf KEK	12,5 mm
Kipskarkass R 66/35	66 mm
Min. Vill Paroc Ultra	66 mm
Erikõva kipsplaat Knauf KEK	12,5 mm



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

6/7

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

Korterisisene sein KSS 1: Kipsplaat
karkassil sisesein

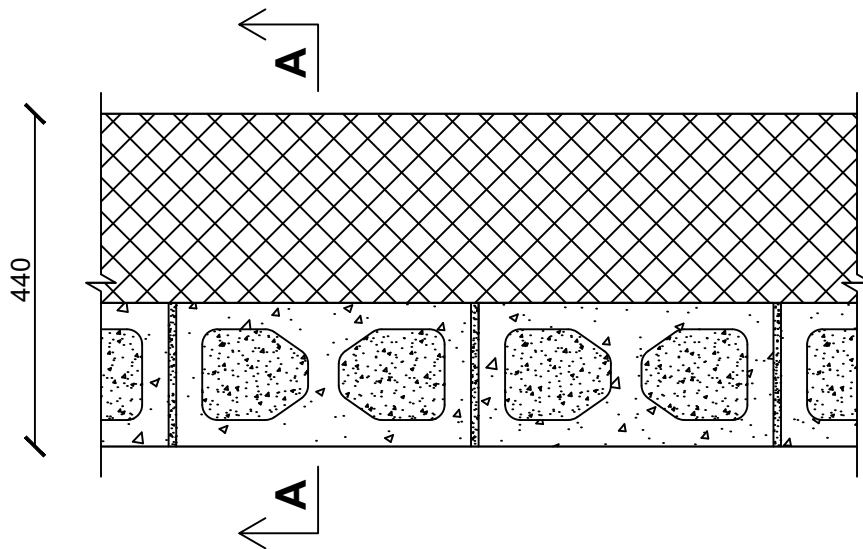
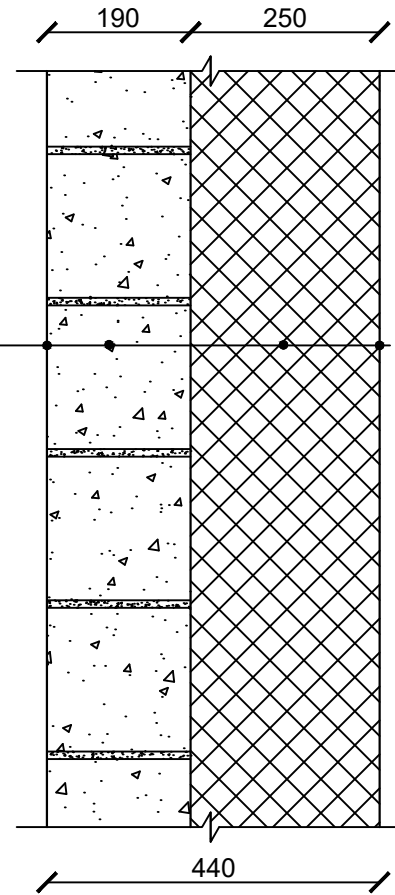
Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri
heliisolatsiooni parendamiseks ning selle
kasutamise mõju elanikule

A-A

VS 1

Krohvitud sisepind	
Õõnesbetoonplokk (täidetud)	190 mm
EPS 60 Silver	250 mm
Õhekrohvisüsteem	



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

7/7

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

Välissein VS 1: Täidetud
õõnesbetoonplokk välissein

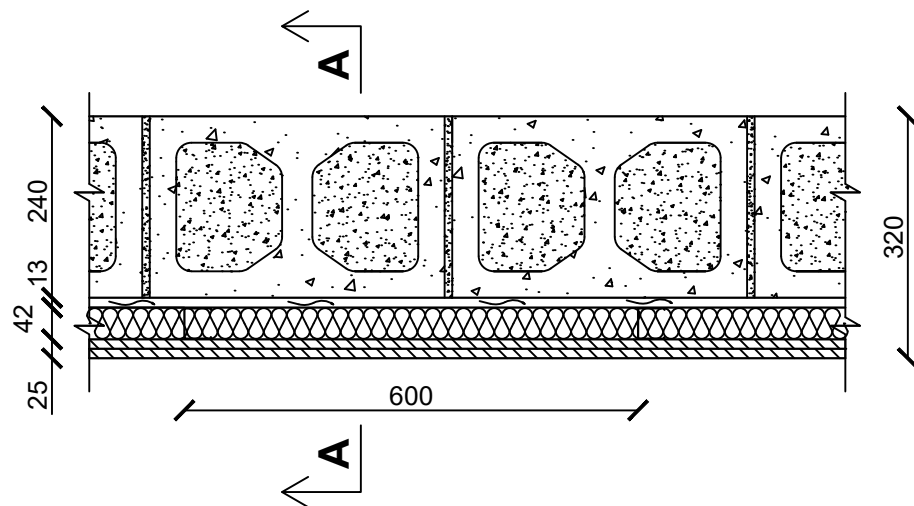
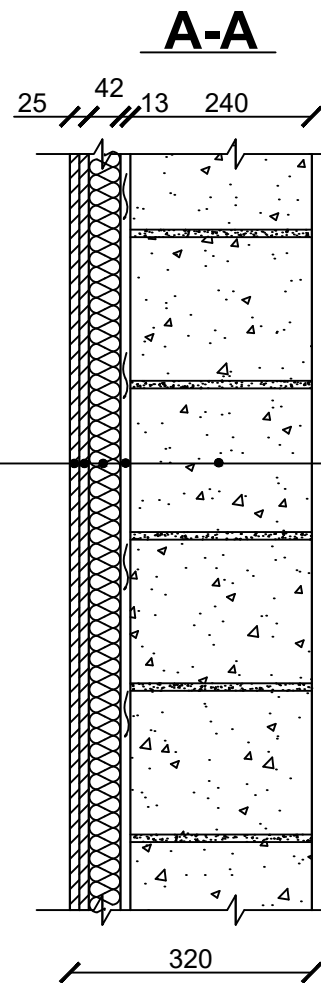
Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri
heliisolatsiooni parendamiseks ning selle
kasutamise mõju elanikule

Lisa 2 Parendatud tarindite lõiked

SS 1

Erikõva kipsplaat Knauf KEK	12,5 mm
Kipsplaat Knauf White GKB	12,5 mm
Kipskarkass R 42/35	42 mm
Min. Vill Paroc Ultra	42 mm
Õhkvahe	13 mm
Õõnes betoonplok (täidetud)	240 mm



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

1/5

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

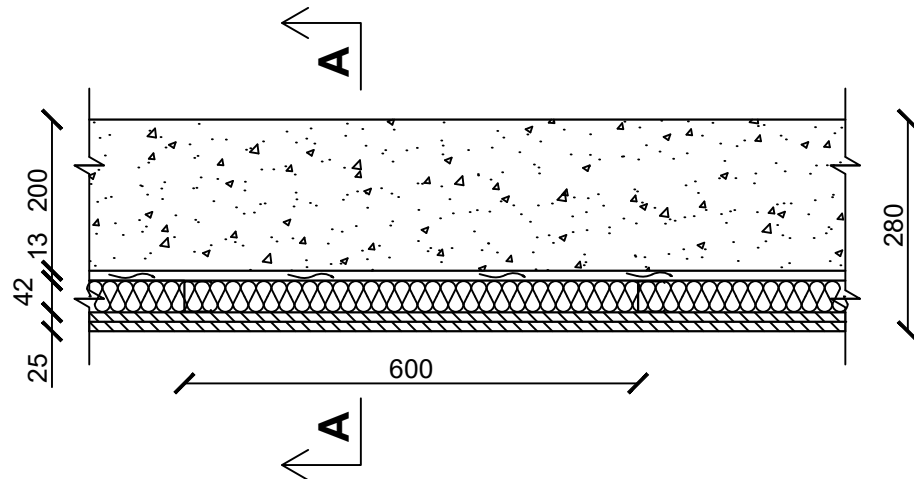
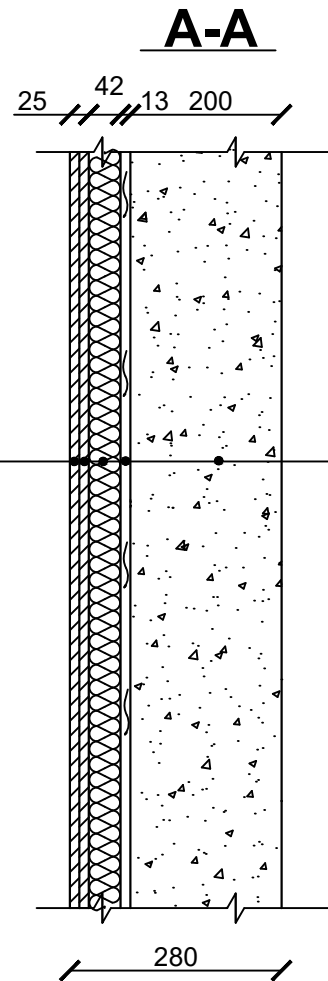
Seina lõige SS 1: Täidetud õõnesbetoon plok + varisein

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule

SS 2

Erikõva kipsplaat Knauf KEK	12,5 mm
Kipsplaat Knauf White GKB	12,5 mm
Kipskarkass R 42/35	42 mm
Min. Vill Paroc Ultra	42 mm
Õhkvahe	13 mm
Betoonpaneel	200mm



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

2/5

Koostaja:
Ago Jaani

Juhendaja:
Marko Ründva

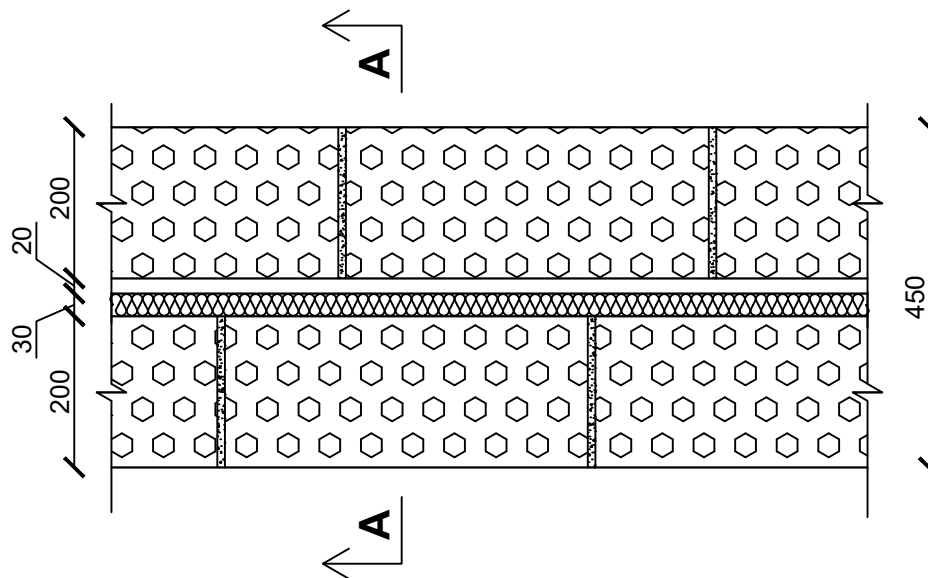
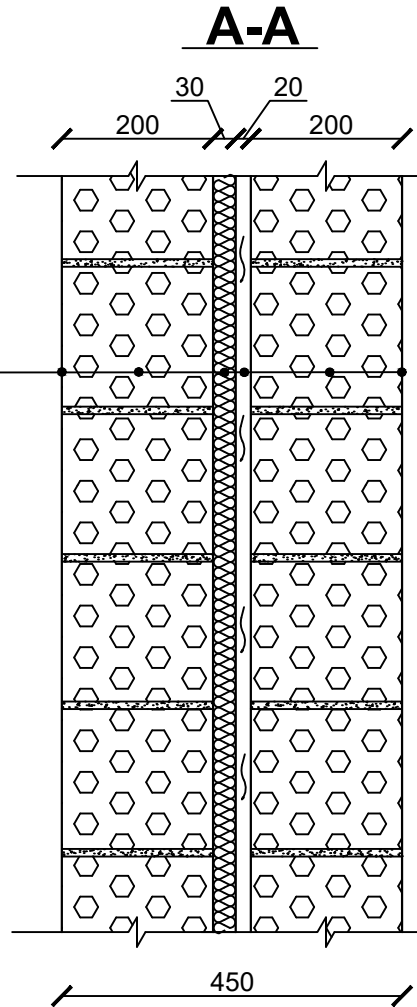
Seina lõige SS 2: Betoonpaneel +
varisein

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri
heliisolatsiooni parendamiseks ning selle
kasutamise mõju elanikule

SS 3

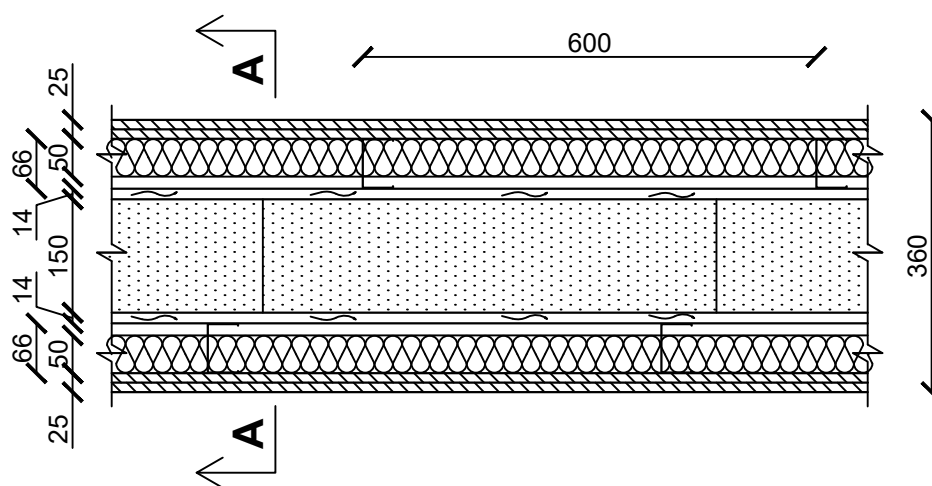
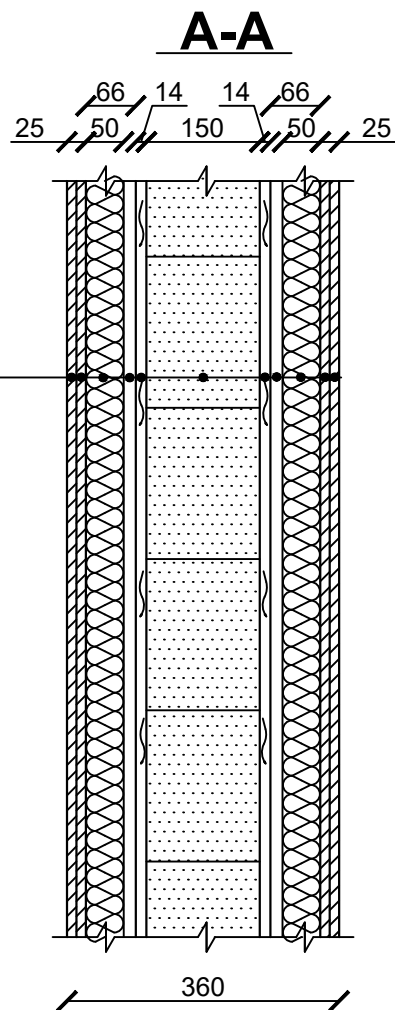
Krohvitud sisepind	
Keramsiitplokki FIBO 5	200 mm
Min. Vill ISOVER FLO	30 mm
Õhkvahe	30 mm
Keramsiitplokki FIBO 5	200 mm
Krohvitud sisepind	



TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Leht/Lehti 3/5
Koostaja: Ago Jaani		Seina lõige SS 3: Keramsiitplokki Fibo 5 topeltnüüritis	
Juhendaja: Marko Ründva			
Ehituse ja arhitektuuri instituut		Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule	

SS 4

Erikõva kipsplaat Knauf KEK	12,5 mm
Kipsplaat Knauf White GKB	12,5 mm
Kipskarkass VP 66/40	66 mm
Min. Vill Paroc Ultra	50 mm
Õhkvähe	14 mm
Bauroc ACOUSTIC	150mm
Õhkvähe	14 mm
Kipskarkass VP 66/40	66 mm
Min. Vill Paroc Ultra	50 mm
Kipsplaat Knauf White GKB	12,5 mm
Erikõva kipsplaat Knauf KEK	12,5 mm



TALTECH INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Leht/Lehti

4/5

Koostaja:

Ago Jaani

Juhendaja:

Marko Ründva

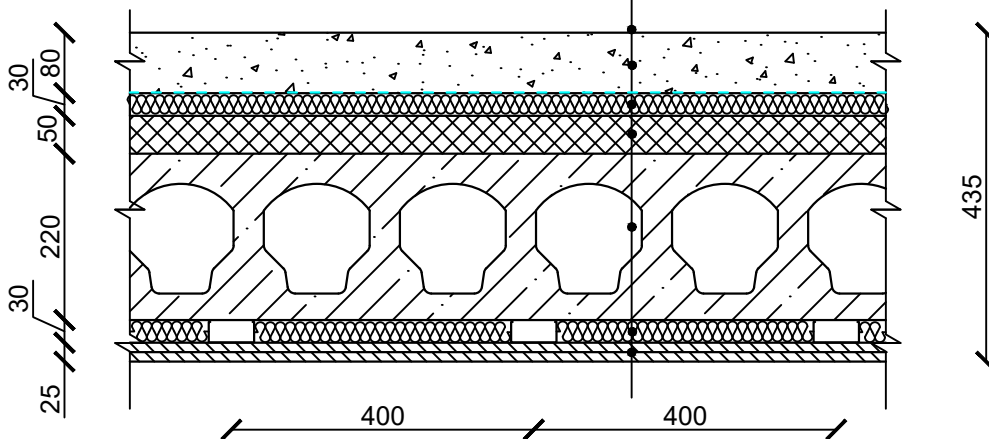
Seina lõige SS 4: Mitmekihiline sein
Bauroc ACOUSTIC + 2x varisein

Ehituse ja arhitektuuri instituut

Helipidavama valikupaketi loomine korteri
heliisolatsiooni parendamiseks ning selle
kasutamise mõju elanikule

VL 1

Siseviimistlus	~20 mm
Valubetoon	80 mm
Filterkangas või PVC kile	0,2 mm
Min. vill plaat ISOVER FLO	30 mm
EPS 80	50 mm
Õõnesbetoon paneel	220 mm
Metallprofiil CD 60/27	30 mm
Min. vill plaat ISOVER FLO	30 mm
2x Kipsplaat Knauf White GKB	25 mm



TALTECH INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Leht/Lehti 5/5
Koostaja: Ago Jaani		Vahelae lõige VL1: Standardlahendus + ripplagi	
Juhendaja: Marko Ründva			
Ehituse ja arhitektuuri instituut		Helipidavama valikupaketi loomine korteri heliisolatsiooni parendamiseks ning selle kasutamise mõju elanikule	

Lisa 3 Väljavõtted Insuli arvutustulemustest

Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

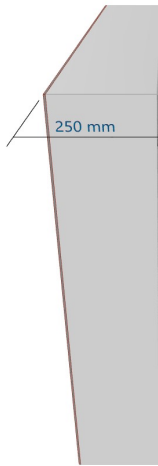
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 57 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -1 dB
 C_{tr 50-3150} -5 dB

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

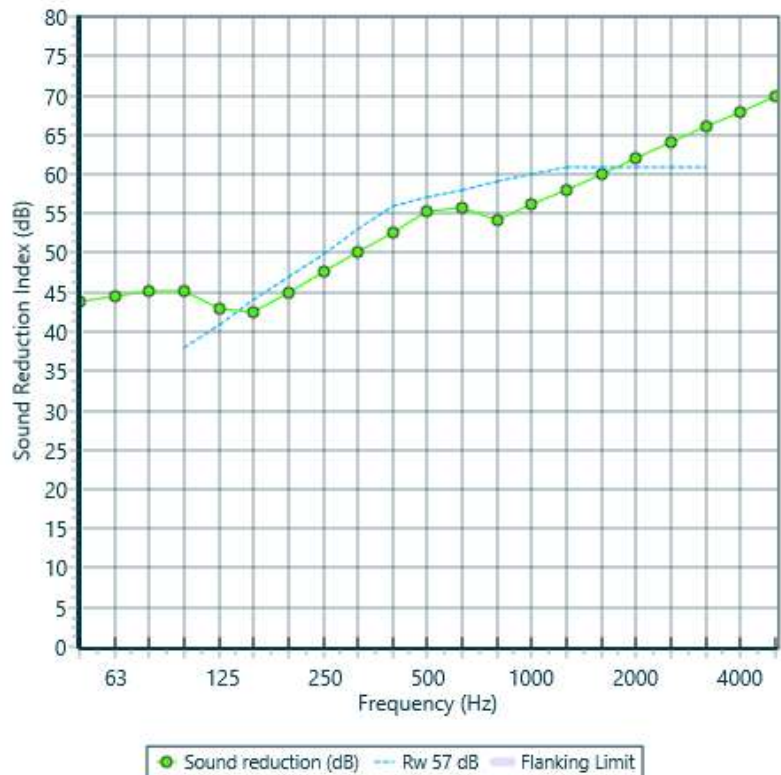
Partition surface mass = 474 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 5 mm Sand/Cement render (plaster)
 + 1 x 5 mm Sand/Cement render

+ 1 x 240 mm Firth 240mm Solid filled conc blocks

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	44	
63	45	44
80	45	
100	45	
125	43	43
160	42	
200	45	
250	48	47
315	50	
400	53	
500	55	54
630	56	
800	54	
1000	56	56
1250	58	
1600	60	
2000	62	62
2500	64	
3150	66	
4000	68	68
5000	70	



● Sound reduction (dB) --- R_w 57 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

- Key No. 5722

Job Name:

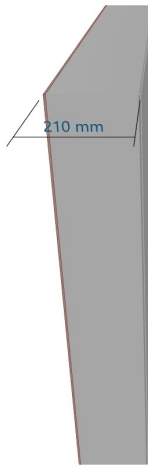
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 57 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -1 dB
 Ctr₅₀₋₃₁₅₀ -4 dB

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

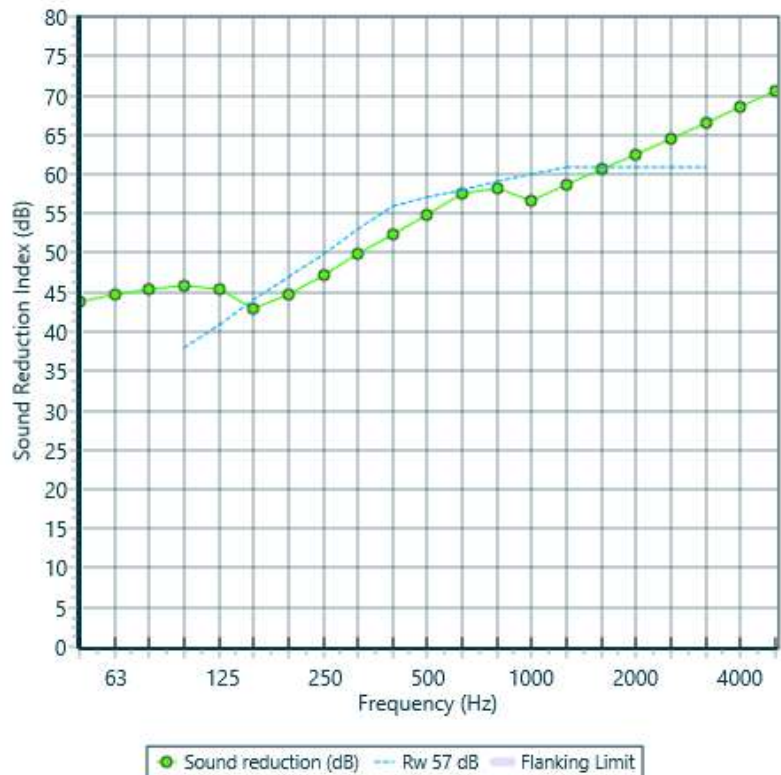
Partition surface mass = 484 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 5 mm Sand/Cement render
 + 1 x 5 mm Sand/Cement render (plaster)

+ 1 x 200 mm Concrete

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	44	
63	45	45
80	45	
100	46	
125	45	45
160	43	
200	45	
250	47	47
315	50	
400	52	
500	55	54
630	57	
800	58	
1000	57	58
1250	59	
1600	61	
2000	63	62
2500	65	
3150	67	
4000	69	68
5000	71	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

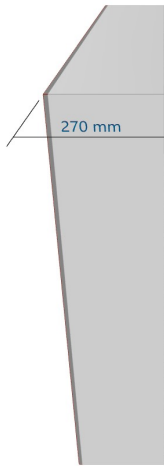
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Fibo 5 sein.ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 50 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -1 dB
 C_{tr 50-3150} -4 dB

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

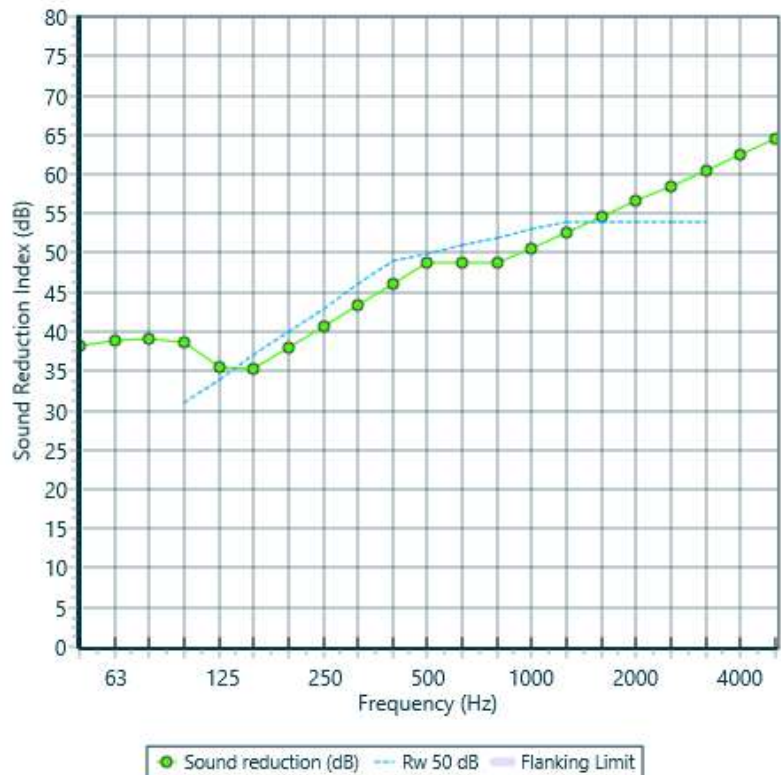
Partition surface mass = 257 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 10 mm Sand/Cement render (plaster)
 + 1 x 10 mm Sand/Cement render (plaster)

+ 1 x 250 mm Leca murblock typ 5

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	38	
63	39	39
80	39	
100	39	
125	36	36
160	35	
200	38	
250	41	40
315	43	
400	46	
500	49	48
630	49	
800	49	
1000	51	50
1250	53	
1600	55	
2000	57	56
2500	59	
3150	60	
4000	62	62
5000	64	



● Sound reduction (dB) - - - Rw 50 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

- Key No. 5722

Job Name:

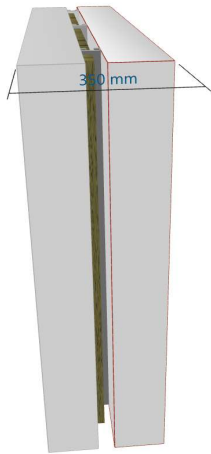
Job No.:

Date:08.05.2022

File Name:Aeroc sein.ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 56 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -5 dB
 C_{tr 50-3150} -16 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 35 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 173 kg/m²

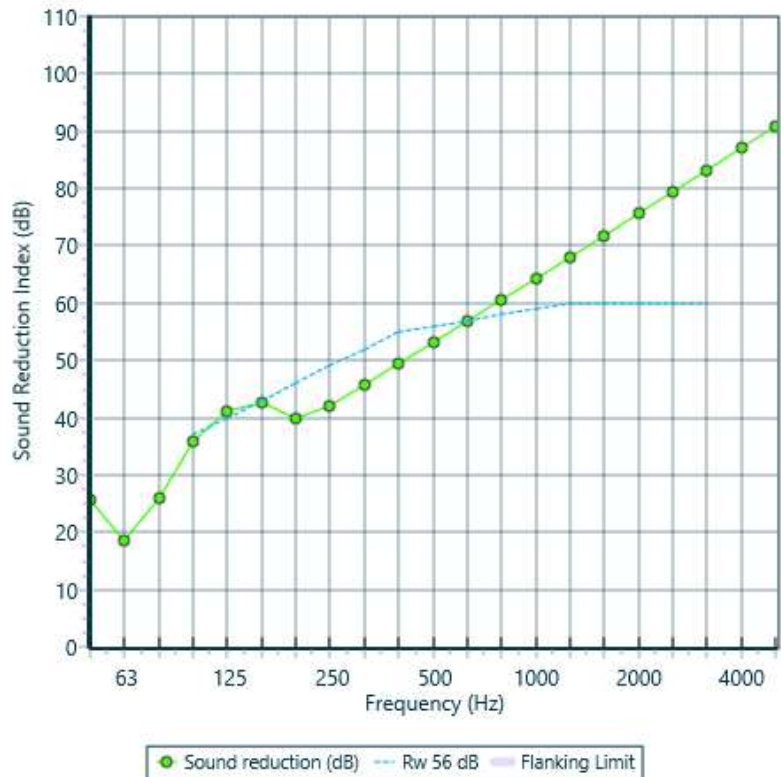
System description

Panel 1 : 1 x 150 mm Aerated Concrete Block

Frame: Steel Stud (0.55mm) (50 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 50 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 30 mm

Panel 2 : 1 x 150 mm Aerated Concrete Block

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	26	
63	19	22
80	26	
100	36	
125	41	39
160	43	
200	40	
250	42	42
315	46	
400	49	
500	53	52
630	57	
800	61	
1000	64	63
1250	68	
1600	72	
2000	76	75
2500	79	
3150	83	
4000	87	86
5000	91	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

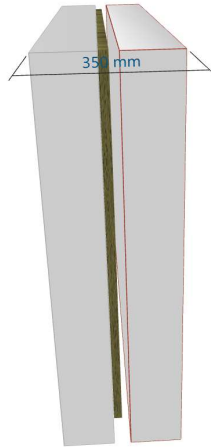
Job No.:

Date:08.05.2022

File Name:Aeroc sein.ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 66 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -3 dB
 Ctr₅₀₋₃₁₅₀ -12 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 35 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 173 kg/m²

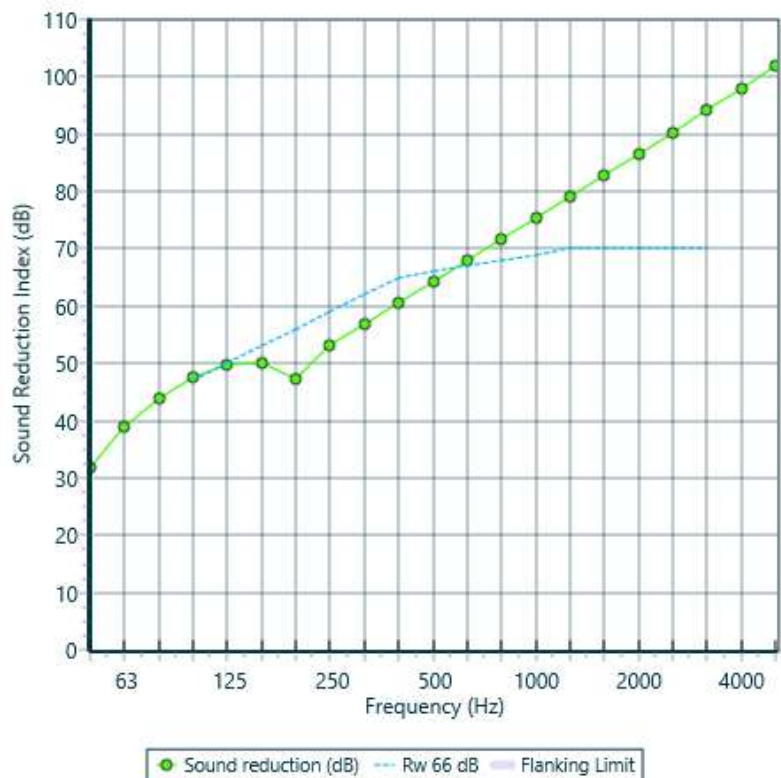
System description

Panel 1 : 1 x 150 mm Aerated Concrete Block

Frame: Double Masonry (40 mm x 45 mm), Stud spacing 600 mm; Cavity Width 50 mm, 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 30 mm

Panel 2 : 1 x 150 mm Aerated Concrete Block

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	32	
63	39	36
80	44	
100	48	
125	50	49
160	50	
200	47	
250	53	51
315	57	
400	61	
500	64	63
630	68	
800	72	
1000	75	74
1250	79	
1600	83	
2000	87	86
2500	90	
3150	94	
4000	98	97
5000	102	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

Initials:AgoJaani

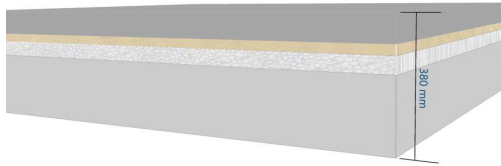
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Kontroll vahelagi.ixl



Notes:



R_w 71 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -5 dB
 Ctr₅₀₋₃₁₅₀ -12 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 141 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 497 kg/m²

System description

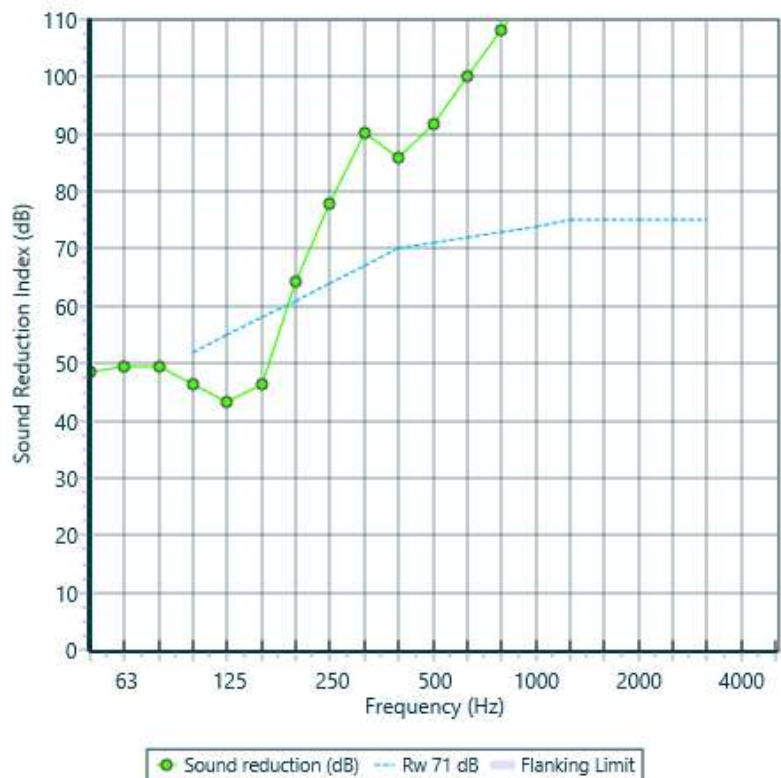
Panel 1 : 1 x 80 mm Concrete

+ 1 x 30 mm Min vil

Frame: Plastic foam underlay ; Cavity Width 50 mm

Panel 2 : 1 x 220 mm Hollow Concrete planks

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	48	
63	49	49
80	49	
100	46	
125	43	45
160	46	
200	64	
250	78	69
315	90	
400	86	
500	92	90
630	100	
800	108	
1000	116	112
1250	123	
1600	131	
2000	121	123
2500	122	
3150	129	
4000	137	133
5000	144	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

Margin of error is generally within $L_n, w \pm 5$ dB

- Key No. 5722

Job Name:

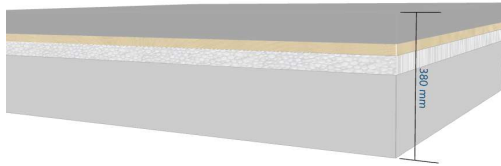
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Kontroll vahelagi.ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



L_n, w 56 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 110 Hz

Panel Size = 3,6 m x 2,8 m

Partition surface mass = 497 kg/m²

System description

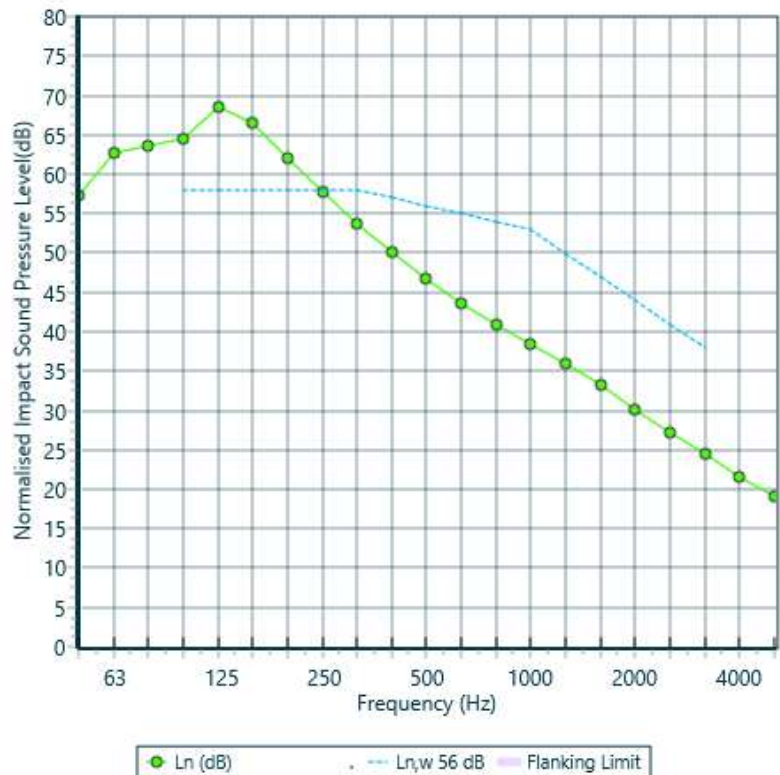
Panel 1 : 1 x 80 mm Concrete

+ 1 x 30 mm Min vil

Frame: Plastic foam underlay ; Cavity Width 50 mm

Panel 2 : 1 x 220 mm Hollow Concrete planks

freq.(Hz)	L_n (dB)	L_n (dB)
50	57	
63	63	67
80	64	
100	64	
125	69	72
160	67	
200	62	
250	58	64
315	54	
400	50	
500	47	52
630	44	
800	41	
1000	38	44
1250	36	
1600	33	
2000	30	36
2500	27	
3150	24	
4000	22	27
5000	19	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

Margin of error is generally within $L_n, w \pm 5$ dB

- Key No. 5722

Job Name:

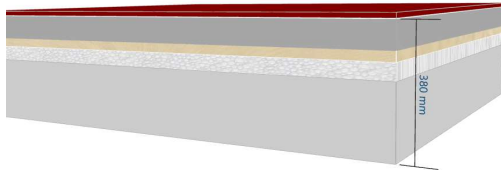
Job No.:

Date: 06.05.2022

File Name:

Initials: AgoJaani

Notes:



L_n, w 53 dB

Mass-air-mass resonant frequency = -110 Hz

Panel Size = 3,6 m x 2,8 m

Partition surface mass = 497 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 80 mm Concrete

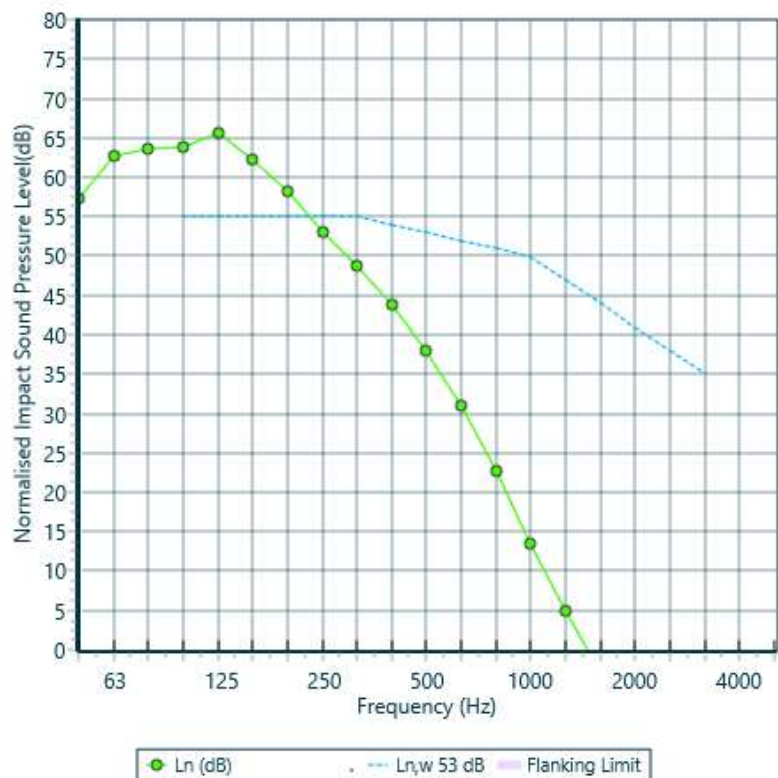
+ 1 x 30 mm Min vil

Frame: Plastic foam underlay ; Cavity Width 50 mm

Panel 2 : 1 x 220 mm Hollow Concrete planks

Floor Cover: Provent (3mm) under Parquet (14mm) Thickness 14 mm

freq.(Hz)	L_n (dB)	L_n (dB)
50	57	
63	63	67
80	64	
100	64	
125	66	69
160	62	
200	58	
250	53	60
315	49	
400	44	
500	38	45
630	31	
800	23	
1000	14	23
1250	5	
1600	-3	
2000	-13	-2
2500	-20	
3150	-26	
4000	-32	-24
5000	-32	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

Job No.:

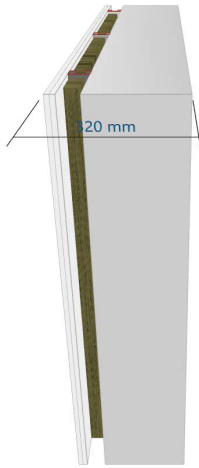
Date:06.05.2022

File Name:

Initials:AgoJaani



Notes:



R_w 68 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -3 dB
 C_{tr 50-3150} -13 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 51 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 479 kg/m²

System description

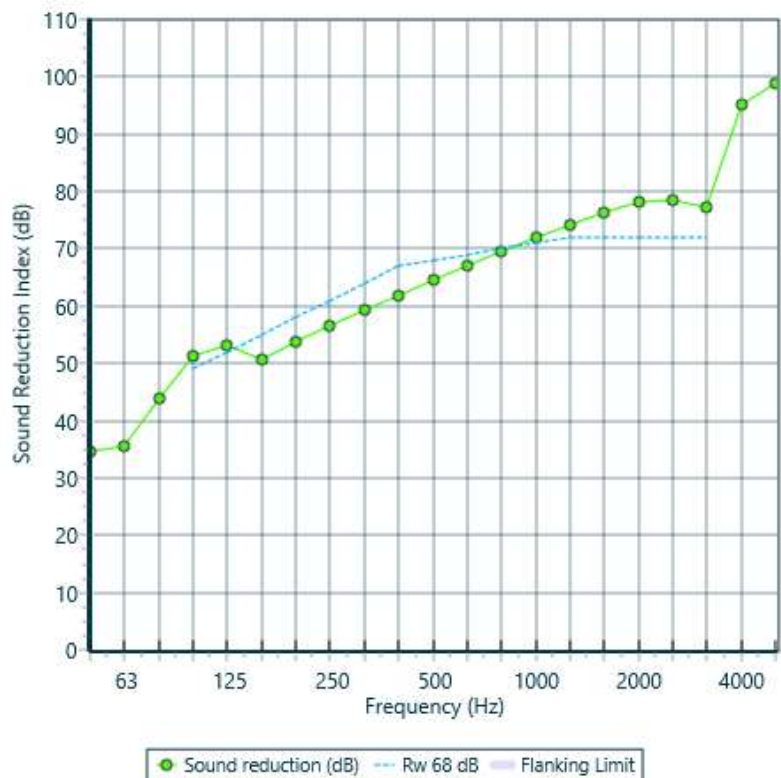
Panel 1 : 1 x 12,5 mm Knauf Impact Panel 12.5mm

+ 1 x 12,5 mm Gyproc Wallboard 12.5mm

Frame: Steel Stud (25g) (55 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 55 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 42 mm

Panel 2 : 1 x 240 mm Firth 240mm Solid filled conc blocks

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	35	
63	35	37
80	44	
100	51	
125	53	52
160	51	
200	54	
250	57	56
315	59	
400	62	
500	65	64
630	67	
800	70	
1000	72	72
1250	74	
1600	76	
2000	78	78
2500	78	
3150	77	
4000	95	82
5000	99	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

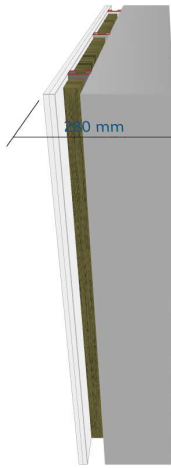
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Seina tüüp 2 (Rb 200_vill).ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 68 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -3 dB
 C_{tr 50-3150} -13 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 51 Hz

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

Partition surface mass = 488 kg/m²

System description

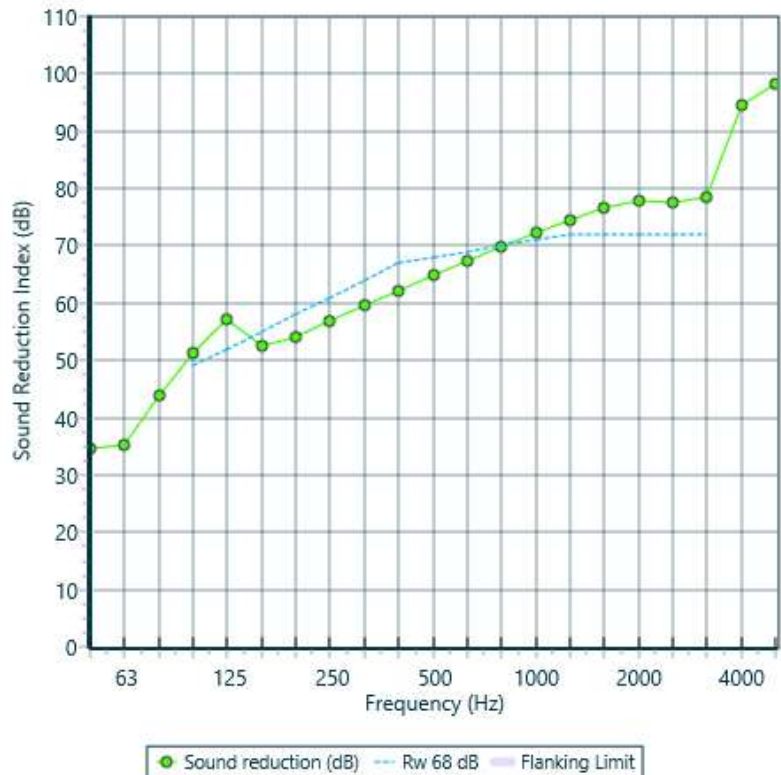
Panel 1 : 1 x 12,5 mm Knauf Impact Panel 12.5mm

+ 1 x 12,5 mm Knauf Wallboard 12.5mm

Frame: Steel Stud (0.55mm) (55 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 55 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 42 mm

Panel 2 : 1 x 200 mm Concrete

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	34	
63	35	36
80	44	
100	51	
125	57	53
160	52	
200	54	
250	57	56
315	60	
400	62	
500	65	64
630	67	
800	70	
1000	72	72
1250	74	
1600	76	
2000	78	77
2500	77	
3150	79	
4000	95	83
5000	98	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

Job No.:

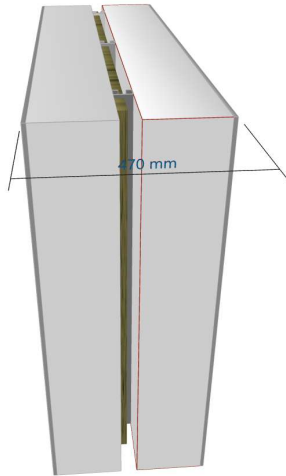
Date:10.05.2022

File Name:Seina tüüp 3 (Fibo 5).ixl

Initials:AgoJaani



Notes:



R_w 66 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -4 dB
 C_{tr 50-3150} -16 dB

Mass-air-mass resonant frequency = -23 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 393 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 10 mm Sand/Cement render (plaster)

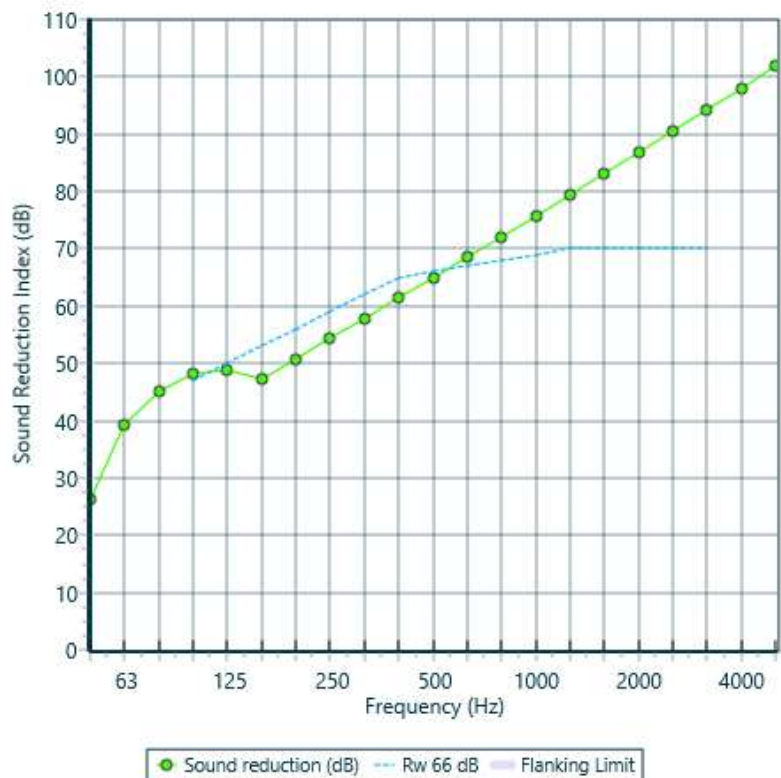
+ 1 x 200 mm Leca murblock typ 5

Frame: Steel Stud (0.55mm) (50 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 50 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 30 mm

Panel 2 : 1 x 200 mm Leca murblock typ 5

+ 1 x 10 mm Sand/Cement render (plaster)

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	26	
63	39	31
80	45	
100	48	
125	49	48
160	47	
200	51	
250	54	53
315	58	
400	61	
500	65	64
630	69	
800	72	
1000	76	75
1250	79	
1600	83	
2000	87	86
2500	91	
3150	94	
4000	98	97
5000	102	



● Sound reduction (dB) - - - Rw 66 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

- Key No. 5722

Job Name:

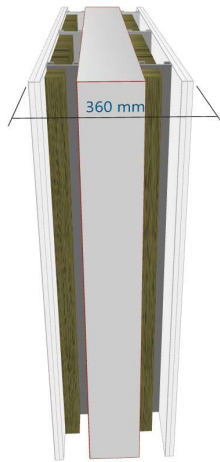
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Seina tüüp 3 (kips_vill_ablokk_vill_kips).ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 69 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -15 dB
 Ctr₅₀₋₃₁₅₀ -29 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 48 Hz , 58 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 128 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 12,5 mm Knauf Impact Panel 12.5mm

+ 1 x 12,5 mm Knauf Wallboard 12.5mm

Frame: Steel Stud (0.55mm) (80 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 80 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 50 mm

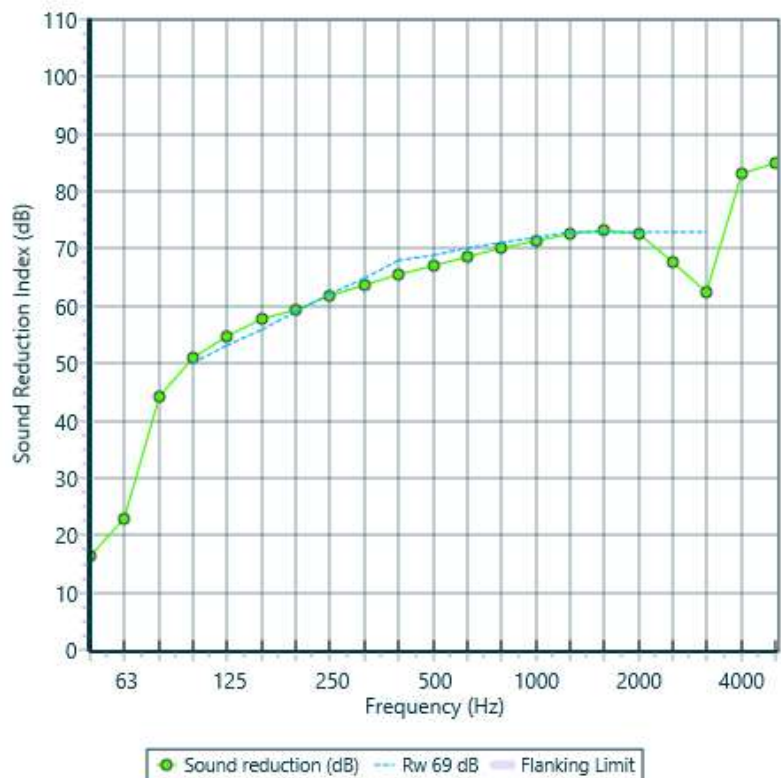
Panel 2 : 1 x 150 mm Aerated Concrete Block

Frame: Steel Stud (0.55mm) (80 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 80 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 50 mm

Panel 3 : 1 x 12,5 mm Knauf Impact Panel 12.5mm

+ 1 x 12,5 mm Knauf Wallboard 12.5mm

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	16	
63	23	20
80	44	
100	51	
125	55	54
160	58	
200	59	
250	62	61
315	64	
400	65	
500	67	67
630	69	
800	70	
1000	71	71
1250	73	
1600	73	
2000	73	70
2500	68	
3150	62	
4000	83	67
5000	85	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

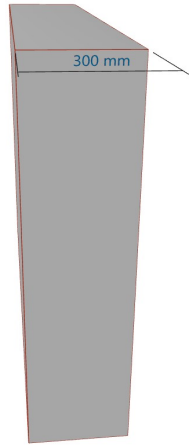
Job No.:

Date: 11.05.2022

File Name:

Initials: AgoJaani

Notes:



R_w 65 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -2 dB
 Ctr₅₀₋₃₁₅₀ -7 dB

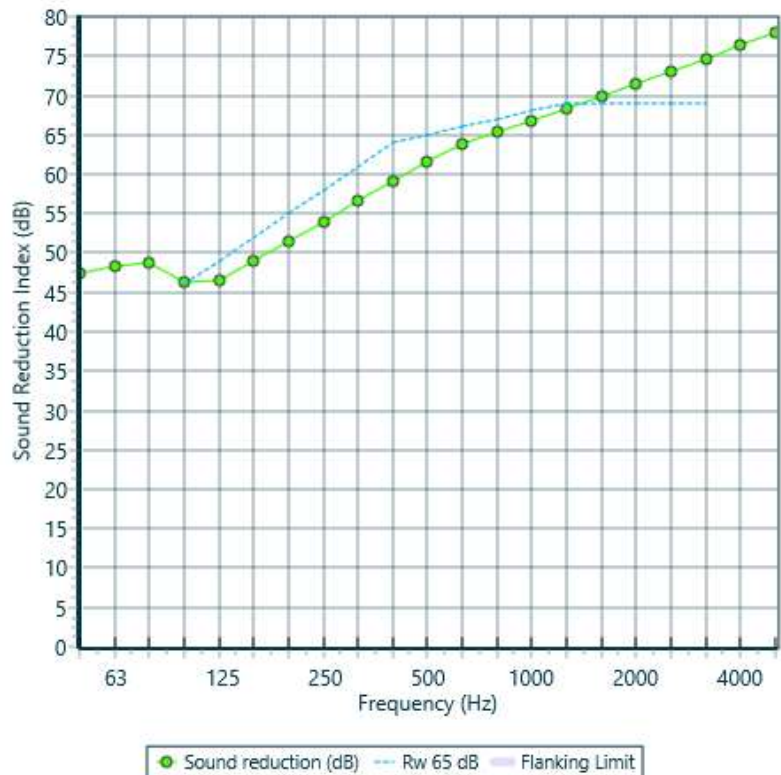
Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 702 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 300 mm Concrete

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	47	
63	48	48
80	49	
100	46	
125	46	47
160	49	
200	52	
250	54	54
315	57	
400	59	
500	62	61
630	64	
800	65	
1000	67	67
1250	68	
1600	70	
2000	72	71
2500	73	
3150	75	
4000	76	76
5000	78	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

Job No.:

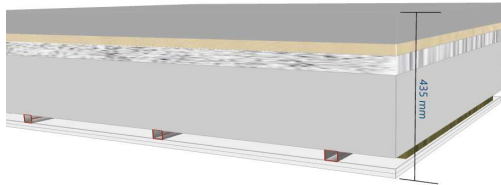
Initials:AgoJaani

Date:06.05.2022

File Name:Vahelagi tüüp 1_2 (konstrui_metal_kips 50).ixl



Notes:



R_w 75 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -8 dB
 Ctr₅₀₋₃₁₅₀ -17 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 86 Hz , 177 Hz

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

Partition surface mass = 515 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 80 mm Concrete

+ 1 x 30 mm Min vil

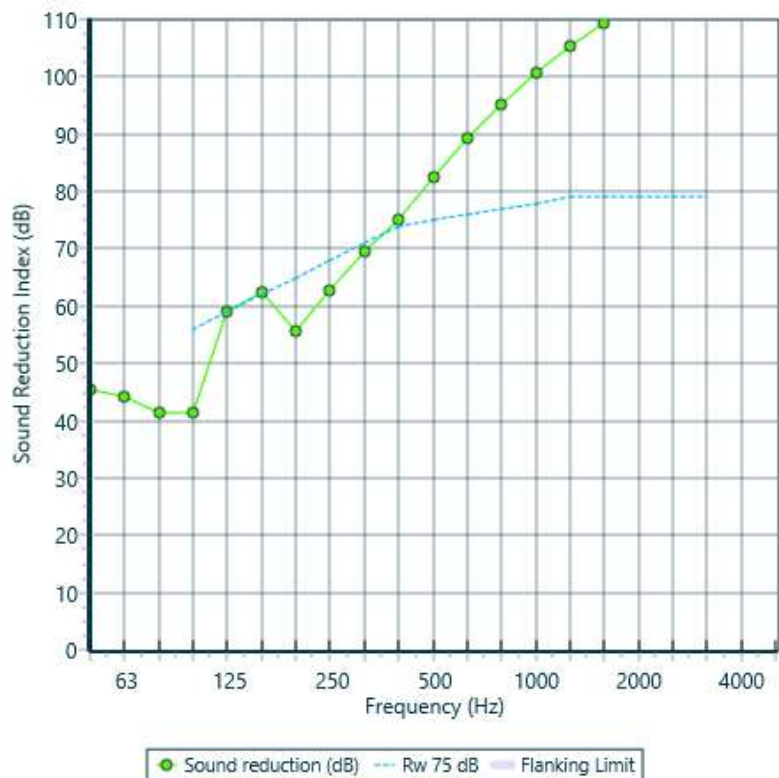
Frame: Plastic foam underlay ; Cavity Width 50 mm

Panel 2 : 1 x 220 mm Hollow Concrete planks

Frame: Cold formed Steel Joist (16-20g) (30 mm x 38 mm) , Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 30 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 30 mm

Panel 3 : 2 x 12,5 mm Knauf Wallboard 12.5mm

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	46	
63	44	43
80	41	
100	41	
125	59	46
160	63	
200	56	
250	63	59
315	69	
400	75	
500	82	79
630	89	
800	95	
1000	101	99
1250	105	
1600	109	
2000	113	111
2500	113	
3150	114	
4000	126	118
5000	130	



● Sound reduction (dB) - - - Rw 75 dB Flanking Limit

Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

Margin of error is generally within $L_n, w \pm 5$ dB

- Key No. 5722

Job Name:

Job No.:

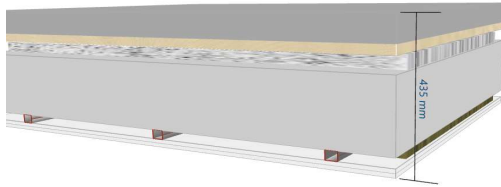
Initials:AgoJaani

Date:06.05.2022

File Name:Vahelagi tüüp 1 (konstrui_metal_kips 50).ixl



Notes:



L_n, w 32 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 24 Hz , 87 Hz

Panel Size = 3,6 m x 2,8 m

Partition surface mass = 500 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 80 mm Concrete

+ 1 x 30 mm Min vil

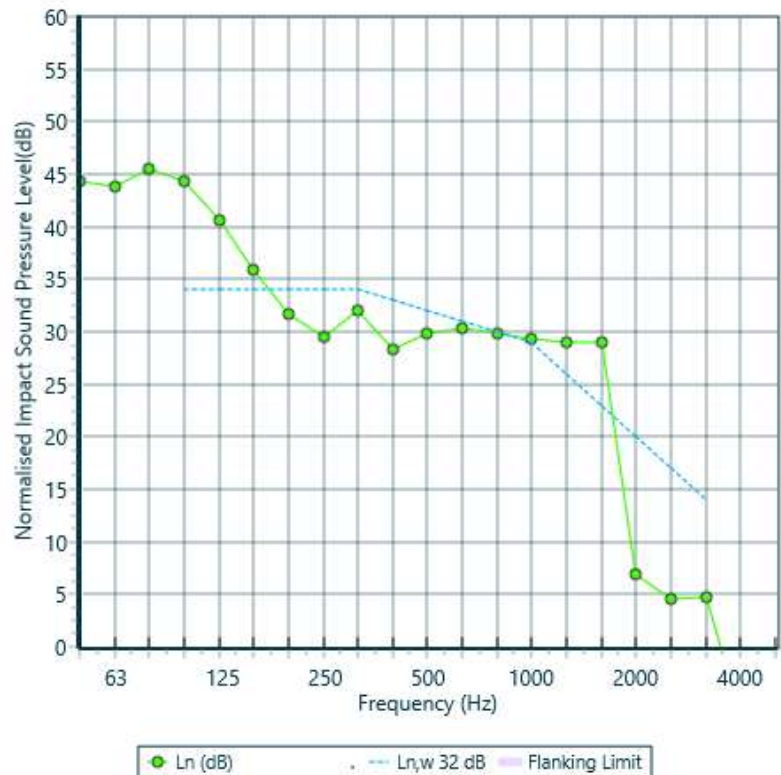
Frame: None (no connections) (30 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 50 mm , 1 x Styropian (30kg/m³) Thickness 50 mm

Panel 2 : 1 x 220 mm Hollow Concrete planks

Frame: Cold formed Steel Joist (16-20g) (30 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 30 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 30 mm

Panel 3 : 2 x 12,5 mm Knauf Wallboard 12.5mm

freq.(Hz)	L_n (dB)	L_n (dB)
50	44	
63	44	49
80	46	
100	44	
125	41	46
160	36	
200	32	
250	29	36
315	32	
400	28	
500	30	34
630	30	
800	30	
1000	29	34
1250	29	
1600	29	
2000	7	29
2500	5	
3150	5	
4000	-6	5
5000	-9	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Kipssein.ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 44 dB
 C₅₀₋₃₁₅₀ -5 dB
 C_{tr 50-3150} -14 dB

Mass-air-mass resonant frequency = -86 Hz

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

Partition surface mass = 23,8 kg/m²

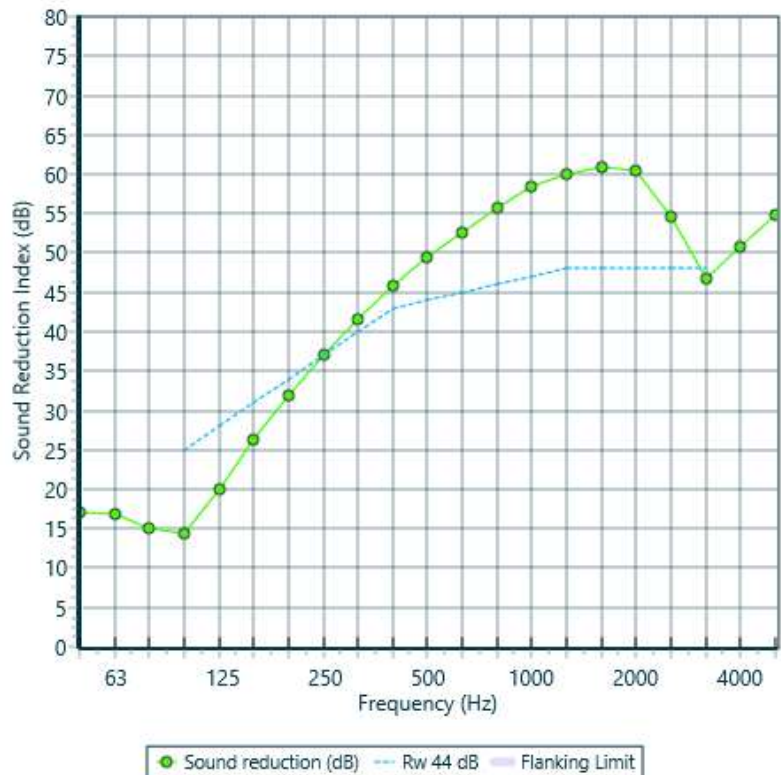
System description

Panel 1 : 1 x 12,5 mm Knauf Impact Panel 12.5mm

Frame: Steel Stud (0.55mm) (66 mm x 38 mm), Stud spacing 600 mm ; Cavity Width 66 mm , 1 x Rockwool (33kg/m³) Thickness 66 mm

Panel 2 : 1 x 12,5 mm Knauf Impact Panel 12.5mm

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	17	
63	17	16
80	15	
100	14	
125	20	18
160	26	
200	32	
250	37	35
315	42	
400	46	
500	49	48
630	53	
800	56	
1000	58	58
1250	60	
1600	61	
2000	60	58
2500	55	
3150	47	
4000	51	50
5000	55	



Sound Insulation Prediction (v9.0.23)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017

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

- Key No. 5722

Job Name:

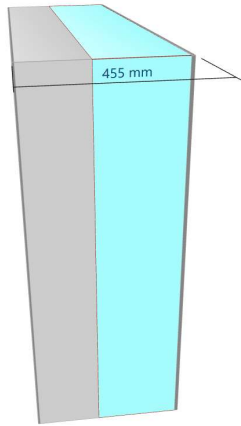
Job No.:

Date:06.05.2022

File Name:Columbia välissein.ixl

Initials:AgoJaani

Notes:



R_w 56 dB
 C -1 dB
 C_{tr} -5 dB

Panel Size = 2,6 m x 3,6 m

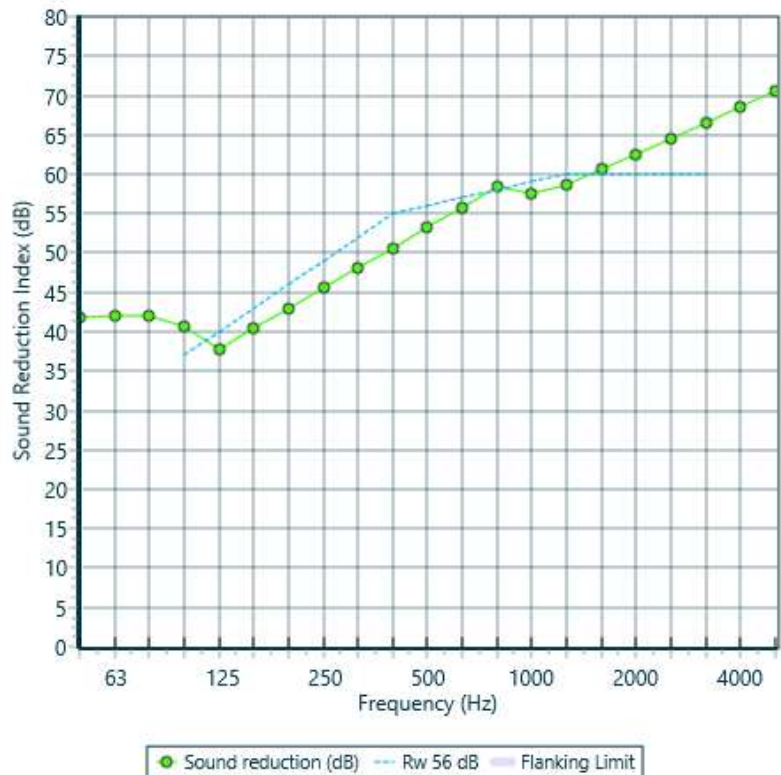
Partition surface mass = 389 kg/m²

System description

Panel 1 : 1 x 5 mm Sand/Cement render (plaster)
 + 1 x 250 mm EPS 80

+ 1 x 190 mm Firth 190mm Solid filled conc blocks
 + 1 x 10 mm Sand/Cement render

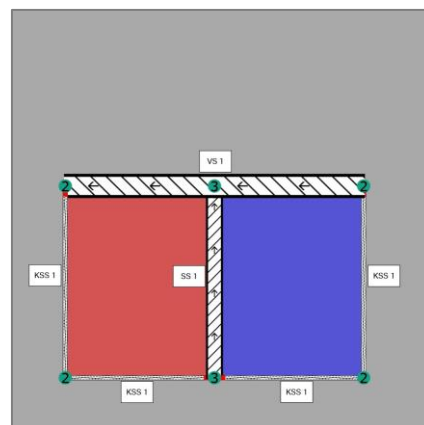
freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	42	
63	42	42
80	42	
100	41	
125	38	39
160	40	
200	43	
250	46	45
315	48	
400	51	
500	53	53
630	56	
800	58	
1000	57	58
1250	59	
1600	61	
2000	63	62
2500	65	
3150	67	
4000	69	68
5000	70	



Lisa 4 Väljavõtted CadnaB arvutustulemustest

Airborne transmission: Room A - Room B

Room pair	Sender room (red)	Receiver room (blue)
Name	Room A	Room B
Apartment	-	-
Type of use	Sleeping [protectionworthy]	Sleeping [protectionworthy]
Storey	Ground floor	Ground floor
Total area [m ²]	10.1	10.1
Height [m]	2.8	2.8
Joint face [m ²]	10.1	10.1

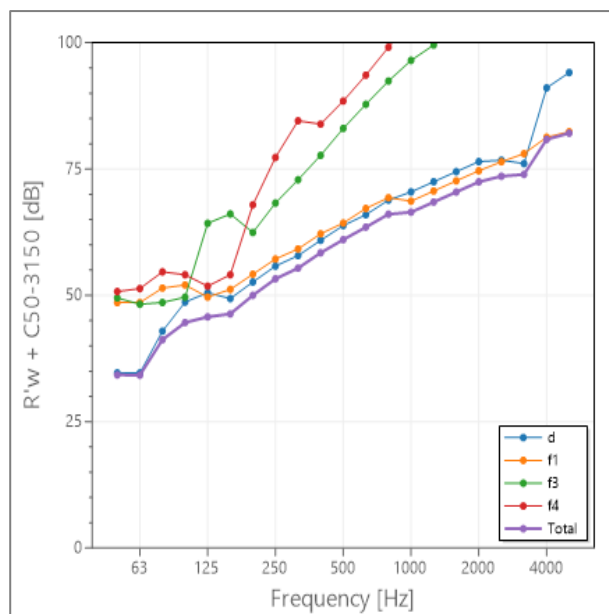


Constructions

Construction	Flank	Room	Element	A [m ²]	Air	Impact
SS 1	Dd	SR/RR	Wall 2	10.1	68.0	
KSS 1	F1	SR	Kipssein WC 1	7.8	44.0	
KSS 1	f1	RR	Kipssein WC 2	7.8	44.0	
VS 1	F2	SR	Välissein 1	7.8	56.0	
VS 1	f2	RR	Välissein 2	7.8	56.0	
TVL 1	F3	SR	Room A Floor	10.1	71.0	56.0
TVL 1	f3	RR	Room B Floor	10.1	71.0	56.0
VL 1	F4	SR	Room A Ceiling	10.1	75.0	32.0
VL 1	f4	RR	Room B Ceiling	10.1	75.0	32.0

Results

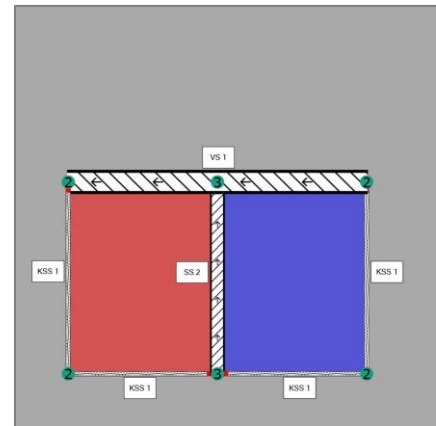
Insulation per element	R _{ij,w} [dB]
d	63,3
f1	65,8
f3	74,4
f4	73,4
R'w	64,2
R'w + C50-3150	61,2



Frequency [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Total [dB]	34.3	34.2	41.2	44.6	45.7	46.3	50.0	53.3	55.4	58.4	61.0	63.5	66.1	66.5	68.5	70.5	72.5	73.6	73.9	80.9	82.1

Airborne transmission: Room A - Room B

Room pair	Sender room (red)	Receiver room (blue)
Name	Room A	Room B
Apartment	-	-
Type of use	Sleeping [protectionworthy]	Sleeping [protectionworthy]
Storey	Ground floor	Ground floor
Total area [m ²]	10.1	10.1
Height [m]	2.8	2.8
Joint face [m ²]	10.1	10.1

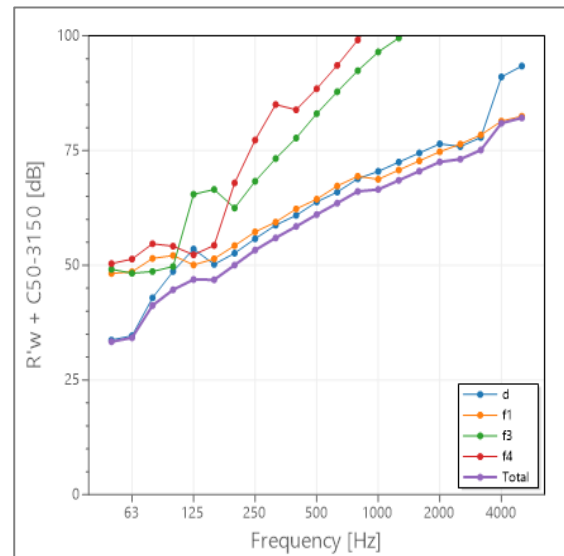


Constructions

Construction	Flank	Room	Element	A [m ²]	Air	Impact
SS 2	Dd	SR/RR	Wall 2	10.1	68.0	
KSS 1	F1	SR	Kipssein WC 1	7.8	44.0	
KSS 1	f1	RR	Kipssein WC 2	7.8	44.0	
VS 1	F2	SR	Välissein 1	7.8	56.0	
VS 1	f2	RR	Välissein 2	7.8	56.0	
TVL 1	F3	SR	Room A Floor	10.1	71.0	56.0
TVL 1	f3	RR	Room B Floor	10.1	71.0	56.0
VL 1	F4	SR	Room A Ceiling	10.1	75.0	32.0
VL 1	f4	RR	Room B Ceiling	10.1	75.0	32.0

Results

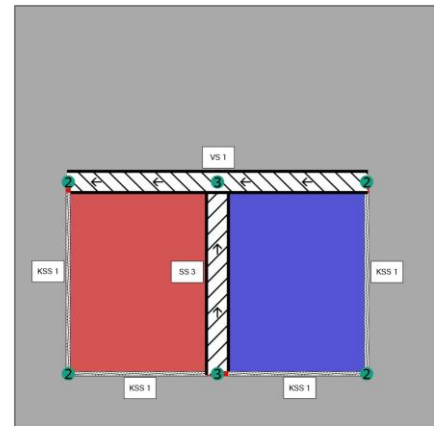
Insulation per element	R _{ij,w} [dB]
d	63,6
f1	66,0
f3	74,6
f4	73,6
R'w	64,4
R'w + C50-3150	61,4



Frequency [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Total [dB]	33.3	34.2	41.2	44.7	46.9	46.8	50.0	53.3	56.0	58.5	61.1	63.5	66.1	66.5	68.5	70.5	72.5	73.1	75.1	81.0	82.1

Airborne transmission: Room A - Room B

Room pair	Sender room (red)	Receiver room (blue)
Name	Room A	Room B
Apartment	-	-
Type of use	Sleeping [protectionworthy]	Sleeping [protectionworthy]
Storey	Ground floor	Ground floor
Total area [m ²]	10.1	10.1
Height [m]	2.8	2.8
Joint face [m ²]	10.1	10.1

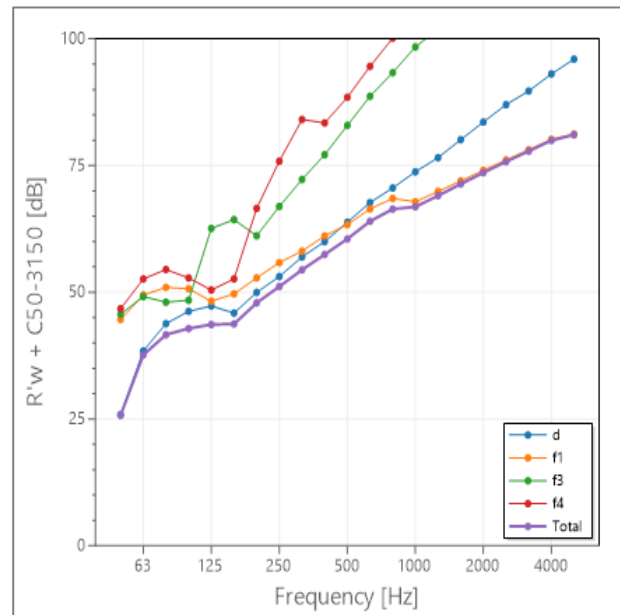


Constructions

Construction	Flank	Room	Element	A [m ²]	Air	Impact
SS 3	Dd	SR/RR	Wall 2	10.1	66.0	
KSS 1	F1	SR	Kipssein WC 1	7.8	44.0	
KSS 1	f1	RR	Kipssein WC 2	7.8	44.0	
VS 1	F2	SR	Välissein 1	7.8	56.0	
VS 1	f2	RR	Välissein 2	7.8	56.0	
TVL 1	F3	SR	Room A Floor	10.1	71.0	56.0
TVL 1	f3	RR	Room B Floor	10.1	71.0	56.0
VL 1	F4	SR	Room A Ceiling	10.1	75.0	32.0
VL 1	f4	RR	Room B Ceiling	10.1	75.0	32.0

Results

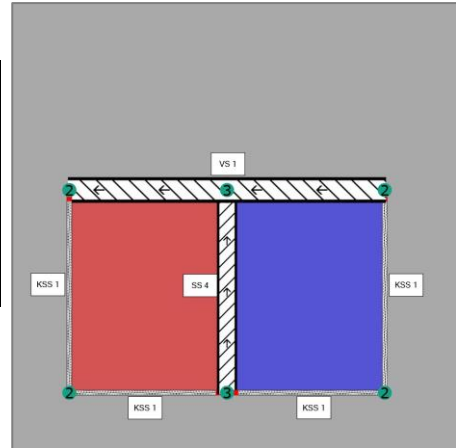
Insulation per element	R _{ij,w} [dB]
d	60,6
f1	64,8
f3	73,2
f4	72,1
R'w	62.9
R'w + C50-3150	58.9



Frequency [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Total [dB]	25.7	37.6	41.6	42.9	43.6	43.7	47.9	51.1	54.4	57.5	60.5	64.0	66.4	66.9	69.1	71.4	73.6	75.8	77.8	80.0	81.1

Airborne transmission: Room A - Room B

Room pair	Sender room (red)	Receiver room (blue)
Name	Room A	Room B
Apartment	-	-
Type of use	Sleeping [protectionworthy]	Sleeping [protectionworthy]
Storey	Ground floor	Ground floor
Total area [m ²]	10.1	10.1
Height [m]	2.8	2.8
Joint face [m ²]	10.1	10.1

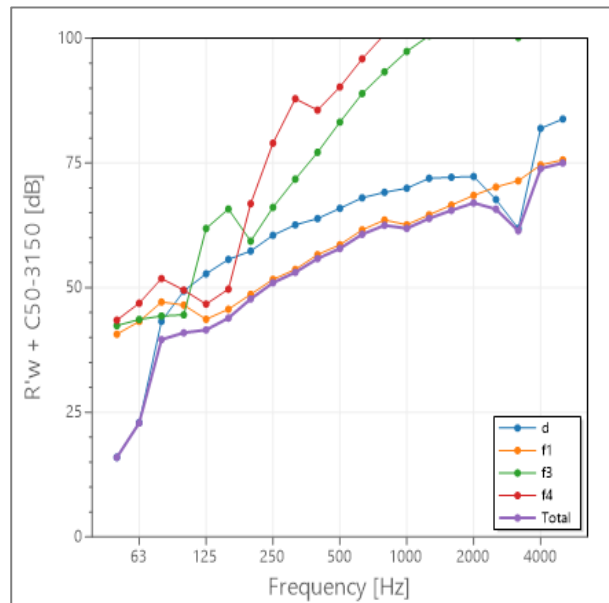


Constructions

Construction	Flank	Room	Element	A [m ²]	Air	Impact
SS 4	Dd	SR/RR	Wall 2	10.1	69.0	
KSS 1	F1	SR	Kipssein WC 1	7.8	44.0	
KSS 1	f1	RR	Kipssein WC 2	7.8	44.0	
VS 1	F2	SR	Välissein 1	7.8	56.0	
VS 1	f2	RR	Välissein 2	7.8	56.0	
TVL 1	F3	SR	Room A Floor	10.1	71.0	56.0
TVL 1	f3	RR	Room B Floor	10.1	71.0	56.0
VL 1	F4	SR	Room A Ceiling	10.1	75.0	32.0
VL 1	f4	RR	Room B Ceiling	10.1	75.0	32.0

Results

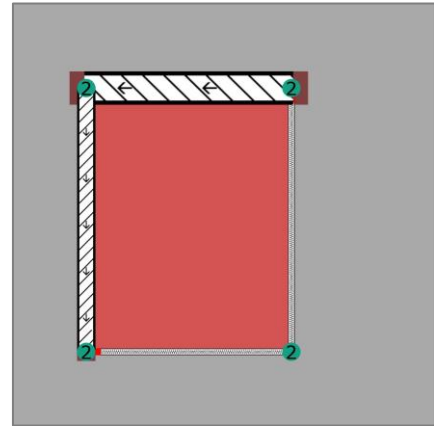
Insulation per element	R _{ij,w} [dB]
d	53,5
f1	60,1
f3	70,2
f4	68,2
R'w	60.7
R'w + C50-3150	52.7



Frequency [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Total [dB]	15.9	22.8	39.6	40.9	41.5	43.9	47.7	51.0	53.1	55.8	57.8	60.7	62.5	61.9	63.9	65.5	67.0	65.7	61.4	73.9	75.0

Airborne transmission: Room B - Room A

Room pair	Sender room (red)	Receiver room (blue)
Name	Room B	Room A
Apartment	-	-
Type of use	Sleeping [protectionworthy]	Sleeping [protectionworthy]
Storey	First floor	Ground floor
Total area [m ²]	10.1	10.1
Height [m]	2.8	2.8
Joint face [m ²]	10.1	10.1

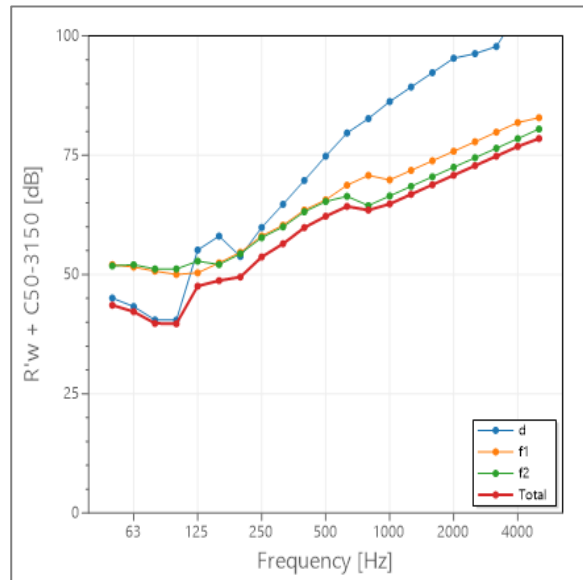


Constructions

Construction	Flank	Room	Element	A [m ²]	Air	Impact
VL 1	Dd	SR/RR	Room A Ceiling	10.1	75.0	32.0
KSS 1	F1	SR	Kipssein WC 2	7.8	44.0	
KSS 1	f1	RR	Kipssein WC 1	7.8	44.0	
KSS 1	F2	SR	Kipssein elutuba 2	10.1	44.0	
KSS 1	f2	RR	Kipssein elutuba	10.1	44.0	
VS 1	F3	SR	Välissein 2	7.8	56.0	
VS 1	f3	RR	Välissein 1	7.8	56.0	
TS 1	F4	SR	Korterivaheline sein 2	10.1	57.0	
TS 1	f4	RR	Korterivaheline sein 1	10.1	57.0	

Results

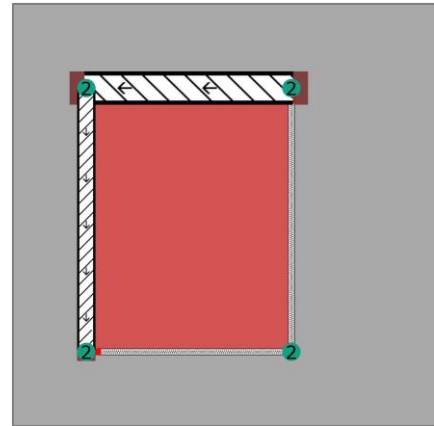
Insulation per element	R _{ij,w} [dB]
d	65,9
f1	67,0
f2	70,2
R' _w	66,0
R' _w + C50-3150	63,0



Frequency [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Total [dB]	43.6	42.2	39.8	39.7	47.6	48.7	49.5	53.7	56.5	59.8	62.2	64.3	63.5	64.8	66.8	68.8	70.8	72.8	74.8	76.8	78.5

Impact transmission: Room B - Room A

Room pair	Sender room (red)	Receiver room (blue)
Name	Room B	Room A
Apartment	-	-
Type of use	Sleeping [protectionworthy]	Sleeping [protectionworthy]
Storey	First floor	Ground floor
Total area [m ²]	10.1	10.1
Height [m]	2.8	2.8
Joint face [m ²]	10.1	10.1

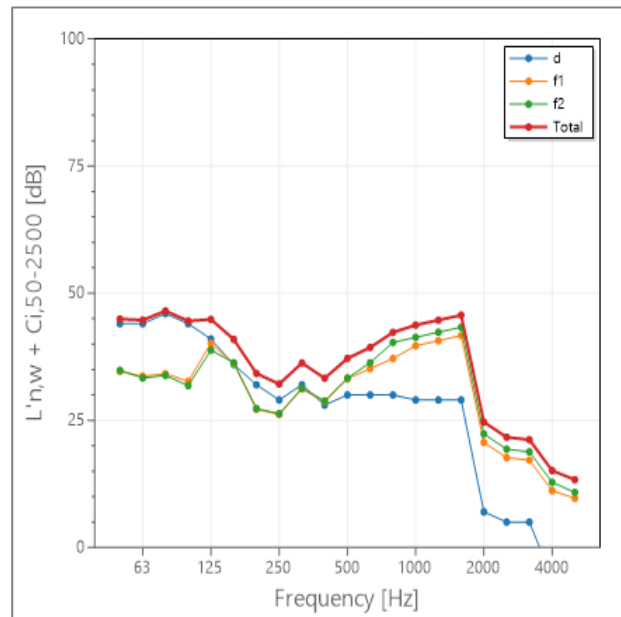


Constructions

Construction	Flank	Room	Element	A [m ²]	Air	Impact
VL 1	Dd	SR/RR	Room A Ceiling	10.1	75.0	32.0
KSS 1	F1	SR	Kipssein WC 2	7.8	44.0	
KSS 1	f1	RR	Kipssein WC 1	7.8	44.0	
KSS 1	F2	SR	Kipssein elutuba 2	10.1	44.0	
KSS 1	f2	RR	Kipssein elutuba	10.1	44.0	
VS 1	F3	SR	Välissein 2	7.8	56.0	
VS 1	f3	RR	Välissein 1	7.8	56.0	
TS 1	F4	SR	Korteritevaheline sein 2	10.1	57.0	
TS 1	f4	RR	Korterivaheline sein 1	10.1	57.0	

Results

Insulation per element	Ln _{ij,w} [dB]
d	36,5
f1	34,1
f2	30,2
L'n,w	39,5
L'n,w + Ci,50-2500	38,5



Frequency [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Total [dB]	44.9	44.7	46.5	44.5	44.9	40.9	34.2	32.1	36.3	33.3	37.2	39.3	42.3	43.7	44.7	45.7	24.7	21.7	21.2	15.1	13.3