

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Juha Kaskinen ja Teela Kortelainen

KIVIAINESTÄYTTTEISEN CLT-VÄLIPOHJAN ÄÄNENERISTÄVYYS

Opinnäytetyö
Joulukuu 2018

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Määräykset ja ohjeet.....	6
2.1 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä	6
2.2 Asumisterveysohje	7
2.3 Rakennusten akustinen luokitus SFS 5907	7
2.4 Mittauksiin liittyvät standardit	9
3 Tietoa CLT:stä	9
3.1 Yleistä.....	9
3.2 CLT rakennusteollisuudessa	11
3.3 Käyttö Suomessa ja ulkomailla.....	12
3.4 Ääneneristävyys	13
4 Äänen ominaisuudet	14
4.1 Äänenpainetaso ja taajuus	14
4.2 Äänen teoriaa	16
4.2.1 Massalaki	16
4.2.2 Resonanssi-ilmiö.....	16
4.2.3 Koinsidenssi-ilmiö	20
4.2.4 Absorptio ja jälkikaiunta-aika.....	21
4.3 Runko- ja sivusiirtymät	22
5 Puurakenteiden ääneneristävyys.....	24
5.1 Välipohja.....	24
5.2 Huoneistojen välinen osastoiva seinä.....	27
5.3 Sylodyn- ja Sylomer-tärinäeristeet.....	28
6 Tutkimuksen toteutus.....	30
6.1 Menetelmät ja rakentaminen	30
6.2 Ilmaääneneristävyden mittaaminen	35
6.3 Askelääneneristävyden mittaaminen	38
7 Tulokset	40
7.1 Laskentamenetelmät	40
7.1.1 Ilmaääneneristävyden laskeminen	40
7.1.2 Askelääneneristävyden laskeminen	41
7.1.3 Taustamelun korjaaminen mittaustuloksiin	42
7.2 Mittaustulokset.....	45
7.2.1 Ilmaääneneristävyden tulokset.....	45
7.2.2 Askelääneneristävyden tulokset.....	46
7.2.3 Taustamelun korjauksen vaikutus askeläänentasolukuihin.....	47
7.2.4 Kelluvan pintalaatan ominaistajuuden vaikutus.....	48
7.2.5 Erottavien rakenteiden koinsidenssi- ja ominaistajuus	50
7.3 Tulosten yhteenveto	55
7.4 Luotettavuus	59
8 Pohdinta	60
Lähteet.....	62

Liitteet

Liite 1	Binderholz GmbH -yrityksen tutkimusaineisto
Liite 2	Väliseinän ilmaääneneristävyden mittaustulokset
Liite 3	Välipohjan askelääneneristävyden mittaustulokset

Liite 4 Jatkuvan välipohjan ja väliseinän rakennekuva
Liite 5 Katkaistun välipohjan rakennekuva



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2018
Rakennustekniikan koulutus

Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijät
Juha Kaskinen ja Teela Kortelainen

Nimeke
Kiviainestäyhteisen CLT-välipohjan ääneneristävyys

Toimeksiantaja
Karelia-ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Opinnäytetyömme aiheena oli CLT-runkoisen ja kiviainestäyhteisen välipohjaelementin sekä CLT-tilaelementtien välisen osastoivan seinän ääneneristävyden tutkiminen ja mittaaminen. Työssä käytettiin yhteensä neljää eri Sylodyn- ja Sylomer-täriäeristinlaatua ja välipohjarakenteen ääneneristävyttä tutkittiin sekä jatkuvana että katkaistuna rakenteena. Kyseinen välipohjarakenne on Suomessa vielä melko tuntematon ja työssä otettiin mallia Binderholz GmbH:n kehittämästä välipohjarakenteesta, jossa yhtenä rakennekerroksena on käytetty kiviainesta.

Ensimmäisenä työvaiheena rakensimme mallin mukaisen välipohjaelementin, joka siirrettiin kahden CLT-tilaelementin päälle. Askel- ja ilmaäänien akustiset kenttämittaukset suoritettiin tilaelementtien sisältä ja mittauksissa noudatettiin soveltuvien osien standardien SFS-EN ISO 16283-2, SFS-EN ISO 16283-1 sekä SFS-EN ISO 12999-1 mukaisia ohjeita. Mittauksissa käytettiin standardoituja ja kalibroituja mittalaitteita. Tulosten laskennassa ja tulosraporttien luontiin käytettiin NorBuild-ohjelmaa.

Mittaustuloksista saatiin selvillä, että käytettyjen täriäeristimien väliset erot ovat pieniä. Parhaimmaksi askeläänentasoluvuksi saatiin yhtenäisellä välipohjarakenteella alapuolelta mitattuna 58 dB ja viistoittain 53 dB. Paras ilmaääneneristävyysluku 53 dB saatiin ilman täriäeristintä. Saatuihin mittaustuloksiin heikentävästi vaikuttivat niin tilaelementtien liitosrakenteet, ovet sekä valun aikana muodostuneet äänen kulkureitit rakenteeseen. Työssä selvisi, että kiviaines osana CLT-välipohjan rakennetta on potentiaalinen vaihtoehto ääneneristävyden ominaisuuksiltaan ja sitä täytyisi tutkia lisää.

Kieli
suomi

Sivuja	63
Liitteet	5
Liitesivumäärä	22

Asiasanat
CLT-välipohja, askeläänentasoluku, ilmaääneneristävyys, kiviaines, Sylomer, Sylodyn



THESIS
November 2018
Degree Programme in Civil
Engineering

Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
+358 13 260 600 (switchboard)

Author(s)
Juha Kaskinen and Teela Kortelainen

Title
The Acoustic Insulation of an Aggregate-filled CLT Intermediate Floor Structure

Client Organisation
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

This thesis examined and measured the acoustic insulation of a CLT-framed and aggregate-filled intermediate floor element and a subdividing wall between CLT space elements. The study investigated four different types of Sylodyn and Sylomer vibration isolators, and the acoustic insulation of the intermediate floor structure as a continuous and interrupted structure. This intermediate floor structure continues to be fairly unknown in Finland, and an intermediate floor construction developed by Binderholz GmbH was used as a model. One of the structural layers of the construction consists of aggregate.

The first work stage involved constructing an intermediate floor element in accordance with the model structure, and this element was placed on top of two CLT space elements. Acoustic field measurements of impact and airborne sound level were performed within the space elements. Where applicable, the measurements complied with the instructions of standards SFS-EN ISO 16283-2, SFS-EN ISO 16283-1 and SFS-EN ISO 12999-1. Standardised and calibrated measurement instruments were used. The NorBuild software was used in calculating results and creating reports of the findings.

The measurement results indicated that the differences between the used vibration isolators are minor. A cohesive intermediate floor structure produced the optimal impact sound levels of 58 dB measured from behind and 53 dB measured at an angle. The best airborne sound isolation level of 53 dB was accomplished without the vibration isolator. The results were negatively affected by joint structures in the space elements, doors, and the acoustic pathways formed in the structure during casting. The results suggest that using aggregate as part of the CLT intermediate floor structure provides a potential solution thanks to its sound insulating properties and should be further investigated.

Language	Pages	63
Finnish	Appendices	5
	Pages of appendices	22

Keywords
CLT intermediate floor, impact sound insulation rate, airborne sound isolation, aggregate, Sylomer, Sylodyn

1 Johdanto

Saimme opinnäytetyömme aiheeksi CLT-runkoisen ja kiviainestäytteisen välipohjajaelementin sekä CLT-tilaelementtien välisen osastoivan seinän ääneneristävyyden tutkimisen ja mittaamisen. Työssä tutkittiin askeläänen- ja ilmaääneneristävyyttä kenttämittauksin. Aihe työhön saatiin toimeksiantona Karelia-ammattikorkeakoululta ja ohjaavana opettajana työssä toimii Miska Piirainen.

Tutkittavassa välipohjajaelementissä käytettiin yhtenä rakennekerroksena kiviainesta. Kiviaines toimii välipohjassa ääntä eristävänä massana, koska rakenteiden ääneneristävyys perustuu ilmatiiveyteen ja massaan. Ääniaallon törmäys rakenteeseen aiheuttaa siihen värähtelyä ja tätä voi syntyä myös mekaanisista häiritteistä, kuten askeleista, huonekalujen siirtelystä tai esimerkiksi pyykinpesukoneesta. Rakenteen toiselle puolelle välittyvien ääniaaltojen määrä riippuu ääniaaltoja vastaanottavan rakenteen värähtelyn määrästä. Tästä johtuen kevyt rakenne värähtelee äänenpaineesta enemmän kuin raskas rakenne, minkä vuoksi raskaammalla rakenteella siis saavutetaan parempi ääneneristävyys kuin kevyemmällä rakenteella. (Lahtela 2004, 18.)

Tutkimuskohteena olevaa välipohjarakennetta ei ole vielä käytetty Suomessa, vaan kyseessä on Binderholz GmbH -yrityksen kehittämä rakenne, joka on käsitteäksemme käytössä Keski-Euroopassa. Opinnäytetyössä tutkittiin kahden erilaisen välipohjarakenteen askelääneneristävyyttä sekä tilaelementtien välisen osastoivan seinän ilmaääneneristävyyttä. Ensimmäisessä vaiheessa välipohjarakenne toteutetaan kahden tilaelementin päälle yhtenäisenä rakenteena. Tämän jälkeen välipohjarakenne katkaistaan tilaelementtien välisen seinän kohdalta. Opinnäytetyössä verrattiin myös neljän erilaisen tärinäeristimen vaikutusta askel- ja ilmaääneneristävyyteen. Tiivisteet asennettiin välipohjarakenteen ja tilaelementtien välille vähentämään runkoäänen muodostumista.

2 Määräykset ja ohjeet

2.1 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 on astunut voimaan 1.1.2018 ja se korvaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 asuinrakennuksen äänieristävyiden ja meluntorjunnan osalta (Ympäristöministeriö 2017). Asetus antaa määräyksiä mm. rakennusten ääneneristyksestä, melun- ja tärinätorjunnasta sekä ääniolosuhteista ja asetuksen määräykset ovat velvoittavia. Taulukossa 1 on esitetty asetuksessa annetut asuntojen sekä majoitus- ja potilashuoneiden ilma- ja askeläänen raja-arvot.

Taulukko 1. Asetuksen 796/2017 taulukko ilma- ja askeläänen raja-arvoista (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017).

Huonetila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{I, 50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen	39	63

Edellisen kerran rakennusten akustisia olosuhteita koskevia säädöksiä uudistettiin vuonna 1998. Nyt vuoden 2018 voimaan astuneen uuden asetuksen myötä eräs muutos määräykseen on se, että askeläänitasolukuun $L'_{nT,w}$ lasketaan yhteen spektripainotusermi $C_{I, 50-2500}$. Tällä on pyritty saamaan mittaluku paremmin vastaamaan sitä, miten ihmiset kokevat äänen asunnossaan eli eristävydessä otetaan huomioon myös matalien taajuuksien äänenpainetaso.

2.2 Asumisterveysohje

Asumisterveysohje on koottu mm. terveydensuojelain 763/94, terveydensuojeluasetuksen sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman säännöksistä ja määräyksistä. Ohje sisältää ohjearvoja ja suosituksia sekä se soveltuu mm. rakennusten korjaajien, rakentajien ja kuntotutkijoiden käyttöön. (Asumisterveysohje 2003, 3.)

Asumisterveysohjeessa on kerrottu melun vaikutuksista terveyteen sekä sen viihtyvyyteen liittyvistä tekijöistä. Heikkokin melu asunnossa voi vaikuttaa häiritsevästi, jolloin se voi vaikeuttaa nukahtamista tai estää sen. Pienitaajuinen melu, joka on taajuusalueella 20 - 200 Hz, erottuu taustamelusta hiljaisessa ympäristössä. (Kylliäinen 2006, 21.) Melun on todettu myös huonontavan ihmisen työtehoa, tarkkaavaisuutta ja oppimistuloksia. (Asumisterveysohje 2003, 32.)

Ilma- ja askeläänieristykseen asumisterveysohjeessa ei oteta suoraa kantaa, mutta ohjeen mukaisten melutasojen perusteella voidaan määritellä rakenteille niiltä edellytettävä ääneneristämiskyky, mikäli tiedetään kohteen äänilähteen tuottama melu. (Kylliäinen 2006, 21.)

2.3 Rakennusten akustinen luokitus SFS 5907

Standardi SFS 5907 on tehty tukemaan suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden työtä rakenteiden ääneneristyksen ja rakennuksen meluntorjunnan suunnitteluun ja toteutukseen. Standardi täydentää asetuksessa 796/2017 annettuja määräyksiä ja ohjeita. Rakennusten suunnitteluvaihe on tärkeä akustiikan kannalta, koska ratkaisevat valinnat tapahtuvat tässä vaiheessa. (SFS 5907, 2.)

Standardissa erilaisille rakennustypeille on annettu akustinen luokittelu, joka helpottaa eri kohteiden suunnittelua ja toteutusta akustisten vaatimusten mukaiseksi. Luokittelussa tilat on jaettu neljään luokkaan A...D, joista vähimmäistasoa ja asetuksessa 769/2017 määritettyä tasoa vastaa C-luokka. Akustiikaltaan tavanomaista tasoa parempien rakennusten suunnitteluun käytetään luokkien A

ja B arvoja. Rakennus voidaan suunnitella ja toteuttaa myös siten, että siinä on useampaan luokkaan kuuluvia tiloja. Luokka D käsittää vain vanhoja olemassa olevia rakennuksia eikä tätä luokkaa voi soveltaa uudisrakennuksiin. Asuinkäyttöön muutettavien tai rakennettavien kohteiden tulee aina saavuttaa vähintään C-luokalle asetetut akustiset vaatimukset. (SFS 5907, 2-3.) Seuraavana on taulukko 2, jossa on esitetty standardin mukaiset ilmaääneneristävyydelle R'_w tai ilmaääneneristävyyden ja spektrisovitustermin $C_{50-3150}$ summan arvot luokittain. (SFS 5907, 7.)

Taulukko 2. Ilmaääneneristävyyden mittaluvut tilaluokittain (SFS 5907, 7).

Tila	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D
	$R'_w+C_{50-3150}$	$R'_w+C_{50-3150}$	R'_w	R'_w
Kahden asuinhuoneiston välillä ja asuinhuoneistoa ympäröivien tilojen välillä yleensä	63	58	55	49
Asuinhuoneistojen ja toista huoneistoa palvelevan uloskäytävän välillä	44	39	39	34

Taulukossa 3 on esitetty standardin mukaiset suurimmat sallitut askeläänitasoluvun ja spektrisovitustermin $C_{1,5-2500}$ summan arvot eri luokissa.

Taulukko 3. Askelääneneristävyden mittaluvut tila luokittain (SFS 5907, 8).

Tila	Luokka A $L'_{n,w}+C_{1,50-3150}$	Luokka B $L'_{n,w}+C_{1,50-3150}$	Luokka C $L'_{n,w}$	Luokka D $L'_{n,w}$
Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista asuinhuoneeseen tai keittiöön, yleensä	43	49	53	63
Toista huoneistoa palvelevasta uloskäytävästä asuinhuoneistoon	49	53	63	68
Asuinhuoneiston tiloista vähintään yhteen huoneeseen asuinhuoneistojen sisällä	58	63	-	-

2.4 Mittauksiin liittyvät standardit

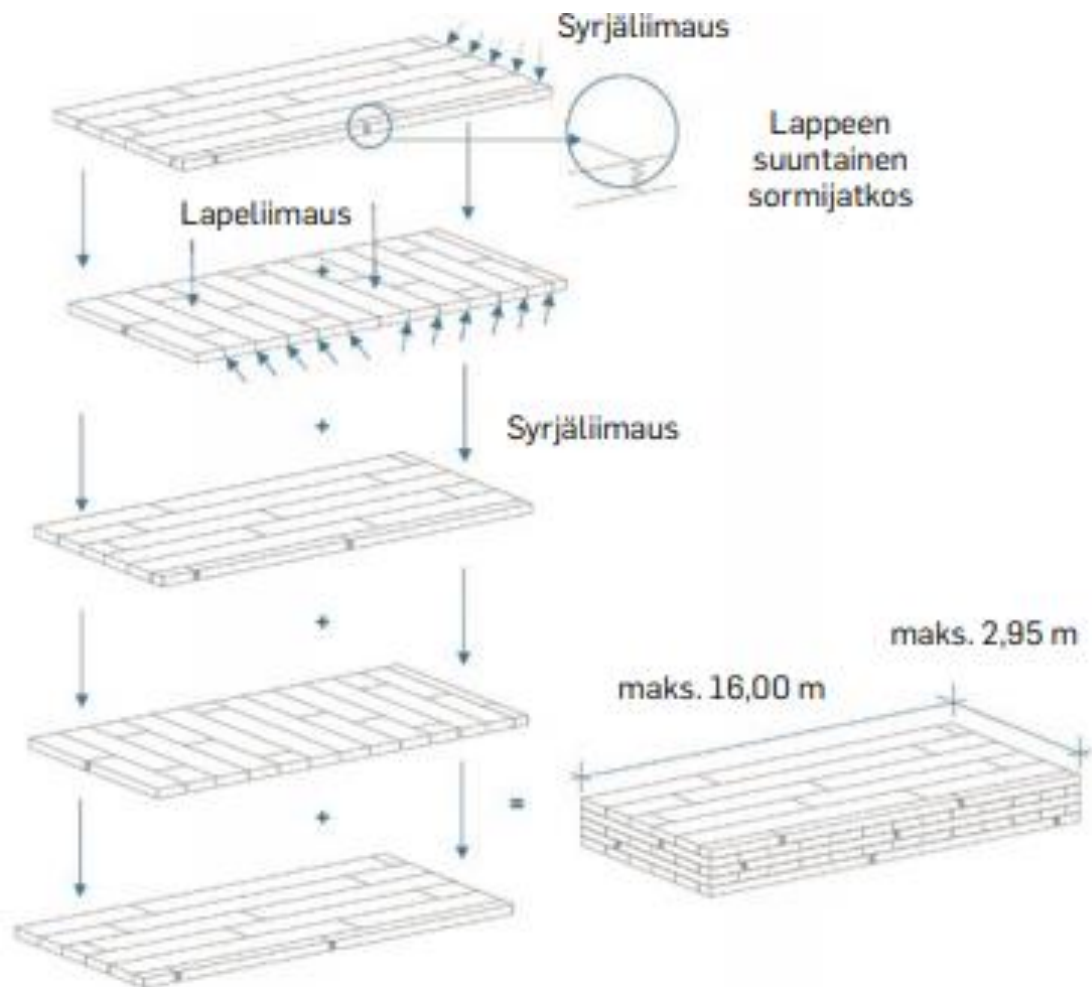
Opinnäytetyöhömmme liittyvissä askel- ja ilmaääneneristävyden mittauksissa olemme noudattaneet soveltuvin osin standardien SFS-EN ISO 16283-2, SFS-EN ISO 16283-1 sekä SFS-EN ISO 12999-1 mukaisia vaatimuksia ja ohjeita. Standardeissa on määritelty mittauslaitteistojen tarkkuus ja kalibrointivaatimukset. Standardeissa on ohjeet vähimmäisetäisyyksistä mittauslaitteen ja rakenteiden välillä sekä siitä, kuinka akustiset mittaukset suoritetaan. Ne antavat myös ohjeet mittaustulosten esittämistapaan.

3 Tietoa CLT:stä

3.1 Yleistä

Kirjainyhdistelmä CLT tulee sanoista Cross Laminated Timber, joka vapaasti käännettynä tarkoittaa ristiin liimattua puuta. CLT-elementit koostuvat ristiin liimatuista lautakerroksista, joita on yleisimmin joko kolme tai viisi (kuva 1). Ristiin liimatuilla lautakerroksilla saadaan aikaiseksi varsin jäykkä, luja ja hyvin paloa

kestävä rakenne, joka on myös hyvien ominaisuuksiensa lisäksi varsin kevyt. CLT-elementin raaka-aineena yleisimmin käytetään sahattua havupuuta kuten kuusta, joka on lujuusluokaltaan C24. Ristiin liimatut kerrokset liitetään toisiinsa formaldehydivapaalla polyuretaaniliimalla ja ne liimataan pääsääntöisesti toisiinsa nähden 90 asteen kulmassa. CLT-elementtien dimensioista paksuus on käyttötarkoituksesta riippuen yleensä 51 - 400 mm, leveys maksimissaan 2950 mm ja pituus suurimmillaan 16000 mm. CLT-elementin kuutiopaino on noin 500 kg. (Stora Enso 2013.)



Kuva 1. Viisikerroksisen CLT-levyn rakenne ja sormijatkos (Stora Enso 2013).

CLT on äärimmäisen monipuolinen rakennusmateriaali, joka sopii erittäin hyvin yhteen muiden Suomessa käytettävien rakennusmateriaalien kanssa. CLT mahdollistaa rajattomat mahdollisuudet arkkitehdille ja rakennesuunnittelijalle käyttää puuta eri rakenteissa. CLT on ympäristöystävällinen rakennusmateriaali, koska

se koostuu puusta, joka jo itsessään sitoo hiiltä. Kokonaan puusta valmistetulla rakenteella saadaan aikaiseksi myös parempi huoneilma. Puinen rakenne tasaa huoneilman kosteutta tehden näin huonetilasta mukavamman oleskella. (Stora Enso 2013.)

3.2 CLT rakennusteollisuudessa

CLT-elementtirakentaminen on tämän hetken edistyksellisintä puurakentamista. Käyttämällä CLT:tä saavutetaan painumaton ja ilmatiivis rakenne, johon ei tarvita erillistä höyrynsulkua. CLT-elementtirakentaminen on kosteusteknisesti turvallista ja vaivatonta. Elementit valmistetaan tehdastyönä sisätiloissa ja valmiit rakennuselementit asennetaan työmaalla paikoilleen (kuva 2). CLT:n etuna on myös se, että massiivipuurakenne ei vaadi kuivumisaikoja työmaalla (CELT 2017).



Kuva 2. CLT-elementin asennus (CLT-talo).

Rakennusmateriaalina CLT-elementtien käyttökohteita voivat olla kerros-, rivi- ja omakotitalot, teollisuusrakennukset sekä julkiset rakennukset kuten koulut ja urheiluhallit. CLT-elementtejä voidaan käyttää jäykistävinä ja kantavina seinärakenteina, välipohjina sekä yläpohjarakenteina. Seinäelementit voidaan jättää sisäpuolelta puupinnalle tai palomääräysten niin vaatiessa pinnoittaa palonsuoja-levyillä. Ulkopuolelta seinäelementit eristetään lämmöneristeellä, jonka päälle asennetaan ulkoverhous. CLT-elementtien keveyden ja jäykkyyden ansiosta niistä voidaan valmistaa mittatarkasti eripituisia, korkuisia- ja mallisia rakennuselementtejä. Aukot, kuten ikkunat ja ovet voidaan sijoitella varsin vapaasti. (CELT 2017.)

3.3 Käyttö Suomessa ja ulkomailla

Tällä hetkellä CLT-rakentaminen on yksi suosituimmista rakennustavoista Euroopassa. Suosioita selittää osittain huomattavasti vapaammat rakennusmääräykset kuin mitä Suomen rakennusmääräykset ovat. Suurin CLT-elementtien valmistaja Euroopassa tällä hetkellä on Stora Enso, jolla on kaksi erillistä tehdasta Itävallassa. Toinen sijaitsee Ybbsissä ja toinen Bad St.Leonhardissa. Tehtaiden vuosittainen kapasiteetti on noin 160 000 kuutiota. (Stora Enso CLT, 2.) Stora Enso on myös kertonut aloittavansa CLT-tuotannon Ruotsissa vuonna 2019 (Räikkönen 2017). Muita merkittäviä valmistajia Euroopassa ovat itävaltalainen Binderholz, sekä Iso-Britanniassa sijaitseva Legal & General. CLT kehitettiin alun perin Sveitsissä 1990-luvun alkupuolella (Wikipedia 2018).

Suomessa 1990-luvulta lähtien on puurakentamista ja erityisesti puukerrostalojen rakentamista pyritty kehittämään voimakkaasti. Suomen rakennusmääräyksiä muutettiin palomääräysten osalta vuonna 1997 siten, että puuta voitiin alkaa käyttää rakennusten runkorakenteena aina nelikerroksisiin rakennuksiin asti. Palomääräyksiä muutettiin Suomessa uudemman kerran vuonna 2011. Uuden palomääräyksen ansiosta puuta voitiin käyttää rakennusten runkorakenteena aina kahdeksankerroksisiin rakennuksiin saakka. Myös puun käyttöä ja käyttömahdollisuuksia laajennettiin koskemaan korjaus- ja lisäkerrosrakentamista. Vuoden

2018 alussa voimaan tulleiden uusien palomääräyksien mukaan Suomeen voidaan rakentaa yli kahdeksankerroksisia puurunkoisia asuin- ja työpaikkarakennuksia sekä majoitus- ja hoitorakennuksia. (Puuinfo 2018.)

3.4 Ääneneristävyys

CLT rakennusmateriaalina on kevyttä ja tämä taas aiheuttaa sen, että rakennuksen ääneneristävyysvaatimusten täyttäminen pelkästään rakenteen omalla massalla on lähestulkoon mahdoton tehtävä. Välipohjissa tämä ongelma korostuu, koska välipohjan tulee eristää ilmaääniä sekä rakenteen yläpuolelta tulevia asumisesta johtuvia askelääniä. Varsinkin matalien taajuuksien eristämiseen CLT-runkoisessa asuinrakennuksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Matalia taajuuksia syntyy asuinrakennuksessa esimerkiksi välipohjalla kävelystä. Vastavasti taas äänet, joilla on korkea äänentaajuus, saadaan CLT-runkoisessa rakenteessa eristettyä tehokkaasti. Ääniä, joilla on korkea taajuus, on esimerkiksi ihmisten puhe. (Lahtela 2004,14.)

Ratkaisuna CLT-rakenteen heikkoon ääneneristävyteen ulko- ja väliseinissä sekä välipohjissa pidetään yleisesti monikerrosrakenteita. Seinärakenteeseen voidaan lisätä huokoinen rakennusmateriaali kuten lämmöneriste, joka toimii ääntä vaimentavana kerroksena. Lämmöneristeen päälle asennetaan yleensä yksi- tai kaksikerroksinen levyrakenne. Välipohjan ääneneristävyttä voidaan parantaa lisäämällä välipohjan massaa. Massaa voidaan kasvattaa esimerkiksi käyttämällä betonirakenteista pintalaattaa tai muuta vastaavaa kiviaineksesta koostuvaa rakennetta, kuten opinnäytetyössämme käytettiin välipohjan rakennekerroksena sepeliä. (Lahtela 2004,14.)

4 Äänen ominaisuudet

4.1 Äänenpainetaso ja taajuus

Äänentaajuus on ääniaallon värähtelyä ja sen yksikkönä käytetään hertsiä [Hz]. Äänentaajuuden voimakkuus määritetään mittaamalla värähtelyn määrää yhtä sekuntia kohden. Normaali ihmisen kuuloaisti kuulee äänet, joiden taajuus on välillä 16 - 16000 Hz ja tämän taajuusalueen alle menevät äänet havaitaan tärinänä. Mitä suurempi lukema on, sitä korkeampana ihminen äänen kuulee. Ihminen kuulee parhaiten äänet, joiden taajuusalue on välillä 100 - 3150 Hz. (Lahtela 2004, 11.) Matalalla taajuusalueella ihmisen kuulon herkkyys on heikompi kuin keski-taajuuksilla, mutta matalan taajuusalueen melu ja askeläänet voivat olla erittäin merkittäviä ihmisen subjektiivisen kokemuksen kannalta (Kylliäinen 2006, 96).

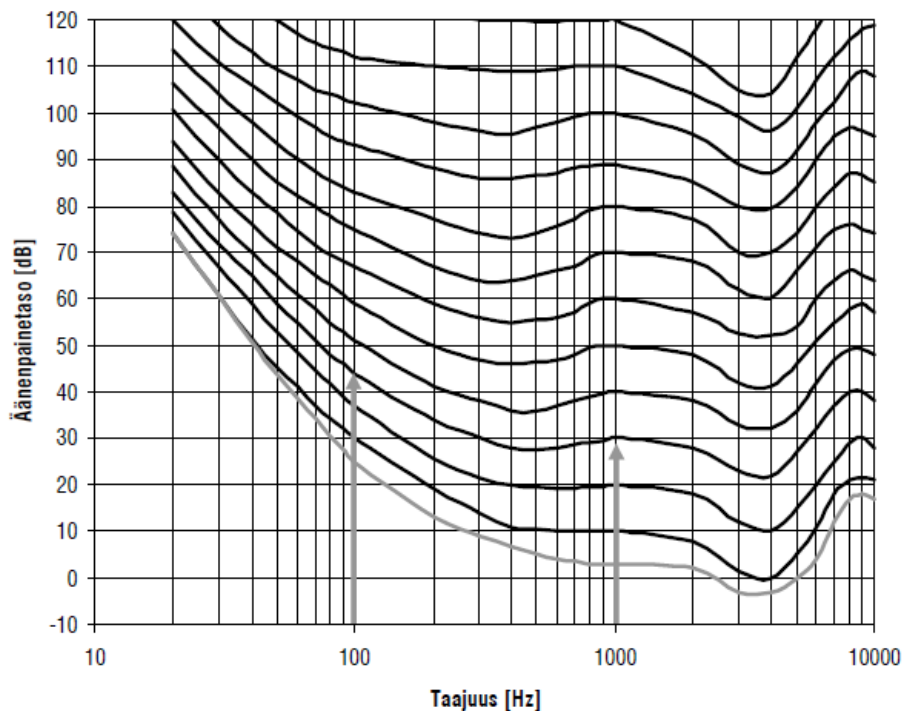
Suunniteltaessa asuinrakennuksen ääntä eristäviä rakenteita on äänen taajuudella merkitystä. Äänentaajuuden muuttuessa, myös rakenteen ääneneristyskyky muuttuu ja rakenne on saatava toimimaan niin matalilla kuin korkeillakin äänen taajuuksilla. Asuinrakennuksen rakenteille on tarkoitus saada mahdollisimman hyvä ääneneristys taajuus alueelle 100 - 3150 Hz. Suunniteltaessa CLT-runkoista asuinrakennusta tulee kiinnittää erityistä huomiota myös mataliin äänen taajuuksiin, jotka ovat alle 100 Hz. (Lahtela 2004, 11.)

Äänenvoimakkuus on äänenpainetta, joka syntyy ääniaaltojen aiheuttamista ilmanpaineen muutoksista huoneilmassa. Äänenpainetasoa kuvataan lukuarvona ja sen yksikkö on desibeli [dB]. Mitä suurempi lukema on, sitä voimakkaampana ääni kuullaan. Alhaisin ihmisen kuulema äänenpainetaso, eli kuulokynnys on 0 dB. Ihmiselle haitallisena äänenpainetasona pidetään yleisesti ääntä, joka ylittää lukuarvon 85 dB. Äänenpainetasoa ilmoittava lukuarvo desibeli on logaritminen suure ja tämän takia äänenpainetason ilmoittamasta äänenvoimakkuudesta on vaikeaa hahmottaa, kuinka voimakkaasta äänestä on kyse. Taulukossa 4 on esitelty muutamia esimerkkejä eri lähteiden äänenpainetasoista. (Lahtela 2004,12.)

Taulukko 4. Eri äänilähteiden äänenpainetasoja (Lahtela 2004,11).

Äänilähde	Äänenpainetaso [dB]
Kuulokynnys	0
Pensaiden havina	5--25
Tietokone	25--50
Äänekäs puhuminen	50--70
Liikenne	70--85
Moottoripyörä	85--90
Disco	90--110
Kipukynnys	110--130
Suihkumoottori	150

Alla kuvassa 3 on esitetty kuvaaja, josta käy ilmi, ettei kuulon herkkyys ole joka taajuudella vakio. Äänenpainetaso voi vaihdella vaikkakin äänen voimakkuus koetaan samalla tavalla. Kuvaajasta voidaan lukea, että 100 Hz taajuudella koetaan 45 dB:n äänenpainetaso yhtä voimakkaasti kuin 1000 Hz taajuudella 30 dB:n äänitaso. (Kylliäinen 2006, 14 - 15.)



Kuva 3. Taajuus vaikuttaa äänen voimakkuuden kokemiseen ja käyrästä nähdään, kuinka voimakas äänen tulee olla eri taajuuksilla, jotta se koetaan yhtä voimakkaana. (Kylliäinen 2006, 15.)

4.2 Äänen teoriaa

4.2.1 Massalaki

Massalain mukaan, kun ääniaalto kohtaa rakenteen ja rakenteeseen syntyy värähtelyä, värähtely on sitä voimakkaampaa mitä kevyempi rakenne on. Rakenteeseen syntyviä ääniaaltoja on rakenteen toisella puolella sitä enemmän, mitä suurempi rakenteen värähtely on. Rakenteen massa siis vaikuttaa sen ääneneristävyyteen melko tehokkaasti. (Lahtela 2004, 19)

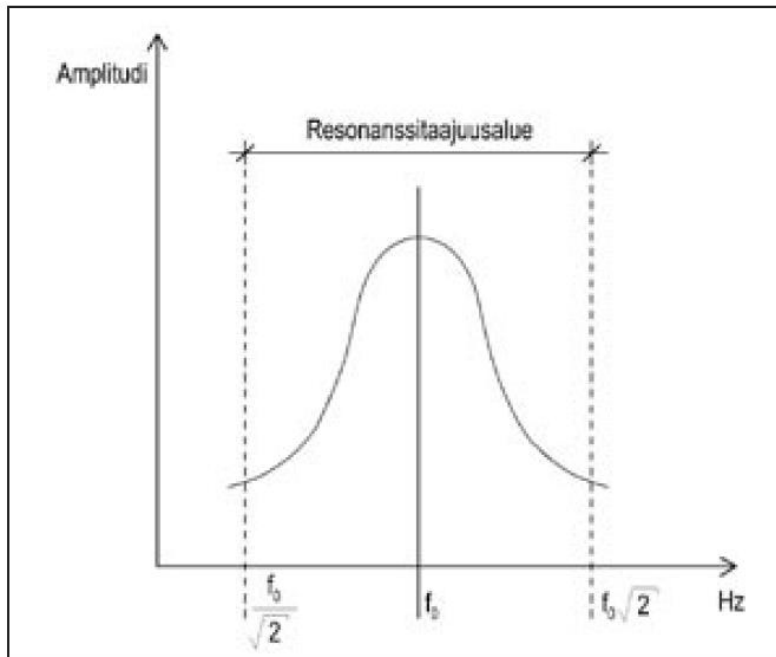
Kuitenkin tulee muistaa, että massalaki pitää paikkansa vain pääpiirteittäin, eikä rakenteen massan lisääminen aina ole ääneneristävyyden edistämisen paras vaihtoehto. Rakenteet, joiden paino on alle 100 kg/m^2 , ääneneristävyys kasvaa massaa lisäämällä hitaammin kuin rakenteilla, joiden paino on lähtötilanteessa yli 100 kg/m^2 . Ääneneristävyyden kannalta on massan lisääminen hyödyllisempää ja kustannustehokkaampaa silloin kun rakenne on alun perin kevyt. Perussääntönä voidaan pitää seuraavaa: rakenteen massan kasvattaminen kaksinkertaiseksi parantaa ääneneristävyyttä 4 - 6 dB. (Lahtela 2004, 19.)

4.2.2 Resonanssi-ilmiö

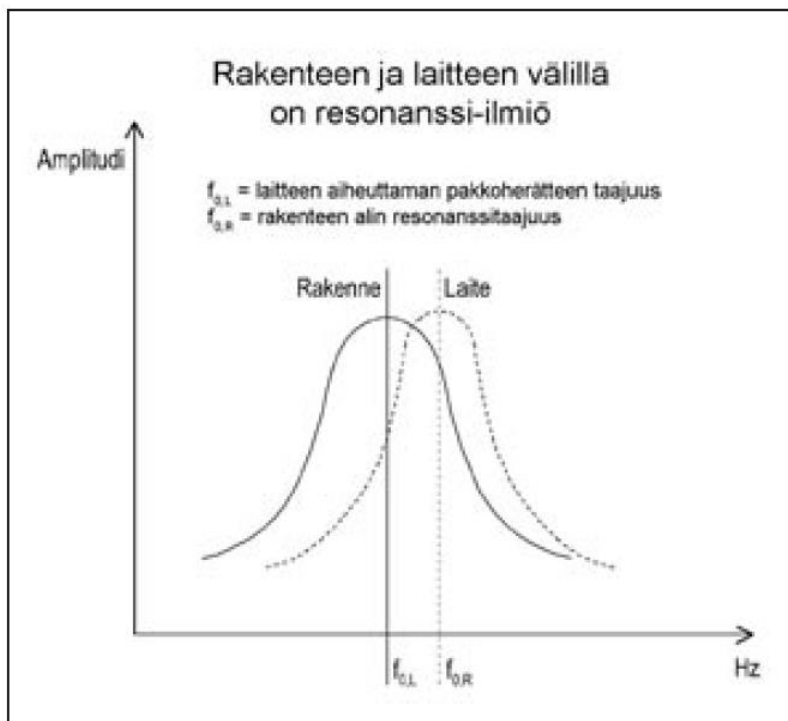
Kun ääniaallot osuvat rakenteeseen resonanssialueella eli ominaistajuusalueella syntyy rakenteessa resonanssi-ilmiö. Tässä ilmiössä rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti ja rakenteeseen kohdistuvat ääniaallot antavat koko ajan värähtelyyn lisää energiaa. Tällöin rakenteen ääneneristävyys heikkenee. Ilmiötä voidaan kuvata seuraavalla esimerkillä: kun kiikkua keinuttaa oikeassa tahdissa, kiikun vauhti kiihtyy ja vauhdin lisääminen tulee tapahtua, kun kiikku menee eteenpäin. (Lahtela 2004, 20.)

Resonanssi-ilmiö syntyy, kun värähtelyä aiheuttavan herätteen taajuus osuu lähelle rakenteen resonanssitaajuusaluetta. Ihmisen kuulon kannalta tulisi rakenteen resonanssitaajuusalueen olla taajuusalueen $100 \text{ Hz} - 3150 \text{ Hz}$ alapuolella,

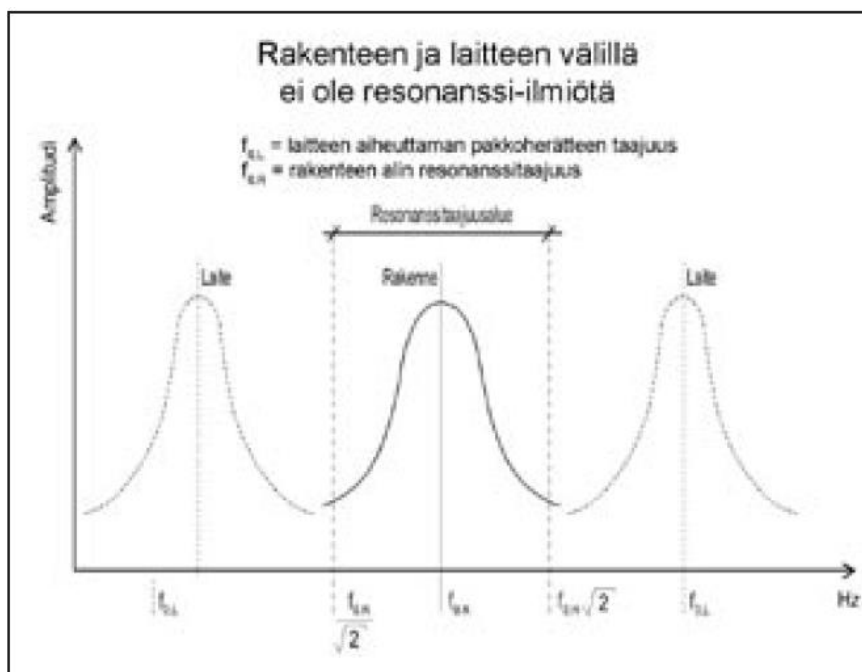
jolloin se ei heikennä rakenteen ääneneristävyyssominaisuuksia. (Lahtela 2004, 20.) Seuraavana on esitetty kuvissa 4 - 6 resonanssi-ilmiötä kuvaavia käyriä.



Kuva 4. Rakenteen resonanssitaajuusalue (Lahtela 2004, 20).



Kuva 5. Resonanssi-ilmiö syntyy, kun rakenteen ja laitteen herätetaajuus kohtaavat (Lahtela 2004, 20).



Kuva 6. Resonanssi-ilmiötä ei synny, kun rakenteen resonanssitaajuusalue ja laitteen herätetaajuus eivät kohtaa. (Lahtela 2004, 20.)

Tarkasteltaessa välipohjarakenteiden ominaistajuuksia asuinkerrostaloissa, on kantavan välipohjan rakenteen ja sen päällä olevan lattianpäällysteen ominaistajuus yleensä 30 - 500 Hz. Puurunkoisissa välipohjissa käytetään monikerrosrakenteita, joissa kelluva lattia voi koostua esimerkiksi pumpattavasta tasoitekerroksesta tai valettavasta betonilaatasta, jonka alle asennetaan eristekerrokseksi esimerkiksi elastisoitua polystyreenia, mineraalivillaa tai tärinäeristimet tietyllä k-jaolla. Akustinen toimivuus kelluvassa lattiassa perustuu sen ominaistajuuteen f_0 [Hz]. Ominaisajuus saadaan selvitettyä, kun tiedetään kelluvan rakenteen pintamassa ja eristekerroksen dynaaminen jäykkyys. (Kylliäinen 2006, 100.)

Välipohjan kelluvan pintalaatan resonanssin ominaistajuuden tarkastelu voidaan suorittaa joko yksinkertaisena rakenteena tai kaksinkertaisena rakenteena. Kantavan betonisen välipohjan paino ja jäykkyys ovat niin suuria, että kelluva pintalaatta on rakenteessa osa, jonka ominaistajuudella on vaikutusta välipohjan akustiseen toimivuuteen. Kevyet monikerrosrakenteet tarkastellaan kaksinkertaisena rakenteena. (Kylliäinen 2006, 100 - 102.) Tutkimuksessamme käytetty välipohjarakenteen kantava CLT-runko on massiivipuuta, joka on ominaisuuks-

siltaan varsin jäykkää. Välipohjassa käytetty kiviaines yli kaksinkertaistaa välipohjan painon, kun sitä verrataan CLT-levyn painoon. Tästä syystä välipohjarakenteemme kelluvan pintalaatan ominaistajuus on tarkasteltavissa molemmilla laskutavoilla.

Yksinkertaisen rakenteen ominaistajuus voidaan laskea kaavalla 1. Kevyillä välipohjilla resonanssitaajuuteen vaikuttaa myös välipohjan muu paino sekä ilmatilan korkeus. Tällöin tulee tarkistaa sekä pintalaatan, että alakattolevytyksen ominaistajuudet (kaava 2).

$$f_0 = 160 * \sqrt{\frac{s'}{m'}} \quad (1)$$

missä

s'	Eristekerroksen dynaaminen jäykkyys, MN/m ³
m'	Kelluvan laatan pintamassa, kg/m ² (SFS-EN ISO 12354-2 2017, 28.)

$$f_0 = 160 * \sqrt{s' * \frac{m_1+m_2}{m_1*m_2}} \quad (2)$$

missä

s'	Eristekerroksen dynaaminen jäykkyys, MN/m ³
m_1	Kelluvan laatan pintamassa, kg/m ²
m_2	muun välipohjan paino, kg/m ² (Lahtela 2004, 31.)

Kelluvan lattian alla oleva eristekerros voi koostua useasta ainekerroksesta, jolloin näiden kerrosten yhteinen dynaaminen jäykkyys tulee laskea jokaisen kerroksen yksittäisestä dynaamisista jäykkyyksistä s'_i kaavalla 3 (SFS-EN ISO 12354-2 2017, 28). Kun eristekerros koostuu kahdesta samanlaisesta päällekkäin asennetusta kerroksesta, tällöin eristekerroksen dynaaminen jäykkyys on puolet yhden kerroksen dynaamisesta jäykkyydestä. (Kylliäinen 2006, 101.)

$$s' = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i}} \quad (3)$$

Kelluvan rakenteen ominaistajuuden tulisi olla korkeintaan 100 Hz ja mielellään alle 50 Hz, tällöin sen askelääneneristävyyssyky on hyvä. Kelluvan rakenteen ominaistajuuden alentaminen tapahtuu pienentämällä eristekerroksen dynaamista jäykkyyttä tai lisäämällä kelluvan laatan massaa. (Kylliäinen 2006, 101.)

4.2.3 Koinsidenssi-ilmiö

Koinsidenssi-ilmiö voi syntyä silloin kun ääniaaltorintaman jälki osuu levyn pintaan tietyssä kulmassa ja äänen levyyn aiheuttama taivutusaalto etenee samalla nopeudella. Tällöin levymäinen rakenne alkaa myötävärähdellä ääniaaltojen kanssa. Kun ääni on jatkuvaa, muodostuu levyyn yli- ja alipainerintama, jolloin se osuu levyssä olevan taivutusaallon laaksoon ja huippuun. Kun ääni pysyy jatkuvana, ilmiökin jatkuu ja tällöin levyn ääneneristävyys heikkenee, eikä se eristä ääntä niin tehokkaasti, kuin sen massansa puolesta tulisi eristää. Kaikilla yksinkertaisilla rakenteilla on koinsidenssitaajuus ja tämän yläpuolella olevilla äänentaajuuksilla voi koinsidenssia syntyä. Rakenteen koinsidenssitaajuuden tulisi olla taajuusalueen 100 Hz - 3150 Hz yläpuolella, jolloin sen häiritsevyys on ihmisen kuulon kannalta vähäisempää. (Lahtela 2004, 20.)

Rakenteen koinsidenssi rajataajuuden alhaisuuteen vaikuttavat rakenteen suuri kimmomoduuli ja rakennepaksuus sekä mahdollisimman pieni pintamassa. Raskaalla yksinkertaisella materiaalilla kuten paksulla betoniseinällä, koinsidenssin rajataajuus on pieni, kun taas kevyellä joustavalla rakenteella kuten kipsilevyllä, se on suuri. (Kylliäinen 2006, 51.) Ohuen rakennuslevyn koinsidenssitaajuus on yleensä 2000 Hz - 3000 Hz ja koinsidenssi-ilmiö heikentää rakenteen ääneneristävyyttä sitä vähemmän mitä suurempi em. taajuusalue levyllä on (Lahtela 2004, 20). Koinsidenssitaajuus f_c voidaan määrittää yksinkertaiselle rakenteelle kaavalla 4. (Lahtela 2004, 21 - 22.)

$$f_c = \frac{c^2}{2 \cdot \pi \cdot h} * \sqrt{\frac{12 \cdot g \cdot (1 - \mu^2)}{E}} \quad (4)$$

missä

c	äänen etenemisnopeus ilmassa, m/s
h	rakenteen paksuus, m
g	rakenteen tiheys, kg/m ³
μ	Poisson'in luku (0,3)
E	rakenteen kimmomoduuli, N/m ² (Lahtela 2004, 22.)

Massiivisilla kivirakenteilla koinsidenssi-ilmiö ei yleensä aiheuta ongelmaa, mutta kerroksellisilla kevyillä levyrakenteilla koinsidenssi-ilmiö tulee huomioida suunnittelussa (Lahtela 2004, 15).

4.2.4 Absorptio ja jälkikaiunta-aika

Tilassa olevan äänilähteen aiheuttama ääniaalto osuu tilan pintoihin: seiniin, kattoon ja lattiaan, jonka jälkeen osa siitä heijastuu takaisin tilaan ja osa siirtyy rakenteeseen. Rakenteeseen siirtyvä ääniteho muuttuu joko lämmöksi tai liikeenergian hiukkasiksi, jolloin rakenne värähtelee hiukkasten liikkeestä. Ääniteho, joka ei heijastu takaisin tilaan on absorboitunut. (Kylliäinen 2006, 38.)

Eri materiaaleilla on erilainen absorptiokyky ja tätä käytetään hyödyksi, kun halutaan alentaa äänitasoa tilassa, jossa äänilähde sijaitsee. Absorptiolla on siis vaikutusta tilan ääniolosuhteisiin ja siihen millainen kuulokokemus erilaisissa tiloissa on. (Kylliäinen 2006, 38.)

Jälkikaiunta-aika kuvaa sitä, kuinka kauan kestää äänentasopaineen aleneminen tilassa, kun ääntä tuottava lähde on lopettanut toimintansa. Tilassa, jossa on lyhyt jälkikaiunta-aika, puheen tavut vaimenevat nopeasti. Kun taas jälkikaiunta-ajan pidentyessä tavut jäävät soimaan toistensa päälle, jolloin puheen selkeys kärsii. Kokeellisesti johdetun Sabinen kaavan (5) mukaan jälkikaiunta-ajalla, tilavuudella ja absorptioalalla on yhteys toisiinsa. Kaavaa käytetään suunnittelussa ja sillä

voidaan määrittää kullekin tilalle tavoiteltavan jälkikaiunta-ajan saavuttamiseksi absorptioalan suuruus taajuuskaistoittain.

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (5)$$

missä

T	Vastaanottavan tilan jälkikaiunta-aika, s
V	Tilan tilavuus, m ³
A	Vastaanottavan tilan absorptioala, m ² (Kylliäinen 2006,40)

Erilaisilla tiloilla on erilainen akustiikka, jolloin jälkikaiunta-aika voi vaihdella paljon. Seuraavaksi taulukossa 5 on esitetty muutamia esimerkkejä eri tilojen jälkikaiunta-ajoista 500 Hz:n keskitaajuudella (Kylliäinen 2006, 39). Taulukosta 5 nähdään, että makuuhuoneen kalustamisella on vaikutusta jälkikaiunta-aikaan, eli vaikka tila ei ole suuri, mutta pinnat koostuvat pääosin kovista materiaaleista, vaikuttaa tämä paljon siihen, kuinka tilassa kaiku.

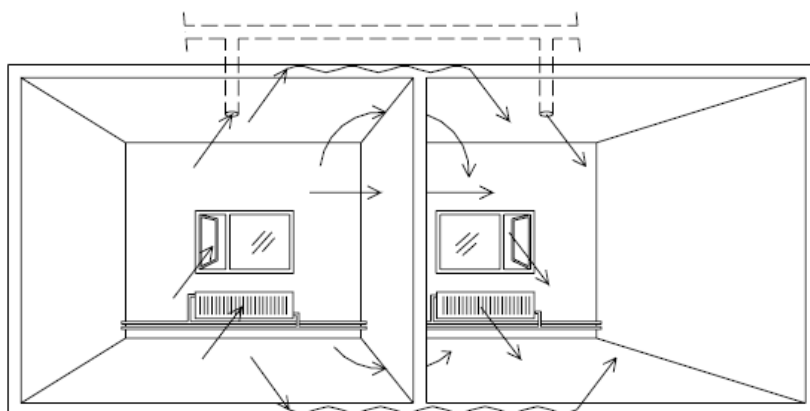
Taulukko 5. Esimerkkejä tilojen jälkikaiunta-ajoista (Kylliäinen 2006, 39).

Jälkikaiunta-aika	Esimerkki tilasta
> 5 s	Tampereen tuomiokirkko tyhjänä
2 s...3 s	Suuri sali, jossa ei ole vaimennusta
1,5 s	Kalustamaton makuuhuone
0,5 s	Kalustettu makuuhuone

4.3 Runko- ja sivusiirtymät

Ääni voi siirtyä tilasta toiseen erottavaa rakennetta tai erottavaa rakennetta sivuavien rakenteiden kautta. Äänen siirtymistä tilasta toiseen epäsuorasti tilaa erottavan rakenteen kautta, kutsutaan äänen sivutiesiirtymäksi. Ääni voi kulkeutua epäsuorasti tilasta toiseen LVIS-tekniikan putkistojen, kanavien ja johtojen kautta sekä rakenteiden liitosten välityksellä (kuva 7). Kun halutaan saavuttaa

vaadittava ääneneristysten taso, ei riitä ainoastaan oikeanlaisten rakennetyyppien valinta. (Lahtela 2004, 39.)



Kuva 7. Äänen etenemisreitit rakennuksessa (Kylliäinen 2006,72).

Ääneneristävyyttä suunniteltaessa on otettava huomioon olennaisena osana kaikki LVIS-tekniikasta syntyvä melu. LVIS-tekniikan suunnittelussa ja toteutuksessa tulee kiinnittää huomiota varsinkin kiinnikkeiden ja mahdollisten pystyhormien sijoitteluun, sekä huoneistoista toiseen kulkeutuvien putkien ja läpivientien ääneneristävyyteen. (Lahtela 2004, 39.)

Äänen siirtymistä epäsuorasti tilasta toiseen rakenteiden liitosten välityksellä kutsutaan rakenteelliseksi sivutiesiirtymäksi. Rakenteellinen sivutiesiirtymä huoneistojen välillä on keskeinen tekijä puurakenteisten rakennuksien ääneneristyksessä, koska rakenteellinen sivutiesiirtymä heikentää rakenteen ilma- ja askeleeneneristävyyttä. Rakenteellinen sivutiesiirtymä muodostuu, kun huoneistossa oleva äänilähde saa huoneistoa ympäröivät rakenteet värähtelemään. Värähtelyn määrään äänilähdettä ympäröivissä rakenteissa vaikuttaa olennaisesti rakenteen massa sekä rakenteiden välisten liitosten jäykkyys. (Lahtela 2004, 38.)

Rakenteellisen sivutiesiirtymän muodostuminen voidaan estää katkaisemalla äänen sivutiesiirtymä käyttämällä sivutiesiirtymässä äänikatkona joustavia rakennekerroksia, kuten tässä opinnäytetyössä käytetyt Sylodyn- ja Sylomer-tärinäeris-

teet. Sivutiesiirtymä voidaan myös estää, jos toisiaan sivuavina rakenteina käytetään massiivisia värähtelemättömiä rakenteita. (Kekki, Kuusinen, Kylliäinen & Latvanne 2017, 48.)

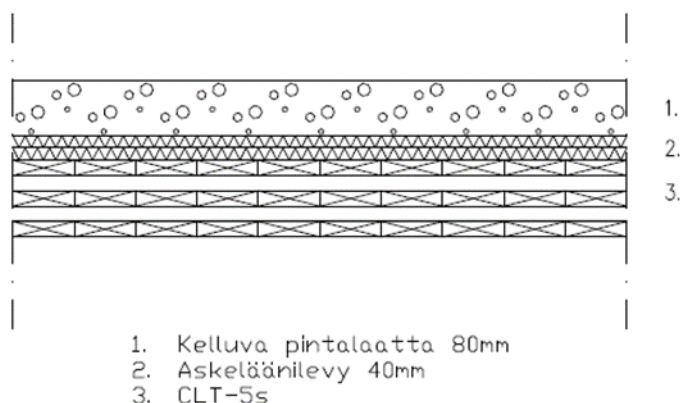
5 Puurakenteiden ääneneristävyys

5.1 Välipohja

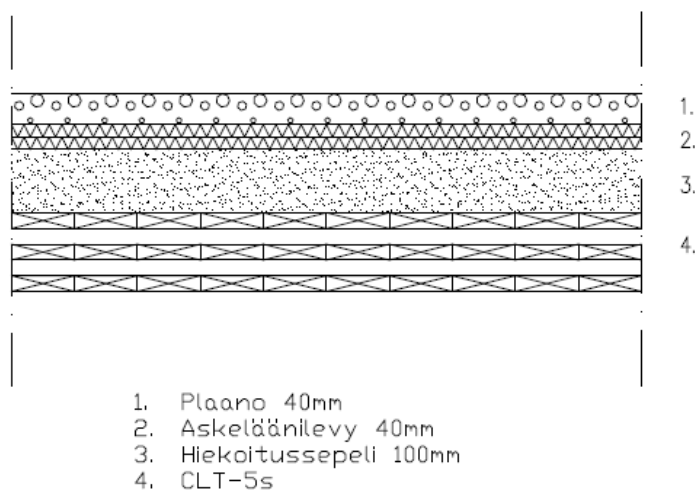
Verrattuna betonisiin välipohjiin, puurakenteiset välipohjat ovat keveitä. Kevyen välipohjarakenteen äänitekniinen toiminta poikkeaa merkittävästi verrattaessa massiivirakenteiseen välipohjaan. Äänitekniisten ominaisuuksien parantamiseksi, puurakenteisissa välipohjissa käytetään monikerrosrakenteita. Kevyessä monikerrosrakenteisessa välipohjarakenteessa askeläänien äänenpainetasot korkeilla taajuuksilla ovat alhaisia ja vastaavasti matalilla taajuuksilla korkeita. Massiivisessa välipohjarakenteessa askeläänien äänenpainetasot ovat päinvastaiset. (Lahtela 2014, 28.)

Jos kevyellä monikerrosrakenteisella välipohjarakenteella halutaan saavuttaa standardin SFS 5907 mukaiset ääneneristysvaatimukset asuinrakennuksessa, tulee pintamateriaalina käyttää kelluvaa pintalaattaa. Kelluvan pintalaatan rakenne muodostuu pehmeästä joustavasta eristekerroksesta, jonka päälle asennetaan kova rakennekerros. Pehmeänä joustavana rakennekerroksena voidaan käyttää esimerkiksi mineraalivillaa tai opinnäytetyössämme käytettyä kaksinkertaista 20 mm:n vahvuista askeläänilevyä. Kovana rakennekerroksena voidaan käyttää rakennuslevyä, pumpattavaa tasoitetta tai paikalla valettavaa betonilaattaa. Kelluvan lattiarakenteen äänitekniisen toiminnan kannalta, ominaistajuus on sen tärkein ominaisuus. (Kylliäinen 2006, 100.) Käyttämällä betonista pintalaattaa saavutetaan suurempi massa välipohjarakenteelle ja näin ollen matalat askeläänien äänenpainetasot saadaan eristettyä paremmin. Pintalaattoja suunniteltaessa tulee olla huolellinen parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. (Lahtela 2014, 28 - 30.) Kuvassa 8 on esitetty yleisesti käytetty CLT-välipohjan

rakenne. Kuvassa 9 on esitetty opinnäytetyössä käytetty välipohjan rakenne, josta nähdään rakenteessa käytetyt rakennekerrokset.



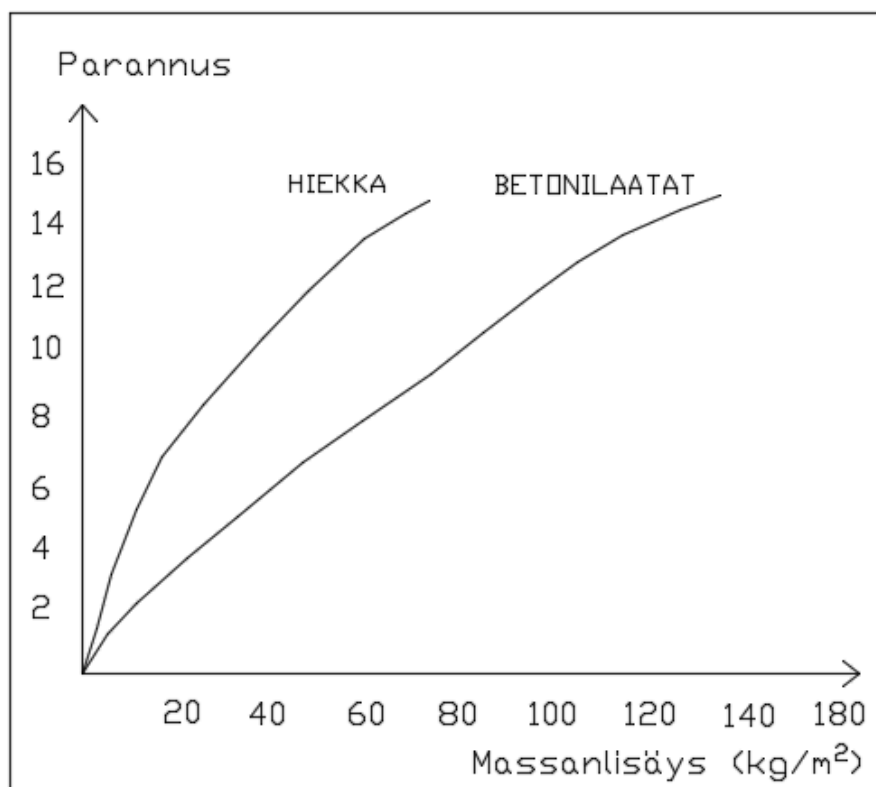
Kuva 8. Periaatekuva kelluvasta välipohjarakenteesta.



Kuva 9. Opinnäytetyössä käytetty välipohjarakenne.

Kevyiden monikerrosrakenteisten välipohjarakenteiden askelääneneristävyyttä voidaan parantaa käyttämällä joustavan rakennekerroksen alla kuivattua hiekkaa. Opinnäytetyössämme joustavan rakennekerroksen alla käytetty hiekkakerros oli kuivattua hiekoitussepeleä, jonka kerrospaksuus on 100 mm (kuva 9). Kuivatun hiekan käyttö askelääneneristävyyden parantamiseen perustuu hiekan sisäiseen kitkaan ja sen suureen massaan. Toteutetun välipohjarakenteen paino

on noin 301 kg/m^2 . Kuvasta 10 voidaan nähdä puuvälipohjan hiekan massanlisäyksen parannusvaikutus askelääneneristävyyteen, kun sitä verrataan tapaukseen, jossa parannus on vastaavasti tehty betonilaatalla. Hiekan massanlisäys parantaa askelääneneristävyyttä pienemmällä massalla, kun taas samanpainoisella betonilaatalla parannus jäisi huonommaksi. (Lahtela 2014, 35.)



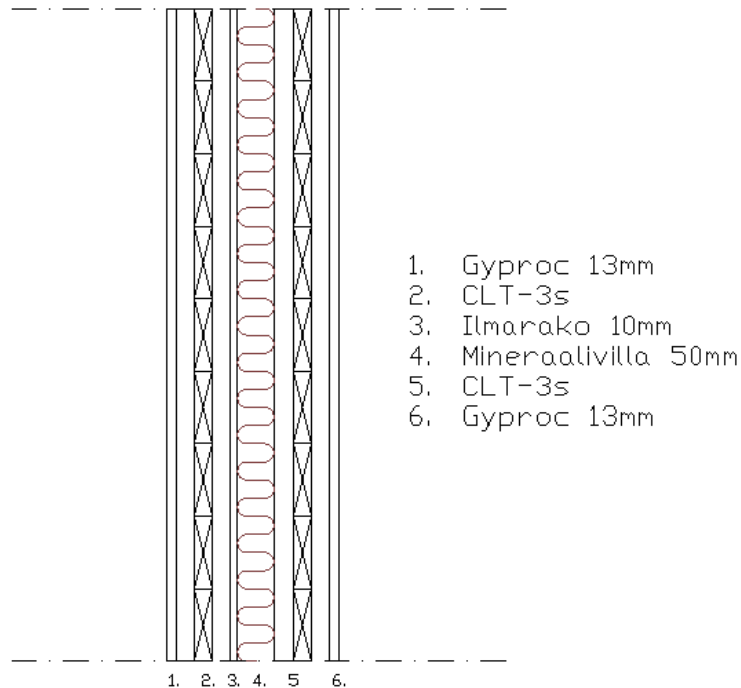
Kuva 10. Hiekan ja betonilaatan massanlisäyksen vaikutus askelääneneristävyyden parantamiseen (Lahtela 2014, 35).

Myös pintalaatan päällä olevalla lattiapäällysteellä on olennainen osa monikerrosrakenteisen välipohjan askelääneneristävyydelle. Jos välipohjalta halutaan saavuttaa parempi askelääneneristävyys, on käytettävä päällysteenä pehmeitä lattiapäällysteitä. Pehmeitä lattiapäällysteitä ovat esimerkiksi pehmeät muovimatot ja lautaparketit. Valittaessa päällysteeksi lautaparketti, tulee sen alle asentaa joustava alusmateriaali. Lattiapäällysteiden parantava vaikutus asuinrakennuksen askelääneneristävyyteen on yleensä muovimatoilla noin 17 - 20 dB ja lautaparketeilla noin 17 - 18 dB. (Kylliäinen 2006, 99.)

5.2 Huoneistojen välinen osastoiva seinä

Huoneistojen välisissä osastoivissa seinissä käytetään huoneistojen välisen välipohjan tavoin monikerrosrakenteita. Monikerrosrakenteinen väliseinärakenne on jousi-massa yhdistelmä. Kyseisen yhdistelmän ääneneristävyys perustuu toisistaan kokonaan erillään olevien massojen ja erillään olevien kerrosten välissä olevan ilmatilan yhteistoimintaan. Monikerrosrakenteisessa seinässä ääniaallot muodostavat värähtelyä seinän toisessa puoliskossa. Kerrosten välissä oleva ilmatila toimii ikään kuin jousena, jonka välityksellä värähtely välittyy seinän toiselle puoliskolle. (Lahtela 2004, 23 - 24.)

Monikerrosrakenteisessa seinässä ilmatilaan muodostuu korkeilla äänentaajuuksilla seisovia aaltoja. Nämä aallot heikentävät monikerrosrakenteisen seinän ääneneristävyttä merkittävästi. Seisovien aaltojen aiheuttamaa ääneneristyskyvyn alenemista voidaan vähentää käyttämällä kerrosten välisessä ilmatilassa ääntä absorboivaa materiaalia. Materiaaleina voidaan yleisimmin käyttää puukuitueristettä, tai kuten opinnäytetyössämme käytettyä mineraalivillaa (kuva 11). Ilmatila voidaan täyttää kokonaan absorboivalla materiaalilla tai absorboivan materiaalin ja seinän toisen puoliskon väliin voidaan jättää 10 - 15 mm:n ilmarako. (Lahtela 2004, 24.)



Kuva 11. Opinnäytetyössämme käytetty huoneistojen välisen seinän rakenne-malli.

Tutkimusten mukaan, mitä pehmeämpää absorboiva materiaali on, sen suurempi parannus monikerrosrakenteisen seinän ääneneristävyyteen saadaan. Käytettäessä absorboivana materiaalin esimerkiksi mineraalivillaa, saavutetaan jopa 5 - 15 dB parannus seinän ääneneristävyyteen. Jos monikerrosrakenteisella huoneistojen välisellä seinärakenteella halutaan saavuttaa standardin SFS 5907 mukaiset ääneneristysvaatimukset asuinrakennuksessa, ei toisistaan erillään olevien puoliskojen välillä saa olla minkäänlaista mekaanista kytkentää. (Lahtela 2004, 24.)

5.3 Sylodyn- ja Sylomer-tärinäeristeet

Sylodyn ja Sylomer ovat itävaltalaisen Getzner GmbH:n valmistamia tärinäeristeitä, joiden tarkoitus on eristää rakennukset niiden ympäristöistään. Tärinäeristeissä käytettävä materiaali on solumaista polyuretaanista valmistettua mattoa, joka estää värinän ja runkoäänien etenemisen rakenteissa. Sylomer- ja Sylodyn-

tärinäeristeet soveltuvat erinomaisesti varsinkin kevyisiin rakenteisiin, kuten puu-kerrostalojen askel- ja runkoäänien vaimennukseen. Käyttämällä Sylomer- ja Sylodyn-tärinäeristeitä saavutetaan tehokas vaimennus tärinälle ja rakenteiden runkoäänille. (Rakennustieto RT-38488, 1.) Sylodyn- ja Sylomer-tärinäeristeet ovat erittäin helppoja asentaa paikoilleen, sekä niiden mitoitus on rakennesuunnittelijalle varsin helppoa Getzner GmbH:n suunnitteleman TimberCalc -mitoitusohjelman ansiosta (Getzner 2018).

Sylomer- ja Sylodyn-tärinäeristeet eroavat toisistaan materiaalina käytettävän solumaisen polyuretaanista valmistetun elastisen maton koostumuksen osalta. Sylomer valmistetaan solumaisesta elastisesta matosta, jossa osa materiaalin soluista on auki ja osa suljettuina. Suljettujen ja avoimena olevien solujen suhde riippuu materiaalin jäykkyydestä. Sylodynissa käytettävä materiaali on myös solumaista elastista mattoa, mutta sen koostumus muodostuu pelkästään suljettuista soluista. (Rakennustieto RT-38488, 2.)

Sylomer-tärinäeristettä on saatavilla kymmentä eri laatua, jotka ovat eriteltyinä toisistaan väreillä. Saatavilla olevat laadut ovat Sylomer SR11, SR18, SR28, SR42, SR55, SR110, SR220, SR452, SR850 ja SR1200. Sylodyn-tärinäeristettä on saatavilla viittä eri laatua, jotka ovat Sylomerin tavoin eritelty toisistaan väreillä. Saatavilla olevat laadut ovat Sylodyn NB, NC, ND, NE ja NF. Opinnäytetyössämme käytetyt tärinäeristeet olivat laaduiltaan Sylomer SR28 ja Sylodyn NB (Christian Berner 2018).

Sylomer- ja Sylodyn-tärinäeristeiden staattinen kuormitettavuus on suurusluokaltaan 0,005 - 1,50 N/mm², riippuen tärinäeristeen laadusta. Kaikki saatavilla olevat laadut kestävät erittäin hyvin myös dynaamisia kuormitushuippuja, joiden jälkeen ne myös palautuvat entiselleen alkuperäisiin ominaisuuksiinsa. Kuvassa 12 on taulukko Sylodyn- ja Sylomer-tärinäeristimien vakiolaatujen kuormitettavuudesta.

Sylomer- ja Sylodyn-vakiolaatujen kuormitettavuus

Laatu	SR11	SR18	SR28	SR42	SR55	SR110	SR220
Väri	keltainen	oranssi	sininen	rosa	vihreä	ruskea	punainen
Staattinen kuormitettavuus, N/mm ²	0,011	0,018	0,028	0,042	0,055	0,110	0,220
Kuormitushuippu, N/mm ²	0,50	0,75	1,0	2,0	2,0	3,0	4,0

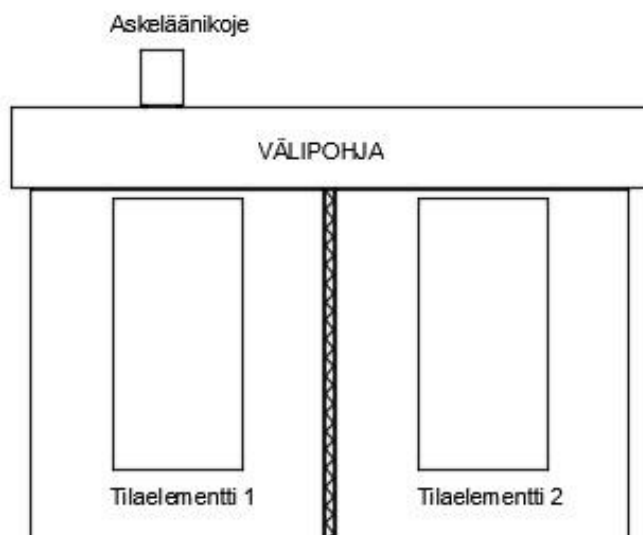
Laatu	SR450	SR850	SR1200	Sylodyn NB	Sylodyn NC	Sylodyn ND	Sylodyn NE	Sylodyn NF
Väri	harmaa	turkoosi	violetti	punainen	keltainen	vihreä	sininen	lila
Staattinen kuormitettavuus, N/mm ²	0,450	0,850	1,20	0,075	0,150	0,350	0,750	1,50
Kuormitushuippu, N/mm ²	5,0	6,0	6,0	0,75	1,5	2,5	4,0	7,0

Kuva 12. Sylomer- ja Sylodyn-täriäeristeiden vakiolaatujen värit ja kuormitettavuus (Rakennustieto RT-38488, 2).

6 Tutkimuksen toteutus

6.1 Menetelmät ja rakentaminen

Opinnäytetyössä ensimmäisenä vaiheena oli rakentaa aiheena oleva, kiviaines-täytteinen CLT-runkoinen välipohjarakenne. Mallina käytettiin Binderholz GmbH:n välipohjan rakennetta (liite 1). Välipohjarakenne toteutettiin kahden CLT-tilaelementin päälle, jotka toimivat tutkimuksessamme ”huoneistoina”. Kuvassa 13 on havainnekuva tutkimusasetelmastamme.



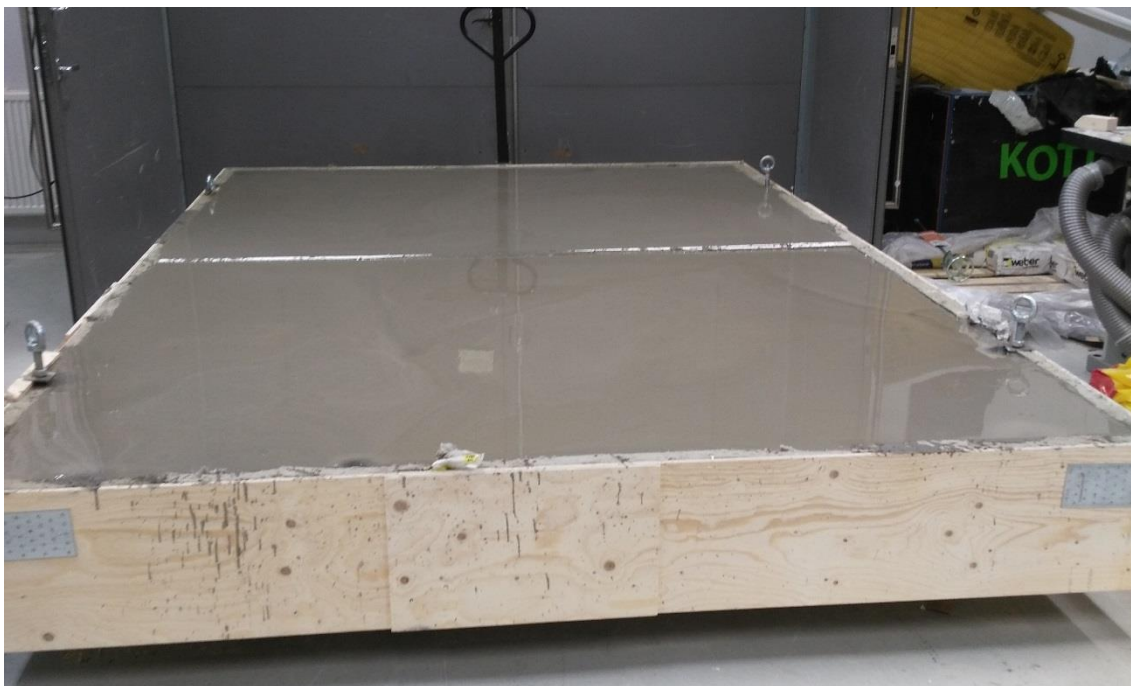
Kuva 13. Olemassa olevia CLT – tilaelementtejä käytettiin hyödyksi tutkimuskesämme välipohjan alla olevina ”huoneistoina”.

Tutkittavan välipohjan rakenne oli seuraavanlainen: kelluvana pintalaattana käytettiin 40 mm:n plaanovalua, jonka alla oli kaksi kerrosta 20 mm:n vahvuista solumuovilevyeristettä. Nämä toimivat rakenteessa askeläänieristeenä. Seuraavana eristeiden alla oli 100 mm:n vahvuinen kerros, raekooltaan 6 - 8 mm:n sepeliä ja sepelin alla kantava 147 mm:n paksuinen CLT-levy. Välipohjan reunoina käytettiin 25 mm:n paksuista vanerilevyä (kuva 13). Rakennekerrokset ja reunojen vanerilevyt erotettiin toisistaan 50 mm:n paksuisella kivivillakaistalla. Kivivillakaistan tarkoituksena oli estää runkoäänien muodostuminen vanerin kautta muuhun rakenteeseen. Välipohjarakenteeseen asetettiin tilaelementtien välisen sauman kohtaan pystyyn solumuovieriste, jonka avulla saimme toisessa koeasettelussa katkaistua jatkuvan välipohjarakenteen ei-jatkuvaksi. Kuvassa 14 on rakennusvaihe, jossa CLT-levyn reunaan on kiinnitetty vanerireunus, rakennetta reunustaa kivivillaeeriste ja rakenteen huoneistojen väliin tulevaan saumaan on asennettu pystyyn solumuovieriste.



Kuva 14. Välipohjan rakentaminen alkoi rungon kokoamisella.

Rakenteen rungon kokoamisen jälkeen levitettiin CLT-levyn päälle 100 mm:n vahvuinen kerros sepeliä, jonka päälle asetettiin solumuovieristelevyt. Kelluvan pintalaatan plaanovaluna käytettiin Weberin tuotetta 110 wine (kuva 15).



Kuva 15. Välipohja valun jälkeen ja välipohjarakenne on valun kuivumista vaille valmis.

Välipohjarakenteen toteutimme yhdessä toimeksiantajan kanssa Karelia-ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa, josta välipohja siirrettiin pintalaatan kuivumisen jälkeen korkeampaan halliin tilaelementtien päälle. Ennen välipohjan asentamista tilaelementtien päälle, asennettiin tilaelementtien väliin 50 mm:n mineraalivillalevyt sekä jätettiin 10 mm:n ilmarako. Tällöin tilaelementtien välinen seinärakenne vastasi kuvan 10 rakennemallia. Kuvassa 16 välipohja on siirretty tilaelementtien päälle, odottamaan ensimmäisiä akustiikkamittauksia.



Kuva 16. Kuvassa valmis välipohjarakenne on siirretty tilaelementtien päälle.

Opinnäytetyössämme on tutkittu kiviaineksen soveltuvuutta askelääni- ja ilmaäänieristävyydeltään CLT-runkoisen välipohjan täyttömateriaaliksi. Tutkimukses-
samme käytimme välipohjan ja tilaelementtien väliin asennettavina tiivisteinä nel-
jää erilaista tiivistettä, jotka vaimentavat tärinää ja runkoääniä. Tiivisteet olivat
seuraavanlaisia: Sylodyn 12,5 mm ja 25 mm sekä Sylomer 12,5 mm ja 25 mm
(kuva 17). Ensimmäisen ilmaääni- ja askeläänimittauksen suoritimme ilman tiivis-
tettä.



Kuva 17. Yhtenä tiivisteenä välipohjan ja tilaelementtien välissä käytettiin 25 mm:n paksuista Sylomer-täriäeristettä.

Opinnäytetyössä tutkittiin myös välipohjarakenteen ja väliseinän askel- ja ilmaääneneristävyyttä välipohjalaatan ollessa jatkuva- sekä katkaistu rakenne. Välipohjan ja tilaelementtien väliin asennettiin vuorotellen neljä erilaista tiivistettä ja mittaukset suoritettiin ensin jatkuvalla välipohjarakenteelle. Tämän mittaussarjan jälkeen välipohja katkaistiin tilaelementtien välisen sauman kohdalta ja mittaukset suoritettiin ei-jatkuvalla välipohjarakenteelle. Näissä mittauksissa tiivisteinä käytettiin yhtä tiivistettä, jolla saatiin paras mittaustulos askelääneneristävyyden osalta aiemmissa mittauksissa.

6.2 Ilmaääneneristävyyden mittaaminen

Ilmaääneneristävyyttä voidaan mitata olemassa olevasta rakennuksesta kenttä-tutkimuksin tai laboratoriossa, jolloin saadaan yksittäisen rakennusosan ilma-

neristävyys selville. Kenttämittauksissa mittauksiin tulee mukaan myös tutkittavan tiloja erottavan rakenteen ilmaneristävyys sekä sitä sivuavien osien ilmaneristävyys. Laboratoriossa suoritettavien mittauksien ilmaneristävyys merkitään pelkällä kirjaimella R, kun taas kenttämittauksien ilmaneristävyys merkintä on R'. (Kylliäinen 2006, 66.)

Kun mitataan rakenteen ilmaääneneristävyttä R_w , tulee mittaukset suorittaa standardien SFS-EN ISO 16238-1 ja SFS-EN ISO 717-1 mukaisesti. Opinnäytetyössämme käytetyt CLT-tilaelementit olivat kuitenkin pinta-alaltaan vain 3,6 m², joten edellä mainittujen standardien mukaista ohjeistusta jouduttiin soveltamaan. Standardin SFS-EN ISO 16238-1 mukaan mikrofoni tulee sijoittaa vähintään 0,5 metrin etäisyydelle seinästä ja äänilähde on oltava vähintään 1,0 metrin etäisyydellä mikrofonista. Opinnäytetyössä käytettyjen CLT-tilaelementtien pienestä pinta-alasta johtuen standardin SFS-EN ISO 16238-1 mukaisia etäisyyksiä ei voitu toteuttaa. Standardin SFS-EN ISO 16238-1 mukaista ohjeistusta sovellettiin siten, että mittaukset suoritettiin käyttämällä vain yhtä mittauspistettä keskellä CLT-tilaelementtiä.

Ilmaääneneristävyden R_w mittaaminen aloitettiin tutustumalla mittauksessa käytettäviin mittalaitteisiin. Opinnäytetyössä käytetty mittalaite on Norsonic Nor 140 -äänitasomittari. Käytettävät mittalaitteet tulee aina kalibroida ennen varsinaisen mittaamisen aloittamista standardin SFS-EN ISO 16238-1 ohjeiden mukaisesti. Seuraavaksi mitattiin CLT-tilaelementtien pinta-ala ja tilavuus sekä CLT-tilaelementtien välisen seinän pinta-ala laseretäisyysmittarin avulla. Mittauksessa välipohjan pinta-alaksi saatiin 3,6 m², tilan tilavuudeksi 6,2 m³ ja tilaelementtejä jakavan seinän pinta-alaksi 3,8 m². Varsinainen ilmaääneneristävyden mittaaminen aloitettiin käynnistämällä äänilähde, äänilähdettä pidettiin 15 sekunnin ajan päällä ennen mittauksen aloittamista. Ilmaääneneristävyden mittaaminen aloitettiin mittaamalla kolme kertaa 30 sekunnin ajan äänenpainetaso [L₁] tilasta, jossa on äänilähde sekä mikrofoni (kuva 18).



Kuva 18. Ilmaääneneristävyyden mittauksien laitteisto lähettävässä tilaelementissä 2.

Äänenpainetason L_1 mittaamisen jälkeen mitattiin CLT-tilaelementin jälkikaiunta-aika T . Jälkikaiunta-aikaa mitattaessa äänilähdettä pidettiin ensin päällä 30 sekunnin ajan, jonka jälkeen äänilähde sammutettiin. Sammuttamisen jälkeisestä viiden sekunnin ajanjaksosta mitattiin tilaelementin jälkikaiunta-aika T . Jälkikaiunta-ajan T mittaamisen jälkeen mikrofoni siirrettiin seinän toisella puolella olevaan CLT-tilaelementtiin, äänilähteen pysyessä paikoillaan. Toisesta tilaelementistä mitattiin edellä mainitulla tavalla kolme kertaa 30 sekunnin ajan äänenpainetaso L_2 . Tämän jälkeen viimeisenä vaiheena ilmaääneneristävyyttä mitattaessa, mitattiin vielä CLT-tilaelementtien taustamelun äänenpainetaso. Taustamelun äänenpainetaso mitattiin äänilähteen ollessa sammutettuna noin 60 sekunnin ajan ennen mittausta. Taustamelun äänenpainetaso mitattiin edellisistä mittauksista poiketen vain yhden kerran 30 sekunnin ajan aina kunkin mittauspäivän aluksi.

Ilmaääneneristävyyden R_w mittaaminen suoritettiin samaa edellä mainittua kaavaa noudattaen kaikille eri tiivistetyypeille välipohjaelementin ollessa yhtenäinen sekä katkaistuna CLT-tilaelementtejä jakavien seinien kohdalta. Kaiken kaikkiaan

opinnäytetyössä ilmaääneneristävyyden mittaus suoritettiin neljälle eri tiivistetyypille sekä kertaalleen siten, että rakenneosien välillä ei ollut tiivistettä.

6.3 Askeläänieristävyyden mittaaminen

Mitattaessa rakenteen askelääneneristävyyttä $L_{n,w}$ tulee mittaukset suorittaa standardien SFS-EN ISO 16238-2 ja SFS-EN ISO 717-2 mukaisesti. Askelääneneristävyyden mittaaminen aloitettiin tutustumalla mittauksessa käytettäviin mittalaitteisiin. Opinnäytetyössä käytetyt mittalaitteet ovat Norsonic Nor 140 -äänitasomittari ja Norsonic Nor 277 -askeläänikoje. Käytettävät mittalaitteet tulee aina kalibroida standardin SFS-EN ISO 16238-1 ohjeistuksen mukaisesti.

Askelääneneristävyyden $L_{n,w}$ mittaaminen aloitettiin mittaamalla CLT-tilaelementtien välisen välipohjan pinta-ala sekä vastaanottavan tilan tilavuus. Pinta-ala sekä tilavuus olivat samat kuin ilmaääneneristävyyden mittauksessa saadut 3,6 m² ja 6,2 m³.

Mittauksissa äänilähteenä käytettiin standardoitua askeläänikojetta, joka sijoitettiin toisen tilaelementin välipohjarakenteen päälle (kuva 19). Askeläänikojeen paikka pysyi samana kaikkien mittaussuoritusten ajan. Varsinainen mittaaminen aloitettiin mittaamalla 30 sekunnin ajan äänenpainetaso vastaanottavasta tilasta, joka on kohtisuoraan askeläänikojeen alapuolella. Standardin SFS-EN ISO 16238-2 ohjeistuksen mukaisesti vastaanottavassa tilassa olevan äänitasomittarin mikrofonin tulee sijaita vähintään 0,5 m:n etäisyydellä lähimmästä nurkasta ja askeläänikojeen etäisyys äänitasomittarista tulee olla vähintään 1,0 m.



Kuva 19. Askeläänikoje sijaitsi kaikkien mittauskertojen aikana toisen tilaelementin päällä.

Seuraavaksi mitattiin äänenpainetasot vastaanottavan tilan kaikista nurkista, käyttäen standardin SFS-EN ISO 16238-2 mukaista nurkkapistemenetelmää. Standardin SFS-EN ISO 16238-2 mukaisesti nurkkapistemenetelmässä äänitasomittari sijoitettiin 0,3 metrin etäisyydelle vastaanottavan tilan ylänurkista ja 0,4 metrin etäisyydelle välipohjarakenteesta. Nurkkapisteidien äänenpainetasoa mitattiin 30 sekunnin ajan, kaikista neljästä nurkkapisteestä. Nurkkapisteidien äänenpainetasojen mittaamisen jälkeen äänitasomittari siirrettiin viereiseen CLT-tilaelementtiin ja äänilähde pidettiin paikoillaan. Edellä mainittua kaavaa noudattaen mitattiin viereisestä vastaanottavasta tilasta askeläänepainotaso, sekä nurkkapisteidien äänenpainetasot käyttäen samaa standardin SFS-EN ISO 16238-2 nurkkapistemenetelmää.

Askelääneneristävyden $L_{n,w}$ mittaaminen suoritettiin samalla tavalla kuin ilmaääneneristävydenkin mittaus kaikille eri tiivistetyypeille välipohjaelementin ollessa yhtenäinen sekä katkaistu. Tämän jälkeen mitattiin vielä jokaisena mittauspäivänä kertaalleen CLT-tilaelementtien taustamelun äänenpainetaso.

7 Tulokset

7.1 Laskentamenetelmät

7.1.1 Ilmaääneneristävyyden laskeminen

Äänilähteestä syntyvä ilmaääni saa ympärillään olevan ilman värähtelemään, jolloin taas huoneen pinnat (seinät, katto ja lattia) värähtelevät äänitehon vaikutuksesta. Tämä taas aiheuttaa huonetilan toisella puolella olevan tilan ilman värähtelyn ja näin toiseen tilaan välittyä jokin ääniteho. (Kylliäinen 2006, 47.) Ilmaääneneristävyyden laskemisessa huomioidaan taustamelun vaikutus mittaustuloksiin, joka saadaan kaavasta:

$$L = 10 \lg(10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}}) \quad (6)$$

missä

L	korjattu desibeliarvo, dB
L ₂	saapuva äänentaso, dB
L _b	taustamelu, dB (SFS-EN ISO 16283-1 2014, 13.)

Absorption vaikutus otetaan laskelmissa huomioon ja sen laskemiseen käytetään Sabinen kaavaa 7.

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (7)$$

missä

A	Absorptioala, m ²
V	Tilavuus, m ³
T	Jälkikaiunta-aika, s (SFS-EN ISO 16283-1 2014, 4.)

Ilmääneneristävyys R lasketaan lähetys- ja vastaanottotilojen äänenpainetasojen L_1 ja L_2 , lähettävän tilan absorptioalan A ja huoneita erottavan rakenteen pinta-alan S [m²] perusteella (Kylliäinen 2006, 65). Ilmääneneristävyys R voidaan laskea seuraavalla kaavalla 8 (SFS-EN ISO 16283-1 2014, 3).

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (8)$$

Ilmääneneristävyuden mittaustuloksena saadaan rakennusosan tai tilojen välinen ilmaneristävyys 16 kolmannesoktaavikaistalla (ISO 16283-1:2014, 5). Mittaustuloksista saadaan piirrettyä käyrä, joka kertoo tutkittavan rakennusosan tai tilojen välisen ilmaneristävyyskyvyn. Kuitenkin mittaustulokset esitetään selvyyden vuoksi yhtenä ilmaneristävyyslukuna. Saaduista ilmanääneneristävyysluvuista käytetään laboratoriomittauksissa merkintää R_w ja kenttämittauksissa R'_{w} . (Kylliäinen 2006, 66 - 67.) Rakenteen ilmaneristävyys on sitä parempi mitä suurempi ilmaneristävyysluku on (Lahtela 2004, 12).

7.1.2 Askelääneneristävyuden laskeminen

Askelääneneristävyys lasketaan standardin SFS-EN ISO 16283-2 mukaan seuraavien kaavojen avulla. Askelääneneristävyuden laskemisessa otetaan huomioon taustamelu ja absorptioala, jotka saadaan laskettua kaavoilla 6 ja 7. Taustamelukorjaus ja absorptioalan vaikutus otetaan laskelmissa huomioon, jotta tiloista ja rakenteista saatavat mittaustulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Alla on taustamelun korjauksen laskemiseen käytettävä kaava 9.

$$L = 10 \lg \left(10 \frac{L_{sb}}{10} - 10 \frac{L_b}{10} \right) \quad (9)$$

missä

L	korjattu desibeliarvo, dB
L_{sb}	saapuva äänentaso ja taustamelu yhdistettynä, dB
L_b	taustamelu, dB (SFS-EN ISO 16283-2 2015, 21.)

Askelääneneristyksen mittaustulos ilmoitetaan yhtenä lukuna, joka voidaan laskea seuraavalla kaavalla 10:

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_o} \quad (10)$$

missä

L_n	askeläänitaso, dB
L_i	vastaanottavan huoneen äänentaso, dB
A	vastaanottavan huoneen absorptioala, m ²
A_o	absorptioalan viitearvo, asunnoilla 10 m ² (SFS-EN ISO 16283-2 2015, 8.)

7.1.3 Taustamelun korjaaminen mittaustuloksiin

Mittauksista saadut askeläänentasoluvut olivat odotettua heikommat ja tästä syystä ryhdyimme pohtimaan tuloksiin vaikuttavia tekijöitä tarkemmin. Merkittävimpänä yksittäisenä tekijänä heikkoihin mittaustuloksiin pidimme mittauksissa käytettyjä CLT-tilaelementtien sisäänkäyntiovia. Ovet olivat vanhoja ja kuluneita varastojen ovia, joita ei ole luokiteltu ääneneristysoviksi. Tutkimme ovien ääneneristävyyttä mittaamalla niiden ääneneristävyyden suoritettujen askelääneneristävyyden mittausten jälkeen. Oven ääneneristävyydeksi R_w saimme mittaamalla 26 dB. Mittaushetkellä vallitseva taustamelu lisättynä oven heikkoon ääneneristävyyden vaikutuksiin vaikuttivat siihen, että oven kautta tilaelementtien sisään kulkeuvan taustamelun laskennallinen korjaus on perusteltua. Oven ja liitosrakenteiden kautta tuleva äänentasopaine on rakenteiden kautta tulevaa sivusiirtymää.

Taustamelun laskennallinen korjaus tehtiin jokaiselle mittausasetelmalle taajuuskaistoittain. Oven ääneneristävyyden perusteella saimme laskettua oven kautta sisään tulevan melun määrän, jota käytettiin korjatun taustamelun laskemiseen. Uudet saadut taustamelun lukuarvot taajuuskaistoittain sijoitettiin taustamelun suuruudeksi askeläänentasoluvun laskemisessa. Taustamelun korjauslaskenta

suoritettiin NorBuild-laskentaohjelmalla, joka on akustiikkamittauksissa yleisesti käytettävä laskentaohjelma.

Ensimmäisessä taustamelun korjauslaskennan vaiheessa laskettiin oven kautta kulkeutuvan taustamelun määrä taajuuskaistoittain Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla. Taulukossa 6 on esitetty esimerkilaskelma mittausasetelmalle, jossa tiiviisteenä on käytetty Sylomer 25 mm:n tiivistettä. Taulukon sarakkeen ”Oven kautta kulkeutuva taustamelu” -tulos on saatu vähentämällä askeläänikojeen ja hallin äänentasosta oven ääneneristyskyvyn mukainen äänenpainetaso. Tästä tuloksena saatu taustamelu on siirretty Norbuild-ohjelmaan taustamelun arvoksi.

Taulukko 6. Oven kautta kulkeutuva taustamelu.

Taajuus [Hz]	Mittauksessa saatu askeläänitasoluku [L`nt]	Askeläänikojeen ja hallin äänepainetaso [dB]	Oven ääneneristyskyky [R`w]	Oven kautta kulkeutuva taustamelu [dB]
50	51,6	62,0	24,9	37,1
63	58	63,1	23,7	39,4
80	66,4	60,8	14,9	45,9
100	64,8	68,3	18,3	50
125	57,4	63,1	18,7	44,4
160	55,9	65,9	14	51,9
200	55,2	63,8	19,3	44,5
250	51,4	63,5	25,4	38,1
315	43,7	64,8	19,8	45
400	46,9	64,3	23,8	40,5
500	51,8	67,9	21,2	46,7
630	53	71,6	22,5	49,1
800	49,5	69,0	26,8	42,2
1 000	46,6	67,6	27,8	39,8
1 250	46,3	66,6	27,6	39
1 600	45,8	67,0	26,4	40,6
2 000	43,7	65,8	25,3	40,5
2 500	42,3	65,2	26,2	39
3 150	40,6	65,0	30,7	34,3
4 000	34,9	62,6	33,7	28,9
5 000	30,1	59,0	34	25

Taustamelun laskennallinen korjaus saa olla standardin ISO 16283-2 mukaan korkeintaan 1,3 dB eikä sen suurempia korjauksia saa tehdä (taulukko 7) (SFS-

EN ISO 16283-2, 21). Tästä syystä, mikäli taustamelun arvo ylittää edellä mainitun arvon, käytetään laskennassa kuitenkin enintään arvoa 1,3 dB. Tällöin laskentaohjelma merkitsee tulosraporttiin (liite 3) sitä vastaavalle taajuuskaistalle merkinnän ¹. Taustamelulla ei ole vaikutusta mittaustuloksiin, mikäli se on mitattavan meluun nähden 10 dB alhaisempi (taulukko 7).

Taulukko 7. Norbuild-ohjelman laskentaraaportti.

Background noise correction table

Frequency [Hz]	L2 [dB]	L2sb [dB]	Lb [dB]	L2-L2sb [dB]	
50	47,8	47,8	37,1		
63	50,3	50,3	39,4		
80	59,8	59,8	45,9		
100	63,4	63,4	50,0		
125	57,0	57,0	44,4		
160	56,5	57,8	51,9	-1,3	Background noise too high
200	57,0	57,0	44,5		
250	52,7	52,7	38,1		
315	43,2	44,5	45,0	-1,3	Background noise too high
400	45,5	46,7	40,5	-1,2	Correction for Background noise
500	49,2	50,5	46,7	-1,3	Background noise too high
630	49,2	50,5	49,1	-1,3	Background noise too high
800	46,1	47,4	42,2	-1,3	Background noise too high
1000	43,6	44,9	39,8	-1,3	Background noise too high
1250	43,1	44,4	39,0	-1,3	Background noise too high
1600	42,6	43,9	40,6	-1,3	Background noise too high
2000	41,2	42,5	40,5	-1,3	Background noise too high
2500	38,6	39,9	39,0	-1,3	Background noise too high
3150	36,8	38,1	34,3	-1,3	Background noise too high
4000	31,7	33,0	28,9	-1,3	Background noise too high
5000	26,4	27,7	25,0	-1,3	Background noise too high

Corner - Background noise correction table

50	-946,8	52,2		-999,0
63	-938,8	60,2		-999,0
80	-930,7	68,3		-999,0

Legend:

Lb: Background noise level

L2sb: Signal and background noise in the receiving room

L2: Adjusted signal level

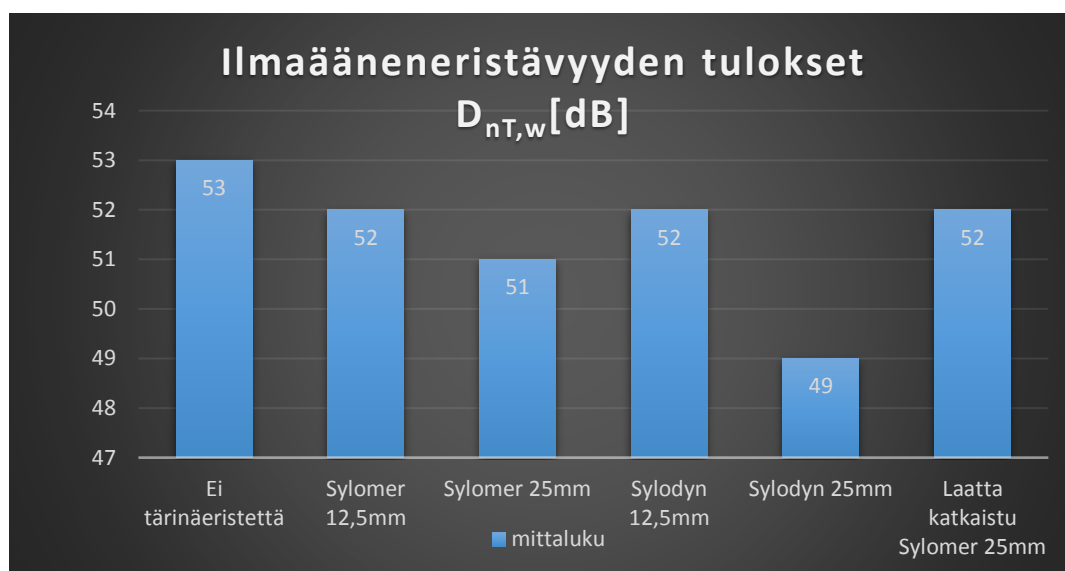
7.2 Mittaustulokset

7.2.1 Ilmaääneneristävyyden tulokset

Työssämme mittasimme tilaelementtien välisen seinän (kuva 10) ilmaääneneristävyyttä ja tulosten perusteella paras ilmaääneneristävyytluku 53 dB saatiin ilman tärinäeristettä. Binderholz GmbH -yrityksen tekemässä tutkimuksessa on saatu vastaavanlaisen seinärakenteen ilmaääneneristävyytluvuksi 58 dB. Binderholz GmbH:n tutkimuksen tulokset on ilmoitettu tunnuksella R_w , joka viittaa siihen, että tutkimus on toteutettu laboratorio-olosuhteissa.

Saatujen mittaustulosten perusteella nähdään, ettei mikään mittausasetelma täytä määräysten mukaista raja-arvoa, joka on ilmaääneneristävyydelle >55 dB. Heikoin mittaustulos saatiin Sylodyn 25 mm:n tärinäeristeellä, jolloin ilmaääneneristävyytluku oli 49 dB (taulukko 8). Liitteellä 2 on esitetty jokaisen ilmaääneneristämisen mittaustulokset standardin mukaisina raporteina mittauskäyrineen.

Taulukko 8. Mittaustulokset mittausasetelma kohtaisesti.

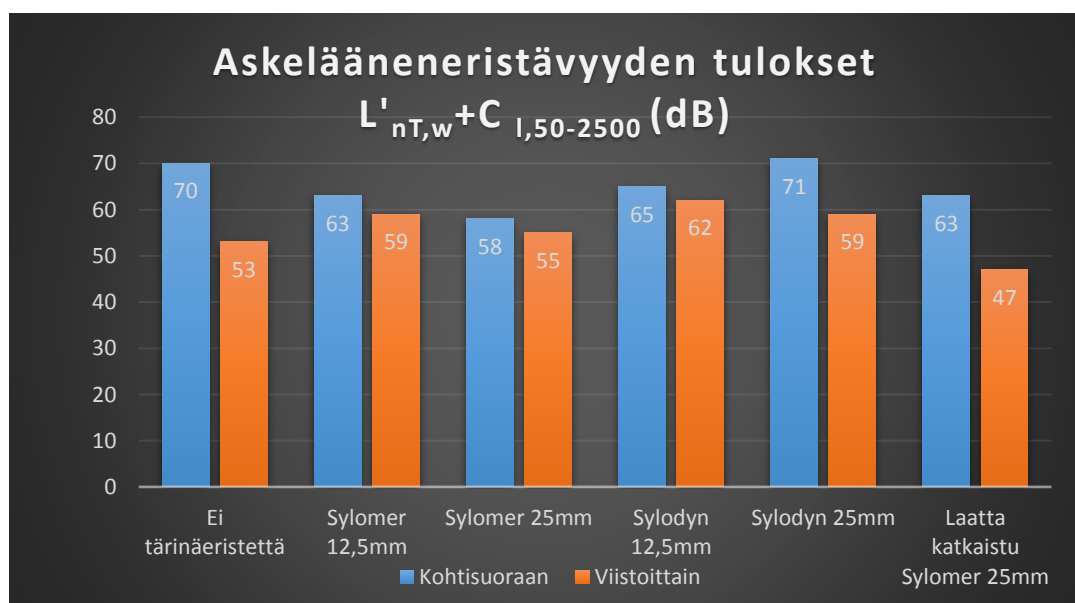


7.2.2 Askelääneneristävyyden tulokset

Askelääneneristävyyden mittaukset suoritettiin siten, että askeläänikoje oli toisen tilaelementin päällä koko ajan. Mittaus suoritettiin kohtisuoraan kojeen alapuolisen tilaelementin sisältä sekä kojeesta nähden viistoittain olevan tilaelementin sisältä. Taulukossa 9 sinisellä merkitty pylväs kuvaa kojeen kohtisuoraa alapuolista tilaelementtiä ja oranssi pylväs kojeesta nähden viistottain olevaa tilaelementtiä.

Parhaimman askeläänitasoluvun yhtenäisenä välipohjarakenteena mittauksissamme sai Sylomer 25 mm:n tärinäeristin. Tällöin kojeen alapuolisen tilaelementin sisältä mitattuna välipohjan askeläänitasoluksi saatiin 58 dB ja kojeesta nähden viistottain olevan tilaelementin sisältä mitattuna askeläänitasoluksi saatiin 55 dB. Binderholz GmbH:n tutkimuksessa $L_{n,w}$ luvuksi on välipohjarakenteelle saatu 38 dB. Asetuksen 796/2017 suurin sallittu askeläänitasoluku on <53 dB. Tämä asetettu raja täyttyy mittausasetelmassa, jossa ei ole käytetty tärinäeristettä ja mittaus on suoritettu viistottain kojeesta nähden olevan tilaelementin sisältä. Raja-arvo alittuu myös katkaistulla välipohjarakenteella viistottain olevan tilaelementin sisällä. Kaikissa muissa mittausasetelmissä raja-arvo ylittyy, askeläänitasoluvun ollessa 55 - 71 dB. Liitteellä 3 on esitetty jokaisen askeläänimittauksen tulokset standardin mukaisella mittausraportilla käyrineen.

Taulukko 9. Askeläänitasoluvut mittausasetelma kohtaisesti.



7.2.3 Taustamelun korjauksen vaikutus askeläänentasolukuihin

Taustamelun korjauksen vaikutukset alkuperäisiin mittaustuloksiin on esitetty taulukossa 10 ja 11. Taulukosta 10 voidaan nähdä, että kohtisuoraan askeläänikojeen alapuolella olevan tilaelementin sisällä suoritetuissa mittauksissa, ei taustamelun laskennallinen korjaus ole vaikuttanut tai sitä ei ole otettu huomioon taustamelun korjauksena. Kaikissa mittausasetelmissä alkuperäisen mittauksen $L'_{nT,w}$ luku ja spektripainotusermi $C_{I, 50-2500}$ säilyvät samoina.

Taulukko 10. Mittaukset on suoritettu askeläänikojeen alapuolella olevan tilaelementin sisältä.

Tärinäeriste	Välipohja	Alkuperäinen mittaustulos		Korjattu mittaustulos	
		$L'_{nT,w}(CI)$ [dB]	$C_{I,50-2500}$ [dB]	$L'_{nT,w}(CI)$ [dB]	$C_{I,50-2500}$ [dB]
Ei tärinäeristettä	Yhtenäinen	72	-2	72	-2
Sylomer 12,5mm	Yhtenäinen	56	7	56	7
Sylomer 25mm	Yhtenäinen	52	6	52	6
Sylodyn 12,5mm	Yhtenäinen	66	-1	66	-1
Sylodyn 25mm	Yhtenäinen	67	4	67	4
Sylomer 25mm	Katkaistu	63	0	63	0

Vastaavasti taulukossa 11 on esitetty taustamelun laskennallisen korjauksen aiheuttamat muutokset askeläänikojeesta nähden viistottain olevan tilaelementin sisältä saatuihin alkuperäisiin mittaustuloksiin. Taulukosta 11 voidaan nähdä, että korjaus on vaikuttanut neljän eri mittausasetelman tuloksiin. Kun spektripainotusermi $C_{I, 50-2500}$ otetaan huomioon, muuttuu ainoastaan lopullinen askeläänentaso mittausasetelmassa, jossa ei ole käytetty tärinäeristettä. Alkuperäinen tulos muuttuu luvusta 58 dB lukuun 53 dB.

Taulukko 11. Mittaukset on suoritettu askeläänikojeesta nähden viistottain olevan tilaelementin sisältä.

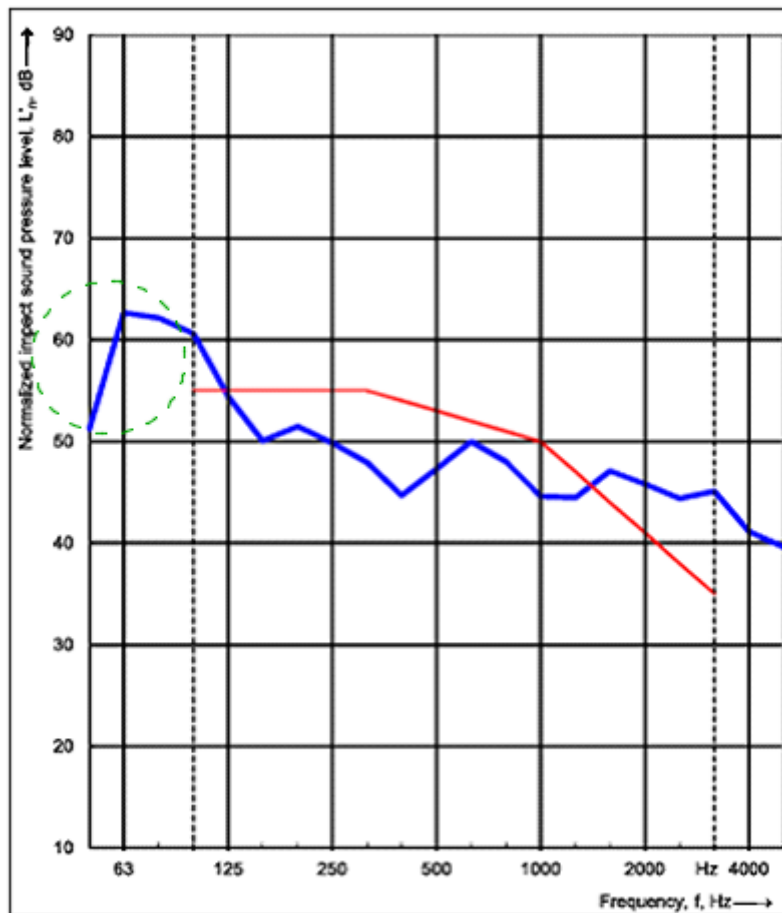
Tärinäeriste	Välipohja	Alkuperäinen mittaustulos		Korjattu mittaustulos	
		L'nT,w(Cl) [dB]	C _{I,50-2500} [dB]	L'nT,w(Cl) [dB]	C _{I,50-2500} [dB]
Ei tärinäeristettä	Yhtenäinen	56	2	53	0
Sylomer 12,5mm	Yhtenäinen	57	2	56	3
Sylomer 25mm	Yhtenäinen	53	2	52	3
Sylodyn 12,5mm	Yhtenäinen	58	4	58	4
Sylodyn 25mm	Yhtenäinen	59	0	59	0
Sylomer 25mm	Katkaistu	49	-2	47	0

Laskennallisella taustamelun korjauksella, osassa mittausasetelmia askelääneneristävyyden mittaustuloksen $L_{n,T,w}$ arvo muuttui pienemmiksi. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 on astunut voimaan vuoden 2018 alusta alkaen ja uusien määräysten mukaan askeläänitasoluvussa otetaan huomioon myös spektripainotusermi $C_{I,50-2500}$. Taustamelun korjaus vaikutti jonkin verran matalien taajuuksien äänenpainetasoon, jonka vuoksi joissakin mittausasetelmissä spektripainotusermi nousee suuremmaksi kuin ennen korjausta suoritettavissa mittaustuloksissa. Tulosten laskennallinen taustamelun korjaaminen ei vaikuttanut merkittävästi lopullisiin askeläänentasonlukuihin, kun spektripainotusermi otetaan huomioon.

7.2.4 Kelluvan pintalaatan ominaistaajuuden vaikutus

Kelluvan pintalaatan ja sen alla olevan askeläänieristekerroksen ominaistaajuudeksi saatiin aiemmin esitetyn kaavan 1 perusteella 56 Hz. Rakenteessa askeläänieristeenä käytettiin Weberfloor 4902 eristettä, jota oli kaksi 20 mm:n paksuista kerrosta päällekkäin ja tällöin koko eristekerroksen dynaaminen jäykkyys s' on 10 MN/m^3 . Kelluvan rakenteen laattana käytettiin plaanotasoitetta Wine 110, jonka pintamassaksi saatiin laskemalla $82,3 \text{ kg/m}^2$. Kun taas käytetään kaksinkertaisen välipohjan resonanssiominaistaajuuden laskemiseen johdettua kaavaa 2, saatiin ominaistaajuudeksi noin 65 Hz.

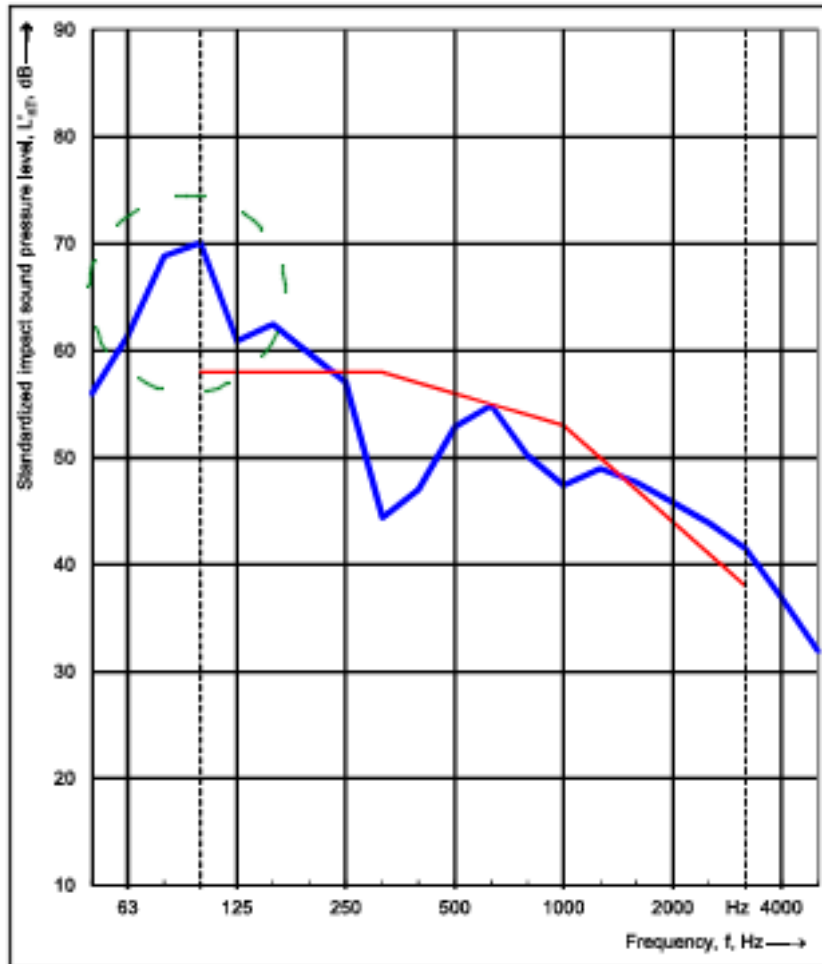
Kuvasta 20 voidaan nähdä, että askeläänien mittauksen tulosraportin käyrässä on selvä nousu 63 Hz:iin asti, tämän jälkeen käyrä lähtee hitaasti laskemaan noin 100 Hz:iin, jonka jälkeen lasku on nopeampaa (liite 3). Käyrään tämä nousu syntyy kelluvan lattian resonanssi-ilmiöstä, jolloin resonanssi heikentää rakenteen ääneneristävyyttä aina kelluvan lattian ominaistajuuteen asti. Resonanssi vaikuttaa rakenteen matalilla taajuuksilla eli matalat äänet kuten askeleet, huonekalujen siirtely tai pyykinpesukoneen pyöriminen voivat kuulua asunnosta toiseen.



Kuva 20. Askeläänitasoluvun mittauksen käyrä mittausasetelmassa, jossa väli-pohja on yhtenäinen, mittaus suoritettiin viistoittain olevasta tilaelementistä eikä käytössä ollut tärinäeristintä.

Kuvassa 21 on toinen käyrä askeläänentason mittauksista, jossa mittaus on suoritettu viistottain olevasta tilaelementistä ja tärinäeristimenä on käytetty Sylo-mer 12,5 mm. Kuvan 21 käyrässä matalilla taajuuksilla käyrän nousu on korkeim-millaan kohdassa noin 80 - 100 Hz ja tämä viittaisi siihen, että kelluvan lattian

ominaistaajuus on korkeampi kuin edellä on laskettu. Ihmisen kuulon tärkeää aluetta on 100 - 3150 Hz, jonka vuoksi kelluvan rakenteen ominaistaajuus kuitenkin on vielä tämän taajuusalueen rajoilla. Parhain tulos kuitenkin olisi, että ominaistaajuus jäisi 50 - 100 Hz väliin ja mielellään lähemmäs 50 Hz.



Kuva 21. Askeläänen mittauksista saatu käyrä yhdellä mittausasetelmalla.

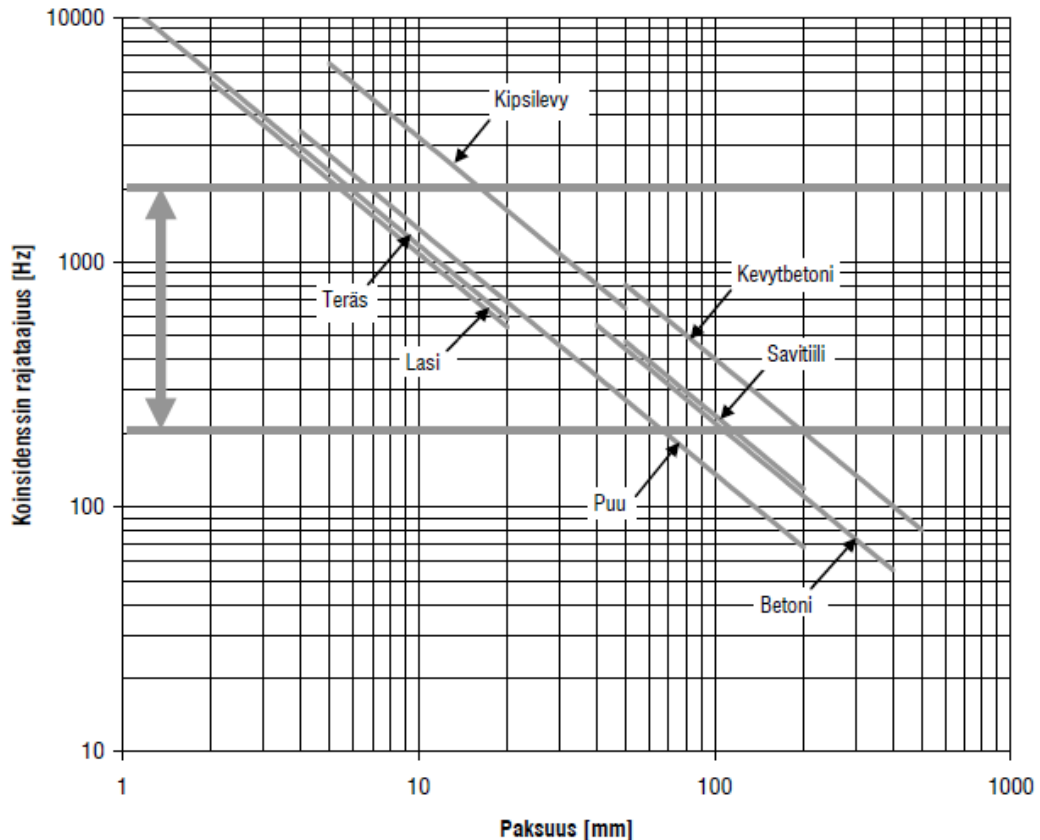
7.2.5 Erottavien rakenteiden koinsidenssi- ja ominaistaajuus

Koinsidenssi-ilmiössä ääniaaltojen osuessa levyyn, voivat ne saada levyn taipumaan eli värähtelemään aaltoilevalla liikkeellä. Yleisimpänä erottavien rakenteiden materiaalina käytetään kipsilevyä. Kipsilevyn paksuus vaihtelee 6 - 15 mm:iin. Opinnäytetyössä käytettiin seinien pintamateriaalina 13 mm:n paksuista

kipsilevyä, jonka koinsidenssin rajataajuus f_c on noin 3000 Hz (kaava 4), kun kipsilevyn kimmomoduuli on $1700 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ja tiheys on 700 kg/m^3 . Eli kipsilevyn koinsidenssi rajataajuuden perusteella ei tilaelementtien välisen seinän koinsidenssi-ilmiötä voisi syntyä alle 3000 Hz:n taajuuksilla. Mikäli käytetään esimerkiksi kaksinkertaista kipsilevytystä ja jos levyt liimataan yhteen, tippuu koinsidenssi rajataajuus noin 1500 Hz:iin. Tutkimuksessamme käytetyn väliseinän kipsilevy oli kiinnitetty CLT-levyyn ruuveilla.

Käytetyssä välipohjarakenteessa ei ollut alas laskettua kattoa vaan tilaelementin katon pintamateriaalina oli CLT-levy (viisi lamellikerrosta). CLT-levyn koinsidenssi rajataajuus f_c on vain noin 80 Hz kun rakenteen paksuus on 147 mm, tiheys 470 kg/m^3 ja kimmomoduuli on $12\,500 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (Suoritustasoilmoitus 2015). Kuitenkin CLT-levyn värähtelyä on pyritty vähentämään laitamalla välipohjan yhdeksi rakennekerrokseksi kiviainesta ja pintalaatta on toteutettu kelluvana rakenteena, nämä lisäävät rakenteen massaa.

Kuvassa 22 on esitetty koinsidenssi rajataajuus rakenteen paksuuden funktiona. Koinsidenssi rajataajuus -akselin keskivaiheille olevat viivat merkitsevät taajuus-alueita, jonka ulkopuolelle kunkin materiaalin rajataajuuden tulisi jäädä. (Kylliäinen 2006, 51.) Käytetyn CLT-levyn koinsidenssi rajataajuus jää edellä mainitun taajuusalueen ulkopuolelle. Kyseessä on CLT-runkoinen välipohjarakenne, jossa CLT:n pintamassa [m^2] on noin 70 kg/m^2 , mutta välipohjarakenteen kokonaismassa on noin 301 kg/m^2 . Massalain mukaan nyrkkisääntönä voidaan pitää, että rakenteen ilmaääneneristävyys kasvaa 6 dB kun pintamassa tai taajuus kaksinkertaistuu (Kylliäinen 2006, 50). Välipohjarakenteen massa ja ilmatiiveys muodostavat sen ääneneristävyden.



Kuva 22. Kuvassa on esitetty eri rakennusmateriaalien koinsidenssin rajataajuuksia $[f_c]$ rakenteen paksuuden funktiona (Kylliäinen 2006, 51).

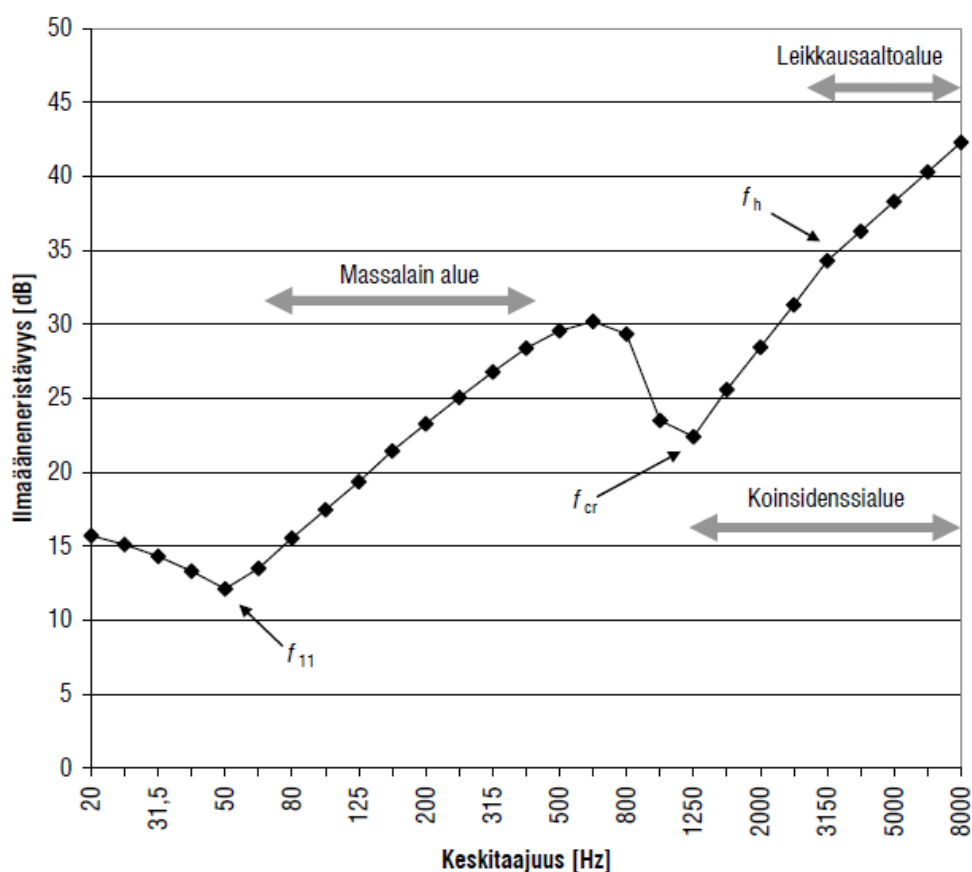
Kuvassa 23 on esitetty Mikko Kylliäisen tutkimusraportin 137 teoriaa yksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävydestä. Välipohjan CLT-levyn koinsidenssin rajataajuudeksi $[f_c]$ saatiin 80 Hz ja teorian mukaan rajataajuuden yläpuolisilla taajuuksalueilla voi koinsidenssi-ilmiötä syntyä. Kuvan 23 alin ominaistajuus $[f_{11}]$ voidaan laskea kaavalla 11. Levymäisen rakenteen eli välipohjan CLT-levyn alimmaksi ominaistajuudeksi saimme noin 220 Hz. Tämän saadun alimman ominaistajuuden yläpuolella tulisi teorian mukaan rakenteen ilmaääneneristävyys noudattaa massalakia (Kylliäinen 2006,49).

$$f_{11} = \frac{c^2}{4f_c} \left(\frac{1}{l_x^2} + \frac{1}{l_y^2} \right) \quad (11)$$

missä

- c Äänen nopeus ilmassa, m/s
- f_c koinsidenssin rajataajuus, Hz

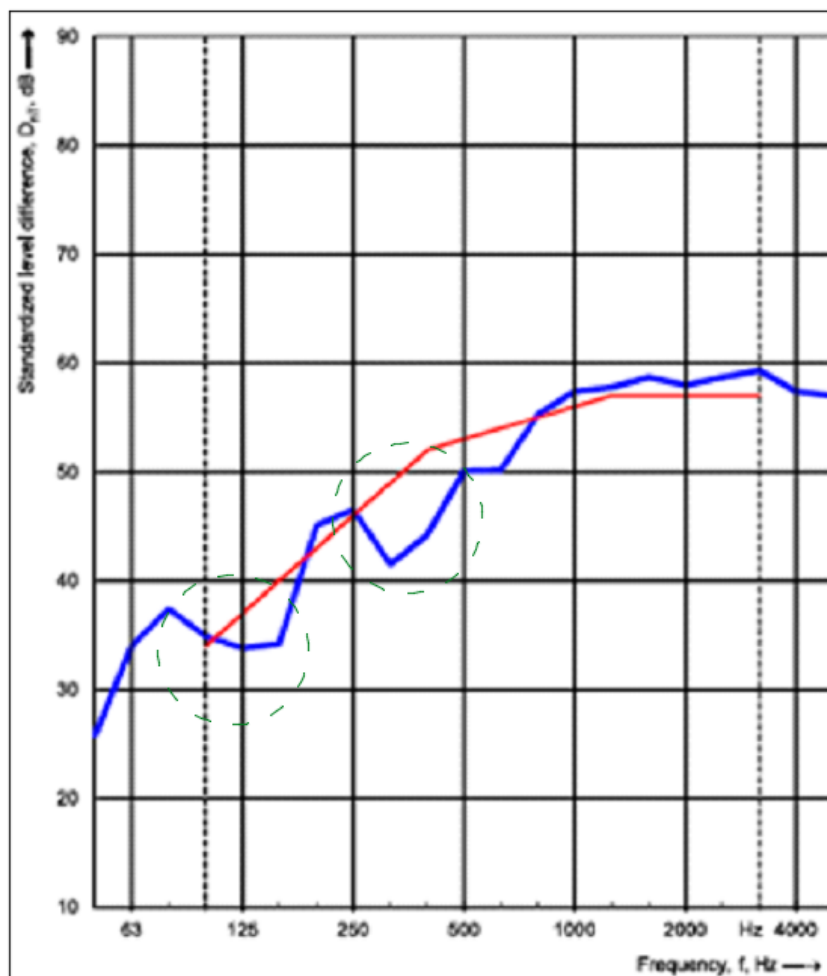
l_x rakenteen sivumitta, m
 l_y rakenteen toinen sivumitta, m (SFS-EN ISO 12354-1
 2017, 33.)



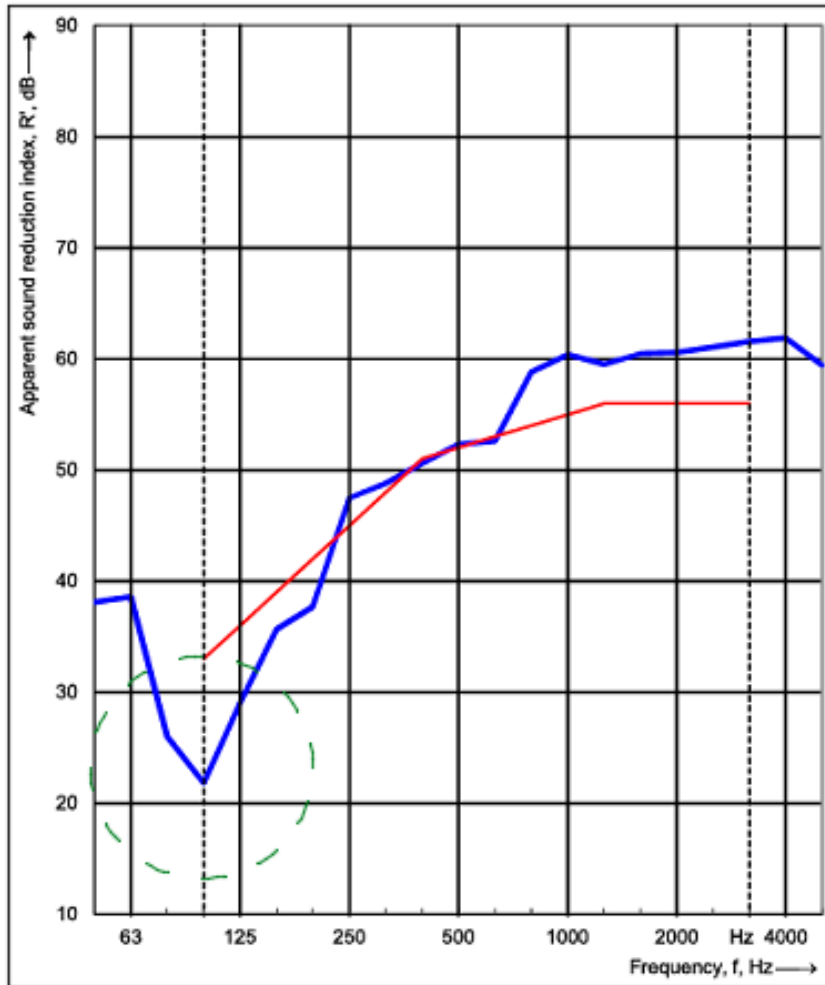
Kuva 23. Ilmaääneneristävyyteen vaikuttaa yksinkertaisen rakenteen taajuus ja rajataajuuksien paikkoihin vaikuttavat rakenteen massa ja jäykkyys (Kylliäinen 2006, 49).

Kuvissa 24 ja 25 on kaksi ilmaääneneristävyyden mittauksista saatuja käyriä kahdesta eri mitausasetelmasta. Kuvan 24 tapauksessa välipohjan ja tilaelementin seinien välisessä liitoksessa ei ole käytetty tärinäeristintä ja kuvassa 25 on tärinäeristimenä ollut Sylomer 12,5 mm. Kuvien käyriä voidaan nähdä kuoppia, joissa ilmaääneneristävyyttä on heikentynyt. Välipohjan CLT-levylle lasketun koinsidenssi rajataajuuden perusteella saatiin CLT-levyn ominaistaajuudeksi 220 Hz. Käyrän ensimmäinen kuoppa alkaa noin 80 Hz:n kohdalla ja on matalimmillaan 125 - 160 Hz:n paikkeilla. Välipohjan CLT-levyn koinsidenssin rajataajuudeksi saatiin 80 Hz

ja teorian mukaan rajataajuuden yläpuolisilla taajuusalueilla voi koinsidenssi-ilmiötä syntyä. Kuvan 25 käyrässä suurin kuoppa käyrään on muodostunut matalille taajuusalueille ja matalin kohta on noin 100 Hz:n kohdalla. Koinsidensistä ja resonanssista johtuvat värähtelyt CLT-levyssä voivat siirtyä lähettävästä tilasta vastaanottavaan tilaan yhtenäisen välipohjan kautta ja näin heikentävät ilmaäänentasolukua.



Kuva 24. Ilmaäänien mittauksista saatu käyrä mittausasetelmasta, jossa ei ole käytetty tärinäeristintä.



Kuva 25. Ilmaäänien mittauksista saatu käyrä mittausasetelmasta, jossa tärinäeristiminä on Sylomer 12,5 mm.

Vastaavasti askeläänitasoluvun mittauksissa saadusta käyrästä (kuva 21) CLT-levyyn mahdollisesti syntyvä koinsidenssi tai resonanssi voivat olla yksi syy käyrän nousuihin taajuusalueen alkuvaiheilla. Välipohjassa havaitut plaanovalumat pintalaatasta kantavaan CLT-levyyn asti ovat osana synnä käyrässä näkyviin heikennyksiin.

7.3 Tulosten yhteenveto

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että käytettyjen tärinäeristimien väliset erot ovat pieniä. Tuloksista voidaan nähdä, että Sylodyn 25 mm:n tärinäeriste saa molemmista mittauksista, ilma- sekä askelääneneristävydestä huonoimmat

luvut. Sylodyn 25 mm:n tärinäeristimen Ilmaääneneristävyysluku on vain 49 dB ja askeläänentasoluku alapuolelta mitattuna on 71 dB ja viistottain mitattuna 59 dB. Askelääneneristävydeltään parhain mittaustuloksen yhtenäisellä välipohjarakenteella sai Sylomer 25 mm ja askeläänentasoluksi saatiin alapuolelta mitattuna 58 dB ja viistoittain 55 dB. Ilmaääneneristävyden mittauksissa paras tulos tuli mittausasetelmalla, jossa ei käytetty tärinäeristintä ollenkaan. Kun askelääneneristävyden kenttämittauksista otetaan huomioon, että askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ mittausepävarmuus on noin ± 2 dB ja askeläänitasoluvun sekä spektripainotusermin $C_{l, 50-2500}$ yhteenlasketun summan mittausepävarmuus on noin ± 3 dB, ei tärinäeristimien laittaminen paremmuusjärjestykseen ole kovin luotettavaa (Kylliäinen 2006, 97).

Tutkimuksesta saadut mittaustulokset olivat odotettua heikoimmat, koska Binderholz GmbH:n vertailututkimuksessa saadut tulokset olivat erittäin hyviä. Vertailututkimuksessa oli saatu saman tyyppiselle välipohjarakenteelle (kuva 9) askeläänentasoluksi $L_{n,w}$ 38 dB ja väliseinärakenteelle (kuva 10) ilmaääneneristävyyslukuksi R_w 58 dB. Tutkimuksessamme saatiin parhaimmaksi askeläänentasoluksi alapuolelta mitattuna $L'_{n,w}$ 58 dB ja ilmaäänentasoluksi R'_w 53 dB. Vertailututkimuksen tuloksien tunnuksat viittaavat siihen, että mittaukset olisi suoritettu laboratorio-olosuhteissa. Näin ollen tuloksien vertailukelpoisuus heikkenee, koska tutkimuksessamme mittaukset suoritettiin kenttäolosuhteissa.

Binderholz GmbH:n tutkimuksen seinärakenteessa on käytetty kaksinkertaista Gyproc levytystä, jossa yhden levyn paksuus on ollut 15 mm. Tämä levytys on ollut paloluokassa REI60. Opinnäytetyömme tilaelementtien seinissä oli vain yksi kerros 13 mm:n paksuista Gyproc EK -levyä, joka ylittää paloluokkaan EI15. Tämä seikka voi vaikuttaa myös jonkin verran mittaustulosten eroavaisuuksiin. Vertailututkimuksesta käytössämme oli vain liitteen 1 mukaiset tiedot ja emme tiedä tarkkaan koko mittausasetelmaa. Tästä syystä tutkimusten vertailun luotettavuus heikkenee ja vertailututkimuksen tulokset ovat suuntaa antavia tutkimuksellemme.

Tutkimuksen tuloksiin vaikuttavat CLT-tilaelementtien rakenteet ja ovet. Taustamelumittauksissa selvisi, että tilaelementtien ovet läpäisivät ääntä melko paljon

ja tällöin ääntä kulkeutui tilaelementin sisään myös sivusiirtymien kautta. Tämä seikka osaltaan vaikutti heikentävästi saatuihin mittaustuloksiin ja tulosraporteista voidaan nähdä, että monissa mittauksissa taustamelun suuruus ylittyi (liite 3).

Suoritettujen mittausten jälkeen ja välipohjarakenteen purkamisen yhteydessä havaittiin, että pintalaatassa käytetty plaano oli muutamassa kohdassa päässyt valumaan kantavaan CLT-levyyn asti. Tämä on aiheuttanut rakenteeseen äänisilloja, jolloin kelluvan lattian rakenne ei ole enää täysin kelluva, koska se on tukeutunut valumien muodostamien pylväiden kautta välipohjan CLT-runkoon. Tällöin kelluva lattia ei enää toimi ääniteknisesti täysin oikein ja valumat toimivat äänisiltana pintamateriaalin ja kantavan rakenteen välillä. Nämä äänisillat ovat vaikuttaneet saatuihin mittaustuloksiin heikentävästi.

Tutkimuksessa yhtenä tutkimusasetelmana oli katkaistu välipohjarakenne ja tämä toteutettiin viimeisenä mittausasetelmana. Valitsimme katkaistun välipohjarakenteen tärinäeristimeksi Sylomer 25 mm. Välipohjarakenteen katkaisu vaikutti merkittävästi askeläänikojeesta viistottain olevan tilaelementin sisältä saatuun askeläänentason lukuun, joka oli katkaisun jälkeen 47 dB (taulukko 12). Vastavasti kojeen alapuolisen tilaelementin askeläänentason luku heikkeni mittausasetelmaan, jossa välipohjarakenne oli yhtenäinen ja tärinäeristeenä käytettiin Sylomer 25 mm (taulukko 12).

Taulukko 12. Välipohjan katkaisun vaikutus askeläänitasolukuihin.

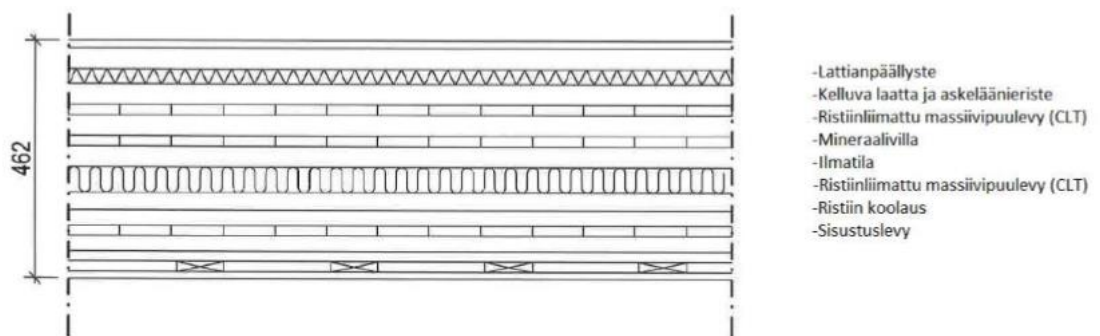
Tärinäeristin: Sylomer 25 mm	Askeläänitasoluvut $L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$ [dB]	
	Alapuolinen tilaelementti	Viistottain oleva tilaelementti
Yhtenäinen välipohja	58	55
Katkaistu välipohja	63	47

Askeläänitasoluvun heikkenemiseen kojeen alapuolisessa tilassa vaikutti ainakin se, että katkaisun jälkeen yhtenäisenä olevan välipohjarakenteen massa puolittui. Askeläänikojeesta viistottain olevan tilaelementin sisällä askeläänitasoluku parani tuloksien perusteella 8 dB katkaisun jälkeen. Tähän syynä voi olla se, ettei

katkaistu välipohja enää aiheuta sivusiirtymää tilasta toiseen. Vastaavasti välipohjarakenteen katkaisulla ei ollut samankaltaista vaikutusta ilmaääneneristävyyteen.

Saatuihin mittaustuloksiin niin askeläänen- kuin ilmaäänentasolukujen kohdalla, laskelmien ja käytettyjen teorioiden perusteella, vaikuttivat rakenteiden resonansi- ja koinsidenssi-ilmiöt. Ilmiöt heikensivät saatuja mittaustuloksia, mutta täysin luotettavaa tai teorian mukaista analyysia ei mittauksien tuloksista pystynyt tekemään, koska välipohjan rakenteessa oli myös plaanon valumien aiheuttamia äänisilloja, jotka vaikuttivat tuloksiin heikentävästi.

Verratessa työssämme käytetystä välipohjarakenteesta saatuja askeläänentasolukuja esimerkiksi Akseli Rosqvistin opinnäytetyöhön ”Puukerrostalon askelääneneristävyys”, on kaksinkertaisella CLT-levy välipohjarakenteella saavutettu määräysten mukaiset askeläänitasoluvun vaatimukset (kuva 26). Rosqvistin työssä mittaukset on suoritettu pääkaupunkiseudun kahdessa eri puukerrostalokohdassa ja tutkimuksessa askeläänentasoluvuksi ($L'_{n,w} + C_{l, 50-2500}$) kahden huoneiston välillä on saatu 53 dB (Rosqvist 2016, 26).



Kuva 26. Rosqvistin opinnäytetyössä käytetty välipohjarakenne (Rosqvist 2016, 19).

7.4 Luotettavuus

Opinnäytetyössä suoritetuissa akustiikan mittauksissa on noudatettu soveltuvin osin standardeja SFS-EN ISO 16283-1, SFS-EN ISO 16283-2 sekä SFS-EN ISO 12999-1. Tulosten esittämistavassa, tarkkuudessa sekä laskennassa on noudatettu standardeja SFS-EN ISO 12354-1 ja SFS-EN ISO 12354-2. Standardissa SFS-EN ISO 16283-1 ja 16283-2 ääneneristävyydenmittauksissa vastaanottavan tilan vähimmäistilavaatimus on 25 m³, joka ei suoritetuissa mittauksissa täytynyt. Tilaelementtien pienen koon takia ilmaäänemittaukset suoritettiin yhdestä pisteestä, keskeltä tilaa. Askeläänimittaukset suoritettiin nurkkapistemenetelmällä, jolloin ääntä mitattiin tilan neljästä kohdasta. Nämä seikat vaikuttavat mitausten tarkkuuteen ja luotettavuuteen. Kuitenkin eri tiivisteillä tehdyt mittaukset sekä laatan katkaisun jälkeen tehdyt mittaukset sekä niistä saadut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

Askeläänen- ja ilmaääneneristävyyden mittauksissa käytettiin asianmukaisia, standardoituja ja kalibroituja mittalaitteita. Tulosten laskennassa ja tulosraporttien luontiin käytettiin NorBuild-ohjelmaa, joka toimii standardien SFS-EN ISO 717-1 ja 717-2 sekä SFS-EN ISO 16283-1 ja 16283-2 pohjalta. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi voidaan suoritettuja mittauksia pitää luotettavina.

Työssämme tutkittiin kiviainestäytteisen välipohjan askelääneneristävyyttä, mutta mittaustuloksistamme selvisi, että taustamelu mittaushetkellä ylitti sille asetetut raja-arvot ja tämä taas on vaikuttanut heikentävästi saatuihin askeläänentasolukuihin. Voidaan olettaa, että suuri taustamelun määrä johtui huonosti ääntä eristävistä ovista. Myös pintalaatan valun aikana muodostuneet valumat kantavaan rakenteeseen asti eli äänisillat heikensivät välipohjan ääneneristävyyttä. Tällöin välipohjarakenteeseen kohdistuva tutkimus ei täysin toteudu, kun muut rakenteet eristävät ääntä huonosti ja rakenteessa on äänisilloja.

8 Pohdinta

Opinnäytetyössämme aiheena oleva rakenne on varsin tuntematon Suomen rakennustuotannossa ja siitä on saatavilla vähän tutkimustietoa. Työssä verrattiin saatuja mittaustuloksia Binderholz GmbH:n tekemiin mittauksiin vastaavan kaltaisen rakenteen ääneneristävyydestä. Kuitenkaan meillä ei ollut käytössä Binderholz GmbH:n tutkimuksesta ja mittauksista tarkempaa tietoa, kuin saadut mittaustulokset (liite 1). Tästä takia tutkimusten vertaaminen keskenään on vaan suuntaa antavaa.

Opinnäytetyön mittauksien suorittamisessa noudatettiin standardeja mahdollisimman tarkkaan ja mittauslaitteistona käytettiin Karelia-ammattikorkeakoulun asianmukaisia laitteita. Mittaukset suoritettiin järjestelmällisesti ja tulokset dokumentoitiin heti mittauksien yhteydessä. Välipohjarakenne toteutettiin mahdollisimman samankaltaiseksi kuin vertailututkimuksessa esitetty rakennemalli. Toteutetun rakenteen pintalaattana käytettiin plaanoa, joka on notkeutensa puolesta haastava materiaali. Plaanon alusrakenteen tulee olla erittäin hyvin tiivistetty, jottei rakenteeseen pääse syntymään vuotokohtia. Rakenteeseen plaanosta muodostuneet äänisillat heikensivät saatuja mittaustuloksia, joten todellisuudessa mittaustulokset olisivat voineet olla paremmat.

Kiviainestäytteisen välipohjarakenteemme askelääneneristävyyden mittauksissa matalimmaksi askeläänentasoluvuksi on saatu 58 dB, kun mittaus on suoritettu askeläänikojeen alapuolisessa tilassa. Tämä lukuarvo ei kuitenkaan täytä nykyajan määräysten raja-arvoa (taulukko 1). Vuosina 1976 - 1999 oli askeläänentason raja-arvo $L'_{n,w}$ 58 dB ja vuosina 2000 - 2017 sama raja-arvo on ollut 53 dB. Vuoden 2018 alusta lähtien askeläänentason lukuun kuuluu ottaa mukaan spektripainotusermi $C_{1, 50-250}$, jolloin tuloksessa huomioidaan matalien taajuuksien äänenpainetaso. On tutkittu, että puurakenteisen välipohjan askeläänepainetaso on korkeimmillaan matalilla taajuuksilla 25 - 125 Hz ja esimerkiksi betonisilla välipohjilla painetaso on suurimmillaan korkeilla taajuuksilla 750 - 2000 Hz

(Lahtela 2004, 28). Esimerkiksi betonirakenteisen välipohjalla saavutetaan askeleenieristykseen 53 dB:n vaatimus, kun välipohjana on vähintään 240 mm paksu teräsbetoni-laatta tai vähintään 500 kg/m² painava ontelolaatasto, joka on päällystetty pehmeillä lattiapäällysteillä tai lautaparketilla (Ääneneristys).

Opinnäytetyössä selvisi, että kiviaines CLT-välipohjan massana on ääneneristävyyden ominaisuuksiltaan varteenotettava vaihtoehto, koska mittauksista saadut tulokset eivät kuitenkaan jääneet paljon alle vaatimustasoa. Saatuihin tuloksiin vaikuttivat heikentävästi niin tilaelementtien liitosrakenteet ja ovet sekä valun aikana muodostuneet äänen kulkureitit rakenteeseen. Välipohjarakennetta olisi syytä tutkia lisää ja tutkimus tulisi toteuttaa suuremmassa tilassa ja enemmän todellisuutta vastaavassa tilaratkaisussa, tällöin tutkimuksen luotettavuus parani. Myös pintalaatan materiaalin valinnalla, alakattorakenteella ja seinien levytyksellä voi olla vaikutusta ääneneristävyyden mittaustuloksiin ja näitä olisi myös mielenkiintoista tutkia lisää.

Lähteet

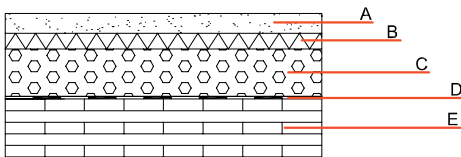
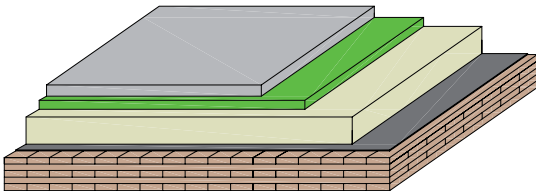
- Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki.
- CELT. 2017. CLT. Celt Oy. <https://celt.fi/>. 10.8.2018.
- CLT-talo. 2018. Tuote. CLT Finnlog. <http://www.clttalo.fi/fi/tuote/>. 13.8.2018.
- Getzner. 2018. <https://www.getzner.com/en/latest-news/news/optimised-calculations-with-timbercalc>. 30.10.2018.
- Helimäki, H. & Huhtala, T. 2009. Asuinrakennusten äänitekniikan suunnitteluohje. Rakennusteollisuus.
- Kekki, T. Kuusinen, A. Kylliäinen, M. & Latvanne, P. 2017. Puukerrostalojen ääneneristys. Asiantuntijaselvitys. Karelia-Ammattikorkeakoulu. Joensuu.
- Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti 137. Tampere.
- Kylliäinen, M. 2017. Miksi askelääneneristyksen arviointi on niin vaikeaa? Weberin koulutus 12.12.2017. Joensuu. Saint-Gobain Finland Oy/Weber.
- Lahtela. 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyden suunnitteluohje. Helsinki: Wood Focus Oy. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>. 15.11.2018.
- Puuinfo. 2018. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. Puuinfo Oy. <https://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa>. 5.10.2018.
- Rakennustieto RT-38488. Sylomer- ja Sylodyn-tärinäeristeet. Rakennustieto Oy. Helsinki. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/Tarvike-tieto/pdf/38488.pdf>. 30.10.2018.
- Rosqvist, A. 2016. Puukerrostalon askelääneneristävyys. Turun ammattikorkeakoulu. Talonrakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Räikkönen, A. 2017. Stora Enso investoi 45 miljoonaa euroa CLT-tuotantoon Ruotsissa. Tekniikka & talous. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metsa/stora-enso-investoi-45-miljoonaa-euroa-clt-tuotantoon-ruotsissa-6661526>. 5.10.2018.
- SFS-EN ISO 12354-1. 2017. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms (ISO 12354-2:2017). Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 12354-2. 2017. Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms (ISO 12354-2:2017). Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 16283-1:2014. 2014. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation (ISO 16283-1:2014). Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 16283-2. 2015. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation (ISO 16283-2:2015). Suomen Standardisoimisliitto.
- Standardi SFS 5907. Rakennusten akustinen luokitus. 2004. Suomen Standardisoimisliitto.

- Stora Enso. 2013. CLT-Massiivipuukurakentaminen. Stora Enso.
<http://www.clt.info/fi/tuote/clt-massiivipuukurakentaminen/>. 9.8.2018.
- Stora Enso. 2018. Stora Enso CLT. Stora Enso Building and Living.
<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/CLT%20image%20brochure%20FI.pdf>. 15.8.2018.
- Suoritustasoilmoitus. 2015. Stora Enso. <http://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Suoritustasoilmoitus-CLT-2015-FI.pdf>. 1.11.2018.
- Wikipedia. 2018. CLT. <https://fi.wikipedia.org/wiki/CLT>. 5.10.2018.
- Ympäristöministeriö. 2017. Ajankohtaista. [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_rakennuksen_aaniymparistosta\(45135\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_rakennuksen_aaniymparistosta(45135)). 3.9.2018.
- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017. Ympäristöministeriö. Helsinki. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>. 8.9.2018.
- Ääneneristys. Betonteollisuus ry. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/aaneneristys/>. 7.9.2018.

Designation: DE17 **As of: 14. 12. 2010**

Ceiling - SOLID WOOD CONSTRUCTION
- visible, wet

tdmnxs01a-01



PHYSICAL AND ECOLOGICAL RATING

Fire protection	REI	90
max. buckling length $l = 5$ m max. load ($q_{fi,d}$) = 5,06 [kN/m ²]; Classification by IBS		
Thermal insulation	U[W/m ² K]	0,37
	Diffusion behaviour	suitable
	$m_{w,B,A}$ [kg/m ²]	34,7
Thermal absorption capacity: 102,7 kg/m ² Calculation by HFA		
Noise insulation	R_w	77
	$L_{n,w}$	38
Ecology*	O13 _{Kon}	14,5
Calculation by IBO		

MATERIAL INFORMATION FOR DESIGN, CONSTRUCTION LAYERS
(from outside to inside, dimensions in mm)

	Thickness	Material	Thermal protection				Inflammability class
			λ	μ min – max	ρ	c	
							EN 13501-1
A	50,0	Screed	1,330	50-100	2000	1,080	A1
B	40,0	Impact sound insulation MW-T [$s'=6MN/m^3$]	0,035	1	80	1,030	A2
C	100,0	Bound chippings	0,700	2	1500	1,000	A1
D		Trickle protection	0,200	423	636	0,000	E
E	147,0	Cross Laminated Timber BBS(5 layer)	0,130	50	470	1,600	D

***Ecological assessment in detail**

GWP	AP	PEIne	PEIe	EP	POCP
[kg CO ₂ Equiv.]	[kg SO ₂ Equiv.]	[MJ]	[MJ]	[kg PO ₄ Equiv.]	[kg C ₂ H ₄ Equiv.]
-70,472	0,258	845,296	1642,991	0,039	0,067

***Mass per unit area**

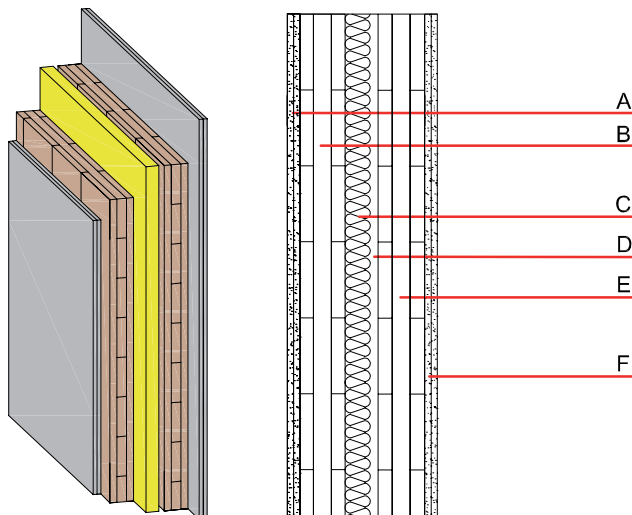
m	Calculated using
322,4 [kg/m ²]	British Gypsum fibre board

A supplement of $\Delta L_{n,w}=2dB$ must be taken into account for Rigiplan screed elements.
The structures shown were tested on behalf of binderholz and British Gypsum Saint-Gobain by accredited testing institutes.

Designation IW11

As of: 14. 12. 2010

INTERIOR WALL - SOLID WOOD CONSTRUCTION
- without services level



PHYSICAL AND ECOLOGICAL RATING

Fire protection	REI	60
-----------------	-----	----

max. buckling length $l = 3 \text{ m}$
max. load. $(q_{fi,d}) = 14,95 \text{ [kN/m]}$; Classification by IBS

Thermal insulation	$U \text{ [W/m}^2\text{K]}$	–
	Diffusion behaviour	suitable
	$m_{w,B,A} \text{ [kg/m}^2\text{]}$	–

Calculation by HFA

Noise insulation	R_w	58
	$L_{n,w}$	–

Ecology*	$OI3_{Kon}$	10,5
----------	-------------	------

Calculation by IBO

MATERIAL INFORMATION FOR DESIGN, CONSTRUCTION LAYERS

(from outside to inside, dimensions in mm)

	Thickness	Material	Thermal protection				Inflammability class
			λ	$\mu \text{ min} - \text{max}$	ρ	c	
							EN 13501-1
A	30,0	British Gypsum fibre board Rigidur H (2x15mm) or	0,350	19	1200	1,200	A1
A	30,0	British Gypsum fire protection board RF (2x15mm)	0,250	10	900	1,050	A2
B	90,0	Cross Laminated Timber BBS (3 layer)	0,130	50	470	1,600	D
C	50,0	Mineral wool	0,040	1	18	1,030	A1
D	10,0	Air layer	0,000	1	1	1,008	
E	90,0	Cross Laminated Timber BBS (3 layer)	0,130	50	470	1,600	D
F	30,0	British Gypsum fibre board Rigidur H (2x15mm) or	0,350	19	1200	1,200	A1
F	30,0	British Gypsum fire protection board RF (2x15mm)	0,250	10	900	1,050	A2

*Ecological assessment in detail

GWP	AP	PEIne	PEIe	EP	POCP
[kg CO ₂ Equiv.]	[kg SO ₂ Equiv.]	[MJ]	[MJ]	[kg PO ₄ Equiv.]	[kg C ₂ H ₄ Equiv.]
-104,734	0,239	971,386	2065,902	0,037	0,056

The structures shown were tested on behalf of binderholz and British Gypsum Saint-Gobain by accredited testing institutes.

This is an extract from the "Solid Timber Manual" planning folder. Alterations and amendments due to improvements to the application of product technology are reserved. You should confirm that you are using the most recent edition. Misprints cannot be ruled out.

Standardized level difference according to ISO 16283-1 (Low Frequency)

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

Client: Karelia AMK
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

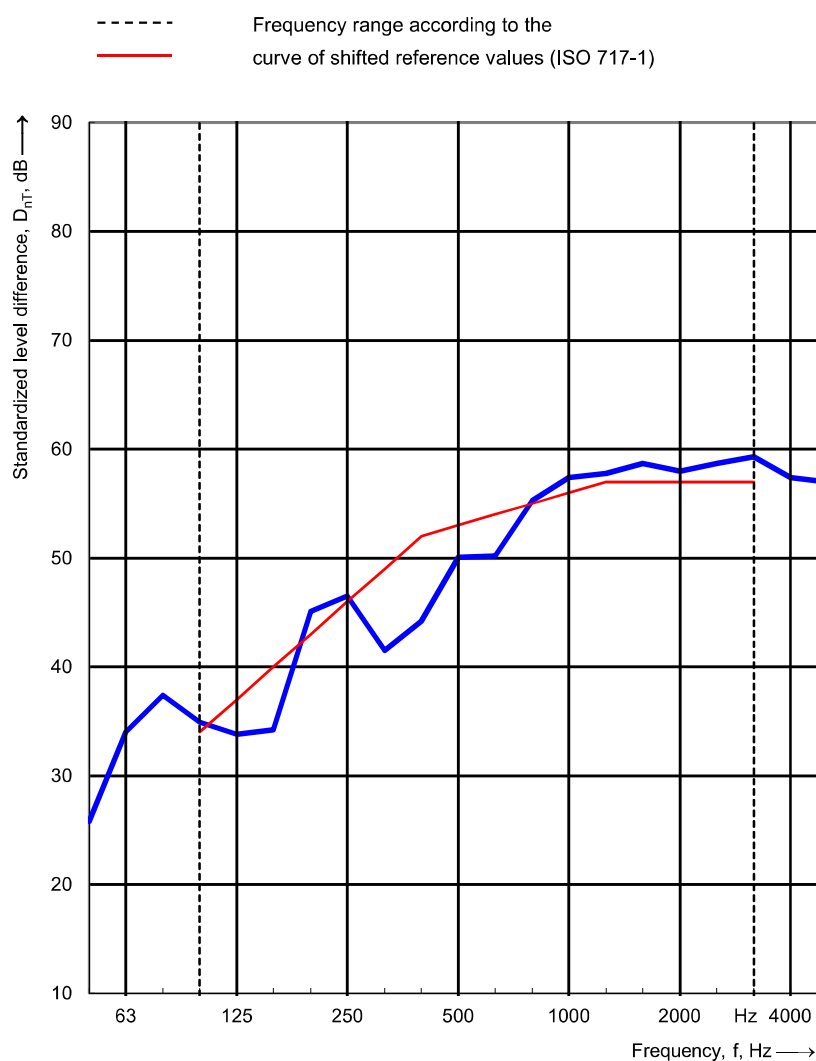
Date of test: 5.1.2018

Description: Ilmaääneneristävyyden mittaus. Ei tärinäeristettä.

Area of common partition: 3,90 m²
Source room volume: m³
Receiving room volume: 6,2 m³

Frequency f [Hz]	D _{nT} 1/3 octave [dB]
50	25,8 ¹
63	34,0
80	37,4
100	34,9
125	33,8
160	34,2
200	45,1
250	46,5
315	41,5
400	44,2
500	50,1
630	50,2
800	55,3
1000	57,4
1250	57,8
1600	58,7
2000	58,0 ¹
2500	58,7
3150	59,3
4000	57,4
5000	57,0

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 53$ (-2 ; -6) dB

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -3$ dB $C_{50-5000} = -2$ dB $C_{100-5000} = -2$ dB

$C_{tr,50-3150} = -8$ dB $C_{tr,50-5000} = -8$ dB $C_{tr,100-5000} = -6$ dB

Company:

No. of test report:

Date: 05.01.2018

Signature:

Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

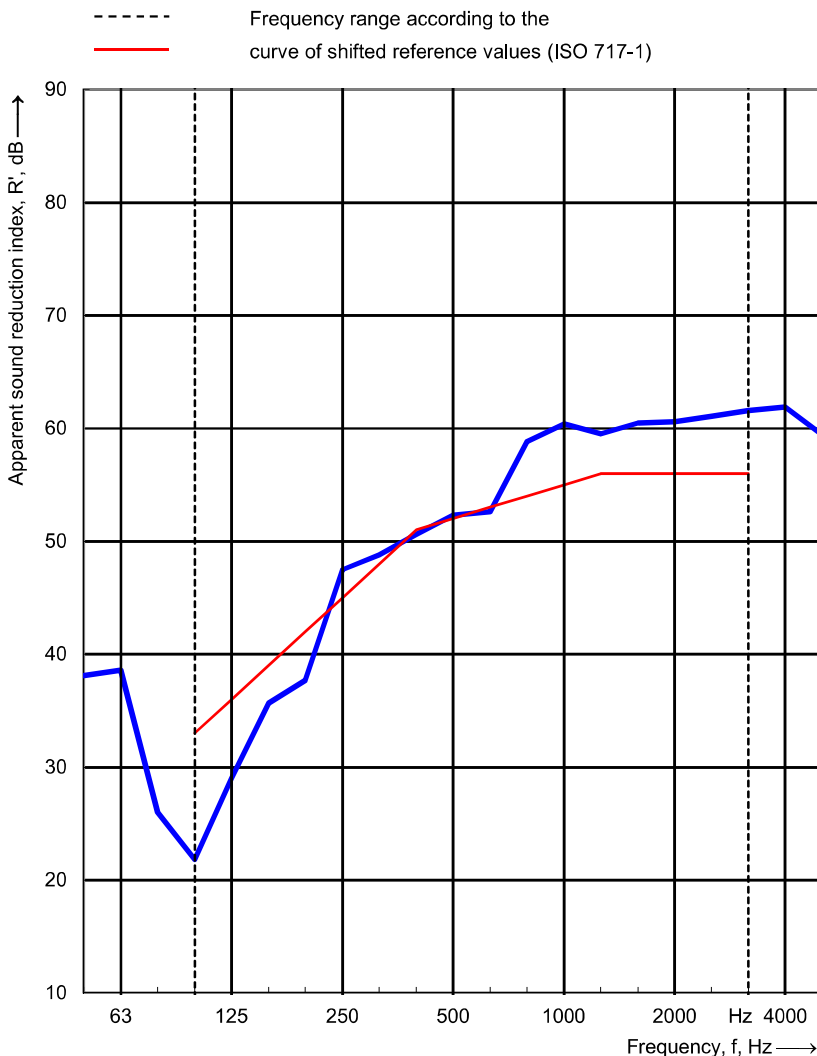
Client: Karelia Amk
 Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 17.1.2018

Description: Ilmaääneneristävyyden mittaus. Tärinäeristeenä Sylomer 12.5mm.

Area S of separating element 3,98 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 6,2 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	38,1 ¹
63	38,6 ¹
80	26,0
100	21,8
125	29,0
160	35,7
200	37,7
250	47,5
315	48,8
400	50,6
500	52,3
630	52,6
800	58,8
1000	60,4
1250	59,5
1600	60,5
2000	60,6
2500	61,1
3150	61,6
4000	61,9
5000	59,4



¹ Background noise too high

Rating according to ISO 717-1

$$R'_w(C;C_{tr}) = 52 \text{ (} -4 \text{ ; } -12 \text{) dB}$$

Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$$C_{50-3150} = -4 \text{ dB } C_{50-5000} = -4 \text{ dB } C_{100-5000} = -3 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -12 \text{ dB } C_{tr,50-5000} = -12 \text{ dB } C_{tr,100-5000} = -12 \text{ dB}$$

Company:

No. of test report:

Date: 17.01.2018

Signature:

Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

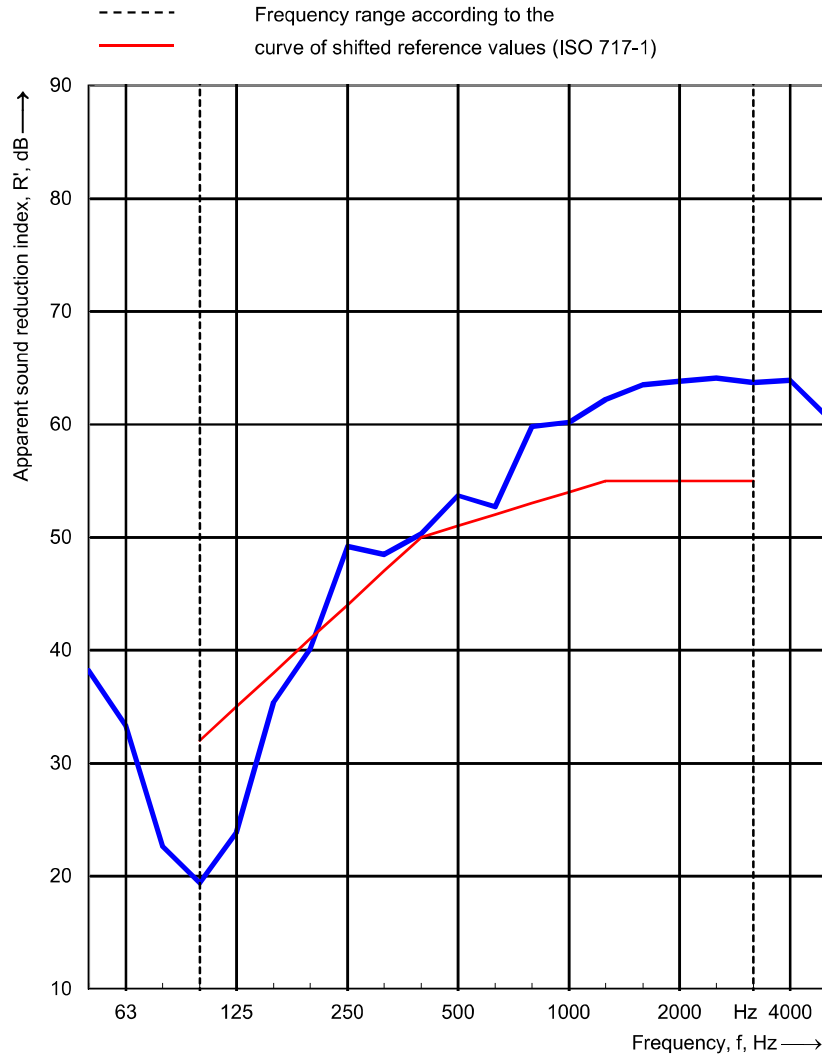
Client: Karelia Amk
 Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 19.1.2018

Description: Ilmaääneneristävyyden mittaus. Tärinäeristeenä Sylomer 25mm.

Area S of separating element 3,98 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 6,2 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	38,2
63	33,3
80	22,6
100	19,4
125	23,9
160	35,4
200	40,1
250	49,2
315	48,5
400	50,3
500	53,7
630	52,7
800	59,8
1000	60,2
1250	62,2
1600	63,5
2000	63,8
2500	64,1
3150	63,7
4000	63,9
5000	60,7



Rating according to ISO 717-1

$$R'_w(C;C_{tr}) = 51 \text{ (-6 ; -13) dB}$$

Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$$C_{50-3150} = -6 \text{ dB } C_{50-5000} = -5 \text{ dB } C_{100-5000} = -5 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -14 \text{ dB } C_{tr,50-5000} = -14 \text{ dB } C_{tr,100-5000} = -13 \text{ dB}$$

Company:

No. of test report:

Date: 19.01.2018

Signature:

Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

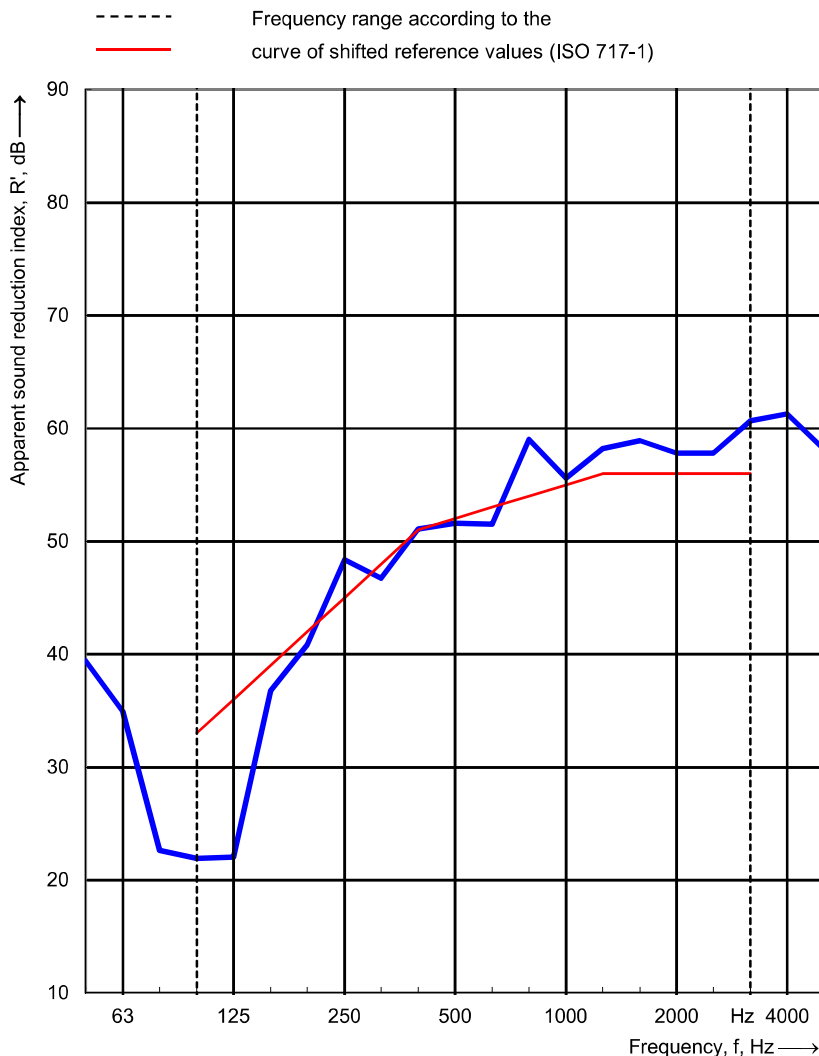
Client: Karelia Amk
 Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 22.1.2018

Description: Ilmaääneneristävyyden mittaus. Tärinäeristeenä Sylodyn 12.5mm.

Area S of separating element 3,98 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 6,2 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	39,4
63	34,9
80	22,6
100	21,9
125	22,0
160	36,8
200	40,8
250	48,4
315	46,7
400	51,1
500	51,6
630	51,5
800	59,0
1000	55,6
1250	58,2
1600	58,9
2000	57,8
2500	57,8
3150	60,7
4000	61,3
5000	58,1



Rating according to ISO 717-1
 $R'_w(C;C_{tr}) = 52 (-7 ; -13)$ dB
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -7$ dB $C_{50-5000} = -6$ dB $C_{100-5000} = -6$ dB
 $C_{tr,50-3150} = -15$ dB $C_{tr,50-5000} = -15$ dB $C_{tr,100-5000} = -13$ dB

Company:
No. of test report:
 Date: 22.01.2018

Signature:

Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

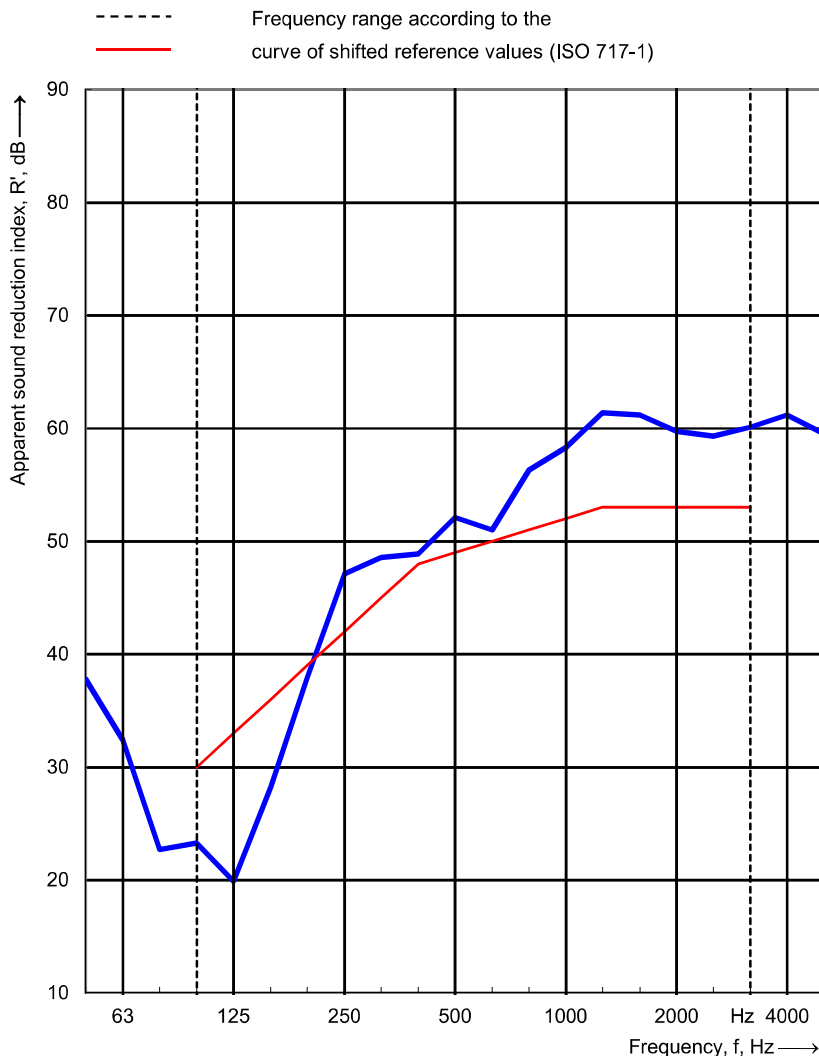
Client: Karelia AMK
 Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 23.1.2018

Description: Ilmaääneneristävyyden mittaus. Tärinäeristeenä Sylodyn 25mm.

Area S of separating element 3,90 m²
 Source room volume: m³
 Receiving room volume: 6,2 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	37,8
63	32,4
80	22,7
100	23,3
125	19,9
160	28,2
200	37,9
250	47,1
315	48,6
400	48,9
500	52,1
630	51,0
800	56,3
1000	58,3
1250	61,4
1600	61,2
2000	59,7
2500	59,3
3150	60,1
4000	61,2
5000	59,5



Rating according to ISO 717-1
 $R'_w(C;C_{tr}) = 49$ (-5 ; -12) dB
 Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{50-3150} = -6$ dB $C_{50-5000} = -5$ dB $C_{100-5000} = -4$ dB
 $C_{tr,50-3150} = -13$ dB $C_{tr,50-5000} = -13$ dB $C_{tr,100-5000} = -12$ dB

Company:
No. of test report:
 Date: 23.01.2018

Signature:

Apparent sound reduction index according to ISO 16283-1

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

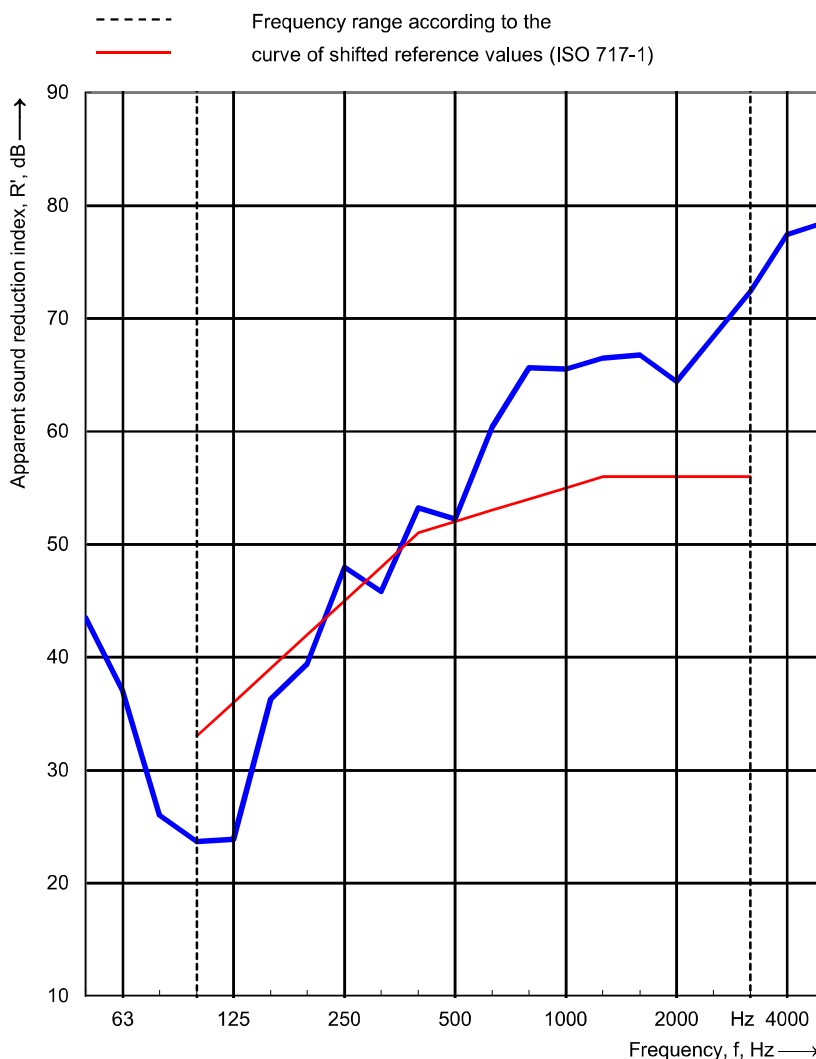
Client: Karelia Amk
Description: Katkaistu välipohjalaatta

Date of test: 26.1.2018

Object: Ilmääneneristävyyden mittaus. Tärinäeristeenä Sylomer 25mm.

Area S of separating element 3,90 m²
Source room volume: m³
Receiving room volume: 6,2 m³

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	43,5
63	37,0
80	26,0
100	23,7
125	23,9
160	36,3
200	39,4
250	48,0
315	45,8
400	53,2
500	52,2
630	60,4
800	65,6
1000	65,5
1250	66,5 ¹
1600	66,8
2000	64,4 ¹
2500	68,4
3150	72,4
4000	77,4
5000	78,5



¹ Background noise too high

Rating according to ISO 717-1

$R'_w(C;C_{tr}) = 52$ (-5 ; -12) dB

$C_{50-3150} = -5$ dB $C_{50-5000} = -4$ dB $C_{100-5000} = -4$ dB

Evaluation based on field measurements results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

$C_{tr,50-3150} = -13$ dB $C_{tr,50-5000} = -13$ dB $C_{tr,100-5000} = -12$ dB

Company:

No. of test report:

Date: 26.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
 Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

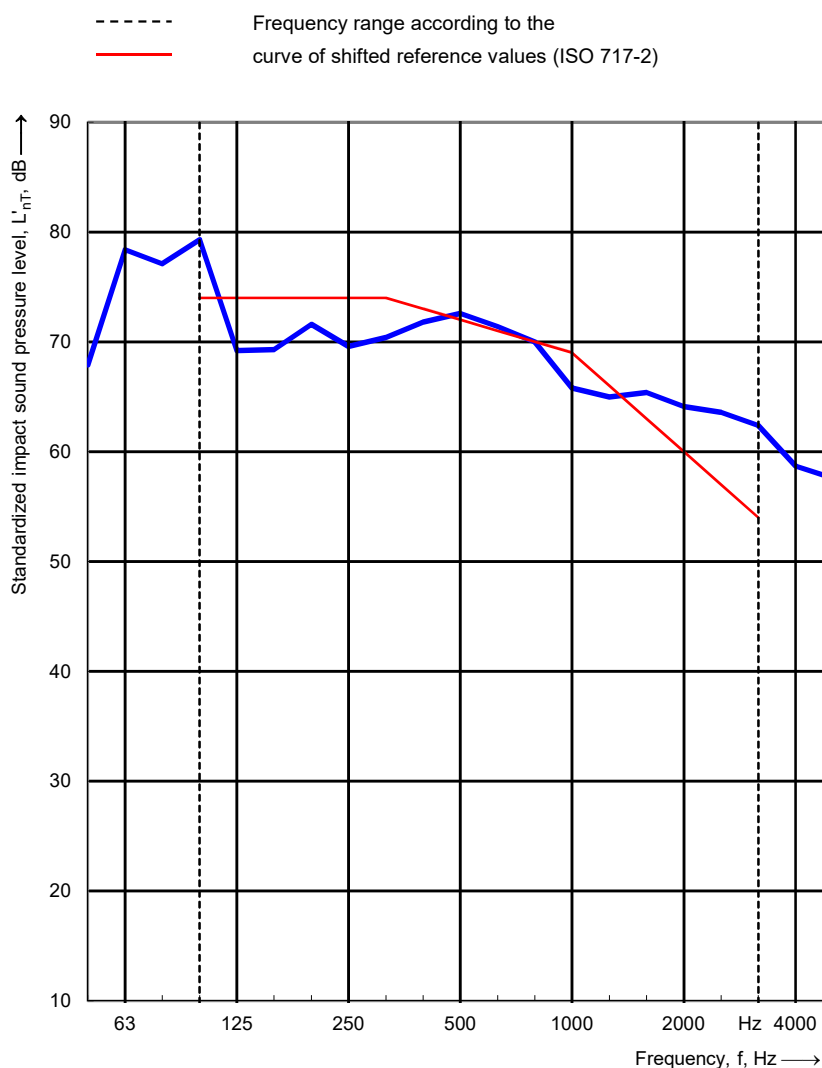
Date of test: 5.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittaus kohtisuoraan yläpuolelta. Ei tärinäeristettä.

Source room volume:
 Receiving room volume:

6,2 m³

Frequency f [Hz]	L' _{nT} 1/3 octave [dB]
50	67,9
63	78,4
80	77,1
100	79,3
125	69,2
160	69,3
200	71,6
250	69,6
315	70,4
400	71,8
500	72,6
630	71,4
800	70,0
1000	65,8
1250	65,0
1600	65,4
2000	64,1
2500	63,6
3150	62,4
4000	58,7
5000	57,6



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 72 \text{ (} -4 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -2 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 05.01.2018

Signature:

Normalized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 5.1.2018

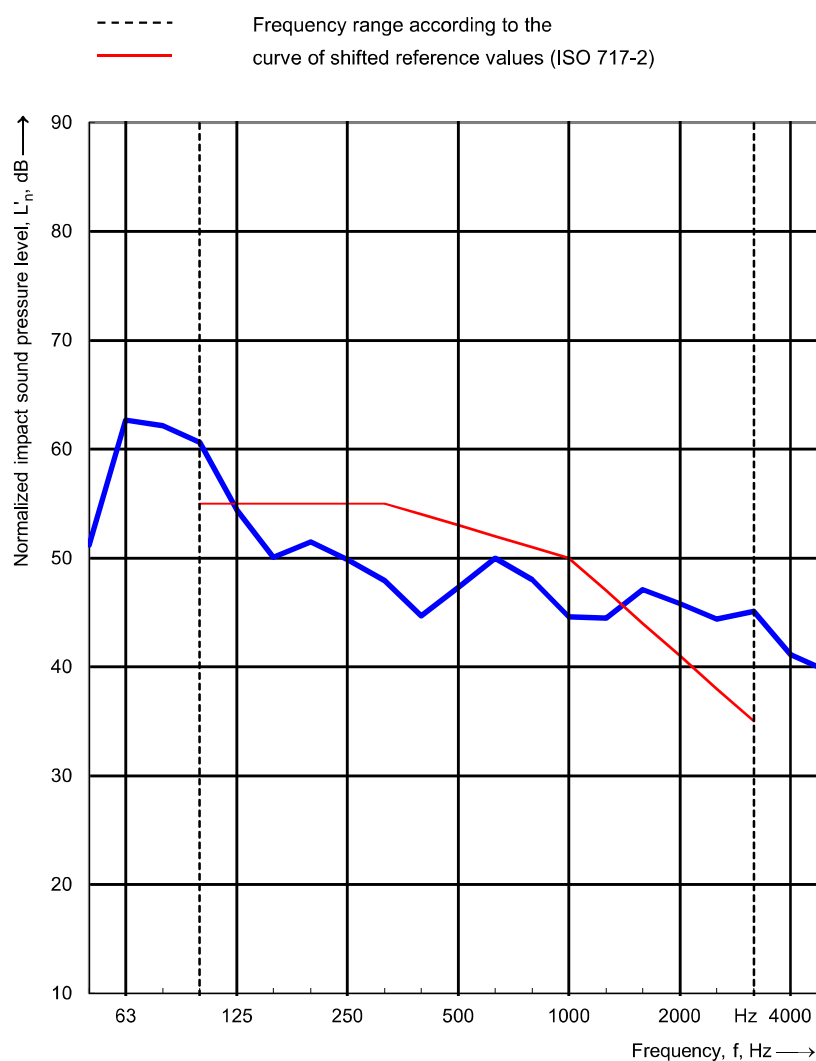
Description: Askelääneneristävyydenmittaus viistoittain yläpuolelta. Ei tärinäeristettä.

Source room volume:

Receiving room volume:

6,2 m³

Frequency f [Hz]	L' _n 1/3 octave [dB]
50	51,2
63	62,7
80	62,2
100	60,6
125	54,4
160	50,1
200	51,5
250	49,9
315	47,9
400	44,7
500	47,3
630	50,0
800	48,0
1000	44,6
1250	44,5
1600	47,1
2000	45,8
2500	44,4
3150	45,1
4000	41,1
5000	39,6



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_1) = 53 \text{ (} -4 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 0 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 05.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
 Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 17.1.2018

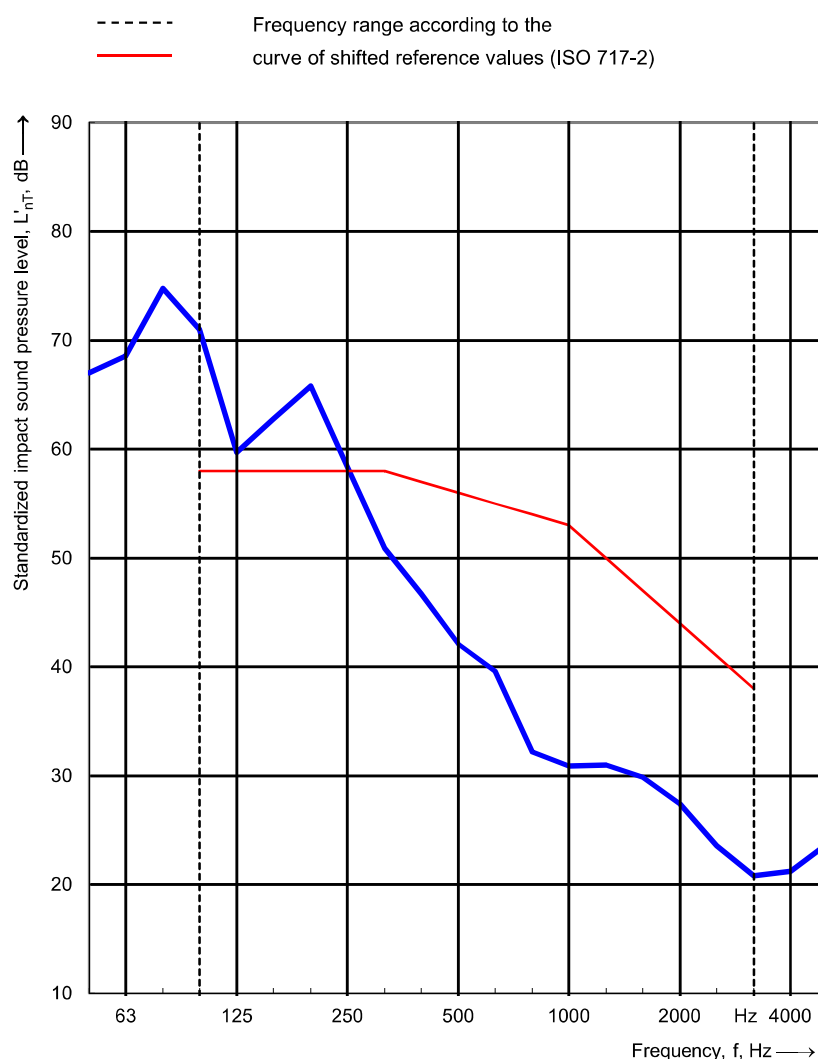
Description: Askelääneneristävyyden mittaus kohtisuoraan yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylomer 12.5mm.

Source room volume:
 Receiving room volume:

6,2 m³

Frequency f [Hz]	L' _{nT} 1/3 octave [dB]
50	67,0 ¹
63	68,6 ¹
80	74,8
100	71,0
125	59,7
160	62,8
200	65,8
250	58,4
315	50,9
400	46,7
500	42,1 ¹
630	39,6 ¹
800	32,2 ¹
1000	30,9 ¹
1250	31,0 ¹
1600	29,9 ¹
2000	27,4 ¹
2500	23,6 ¹
3150	20,8 ¹
4000	21,2 ¹
5000	23,8 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-2
 $L'_{nT,w}(C_1) = 56$ (2) dB $C_{1,50-2500} = 7$ dB
 Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 17.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 17.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittaus viistoittain yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylomer 12.5mm.

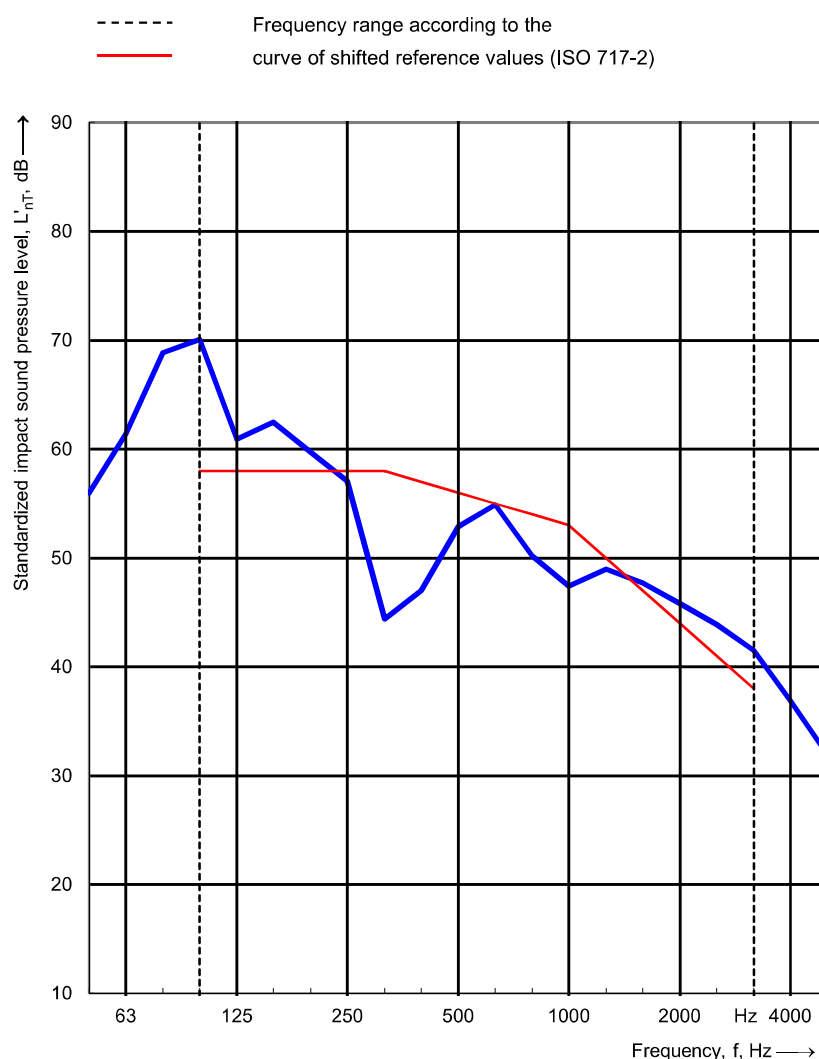
Source room volume:

Receiving room volume:

m^3
6,3 m^3

Frequency f [Hz]	L'_{nT} 1/3 octave [dB]
50	56,0
63	61,4
80	68,9
100	70,1
125	60,9
160	62,5
200	59,7
250	57,1
315	44,4 ¹
400	47,0
500	52,9
630	54,9 ¹
800	50,2
1000	47,4
1250	49,0
1600	47,7
2000	45,8 ¹
2500	43,9 ¹
3150	41,5 ¹
4000	36,9
5000	31,9 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 56 \text{ (} 1 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 3 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 17.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 19.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittaus kohtisuoraan yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylomer 25mm.

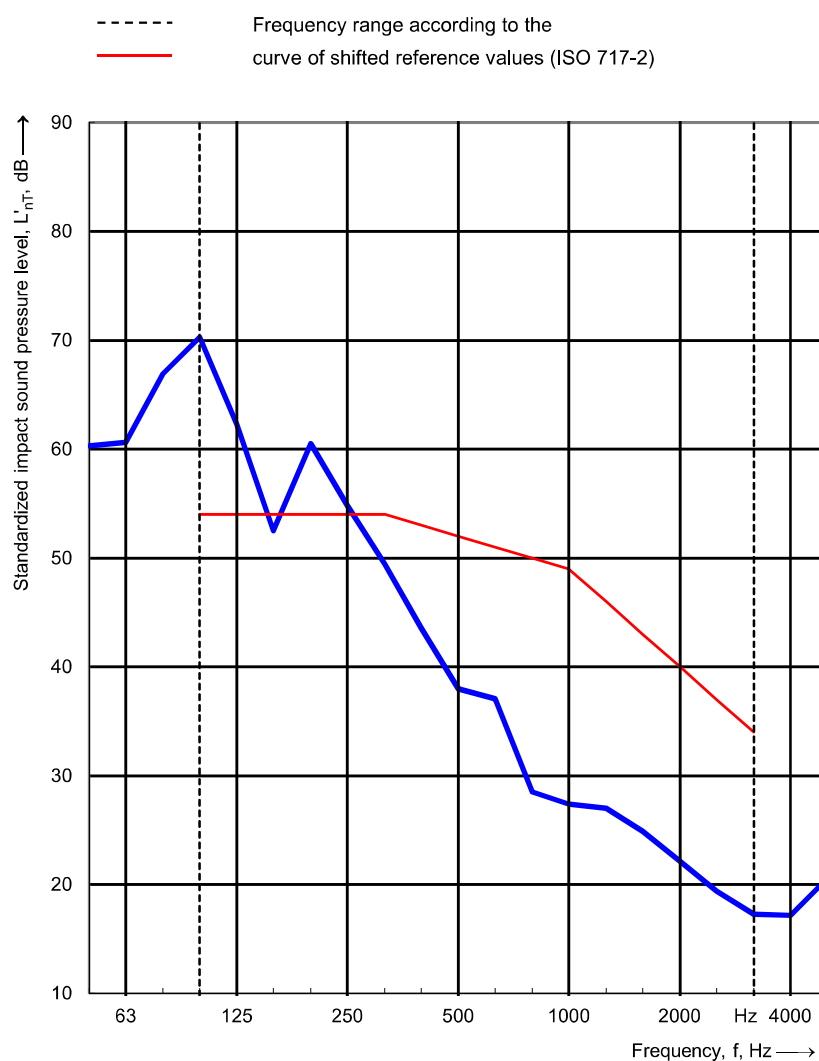
Source room volume:

Receiving room volume:

m^3
6,2 m^3 ↑

Frequency f [Hz]	L'_{nT} 1/3 octave [dB]
50	60,3 ¹
63	60,6 ¹
80	66,9
100	70,3
125	62,3
160	52,5 ¹
200	60,5
250	54,8
315	49,5
400	43,6 ¹
500	38,0 ¹
630	37,1 ¹
800	28,5 ¹
1000	27,4 ¹
1250	27,0 ¹
1600	24,9 ¹
2000	22,1 ¹
2500	19,4 ¹
3150	17,3 ¹
4000	17,2 ¹
5000	20,6 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 52 (5) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 6 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 19.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 19.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittaus viistoittain yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylomer 25mm.

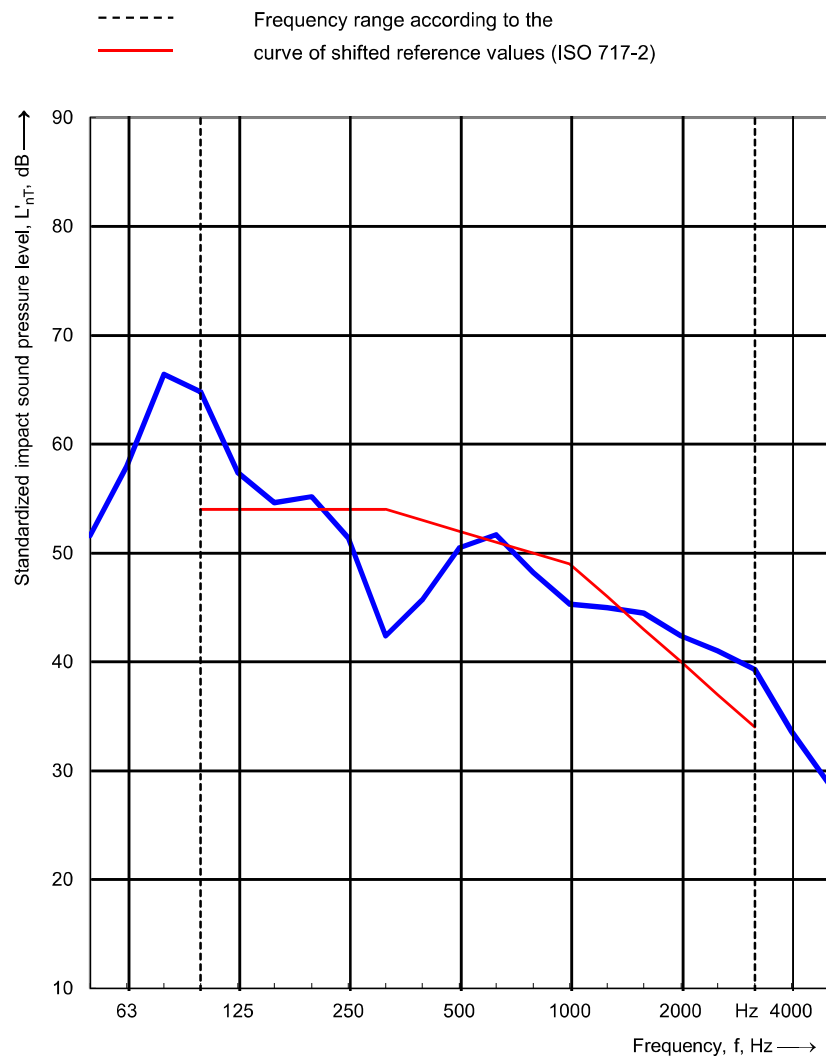
Source room volume:

Receiving room volume:

m^3
 $6,3 m^3$

Frequency f [Hz]	L'_{nT} 1/3 octave [dB]
50	51,6
63	58,0
80	66,4
100	64,8
125	57,4
160	54,6 ¹
200	55,2
250	51,4
315	42,4 ¹
400	45,7
500	50,5 ¹
630	51,7 ¹
800	48,2 ¹
1000	45,3 ¹
1250	45,0 ¹
1600	44,5 ¹
2000	42,4 ¹
2500	41,0 ¹
3150	39,3 ¹
4000	33,6 ¹
5000	28,8 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 52 \quad (\quad 0 \quad) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 3 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 19.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhteinäinen välipohjalaatta

Date of test: 22.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittaus kohtisuoraan yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylodyn 12.5mm.

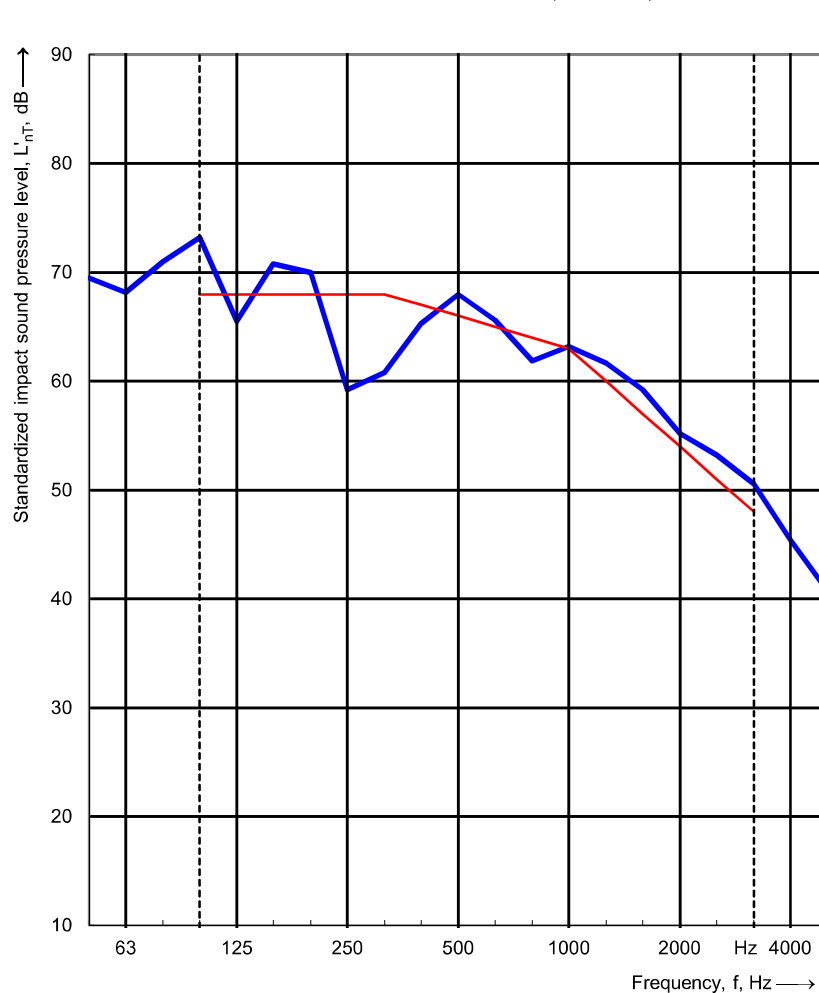
Source room volume:

Receiving room volume:

m^3
 $6,3 m^3$

Frequency f [Hz]	L'_{nT} 1/3 octave [dB]
50	69,5
63	68,2
80	71,0
100	73,2
125	65,5
160	70,8
200	70,0
250	59,2
315	60,8
400	65,3
500	68,0
630	65,6
800	61,9
1000	63,2
1250	61,7
1600	59,2
2000	55,2
2500	53,2
3150	50,6
4000	45,4
5000	40,7

----- Frequency range according to the
— Frequency range according to the curve of shifted reference values (ISO 717-2)



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 66 \text{ (} -3 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -1 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 22.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 22.1.2018

Description: Askeläänenerisävyyden mittaus viistoittain yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylodyn 12.5mm.

Source room volume:

Receiving room volume:

m³
6,3 m³

Frequency f [Hz]	L' _{nT} 1/3 octave [dB]
50	55,8
63	64,3
80	67,4
100	75,7
125	61,1
160	62,5
200	64,1
250	55,3
315	45,0 ¹
400	48,5
500	50,9 ¹
630	54,4 ¹
800	52,6
1000	49,7
1250	49,5
1600	48,8
2000	44,6 ¹
2500	43,8 ¹
3150	41,8
4000	36,8
5000	32,4

¹ Background noise too high

Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 58 \quad (\quad 3 \quad) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 22.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 23.1.2018

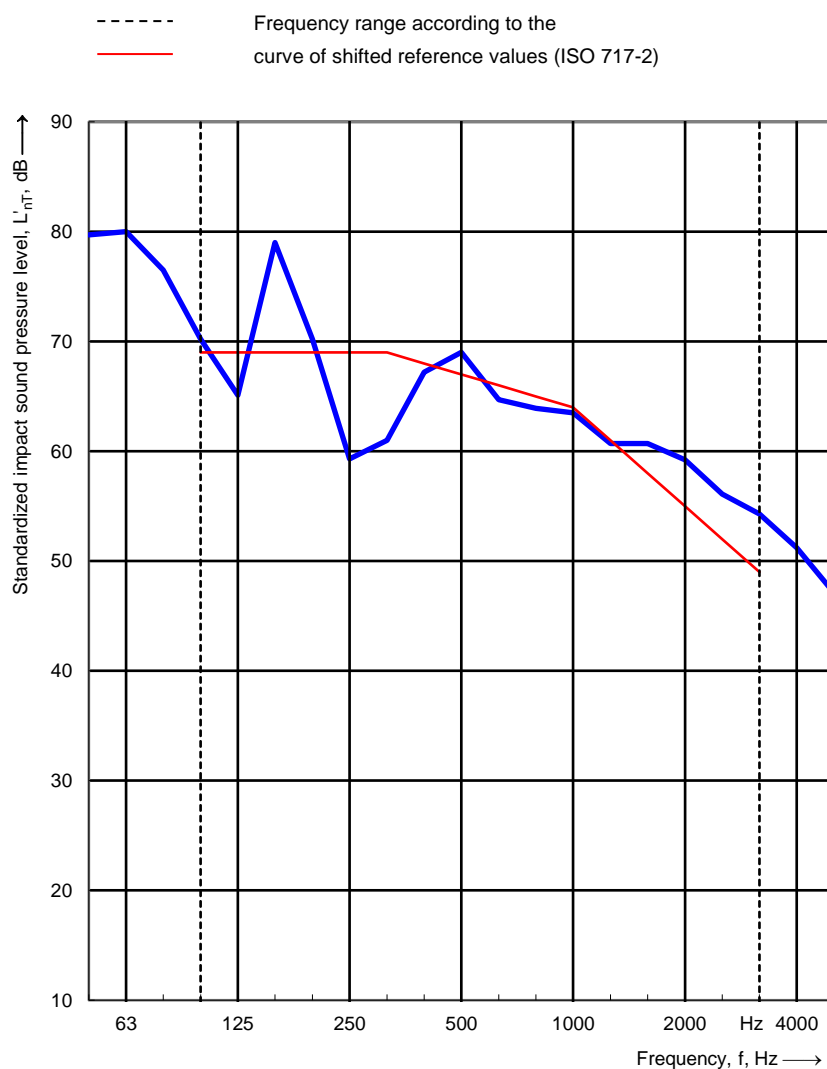
Description: Askelääneneristävyyden mittausta kohtisuoraan yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylodyn 25 mm.

Source room volume:

Receiving room volume:

6,3 m³

Frequency f [Hz]	L' _{nT} 1/3 octave [dB]
50	79,7
63	80,0
80	76,5
100	70,2
125	65,1
160	79,0
200	70,2
250	59,3
315	61,0
400	67,2
500	69,0
630	64,7
800	63,9
1000	63,5
1250	60,7
1600	60,7
2000	59,2
2500	56,1
3150	54,3
4000	51,2
5000	47,1



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 67 \text{ (} -1 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 23.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Yhtenäinen välipohjalaatta

Date of test: 23.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittaus viistoittain yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylodyn 25mm.

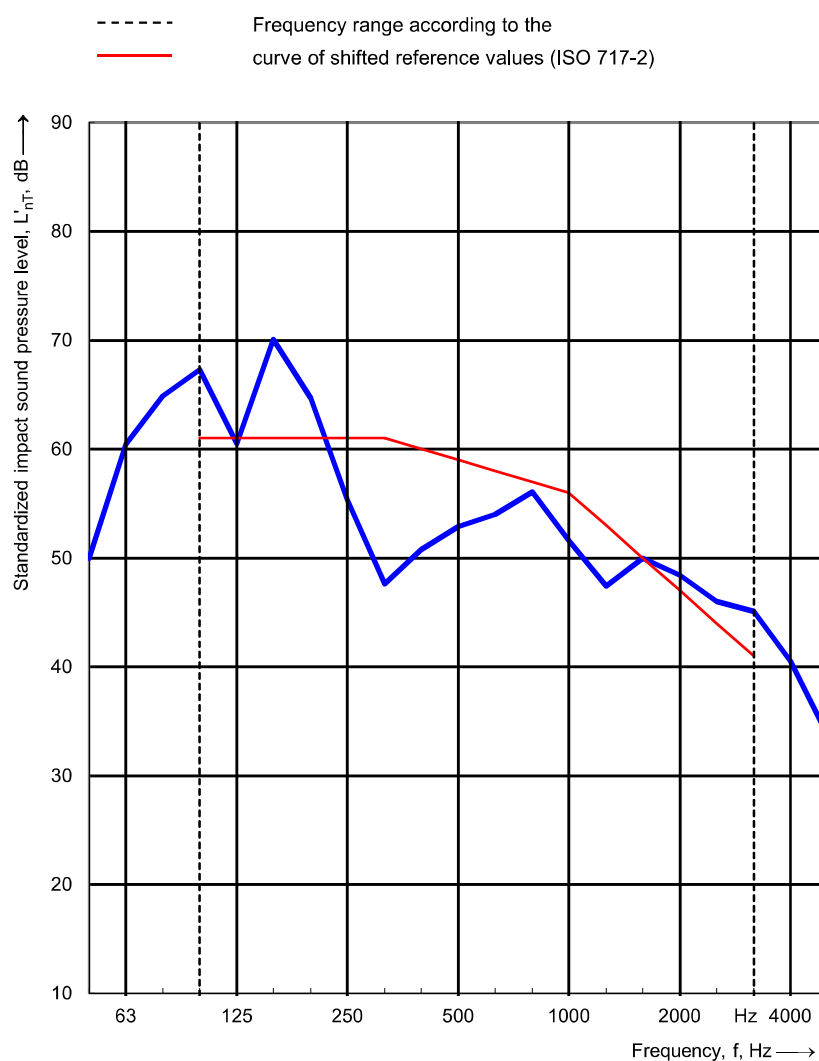
Source room volume:

Receiving room volume:

m^3
6,3 m^3

Frequency f [Hz]	L'_{nT} 1/3 octave [dB]
50	50,0
63	60,4
80	64,9
100	67,3
125	60,5
160	70,1
200	64,7
250	55,4
315	47,6 ¹
400	50,8
500	52,9
630	54,0 ¹
800	56,1
1000	51,6
1250	47,4
1600	50,0
2000	48,4
2500	46,0
3150	45,1
4000	40,5
5000	33,7

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 59 \text{ (} -1 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 0 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 23.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
 Object: Katkaistu välipohjalaatta

Date of test: 26.1.2018

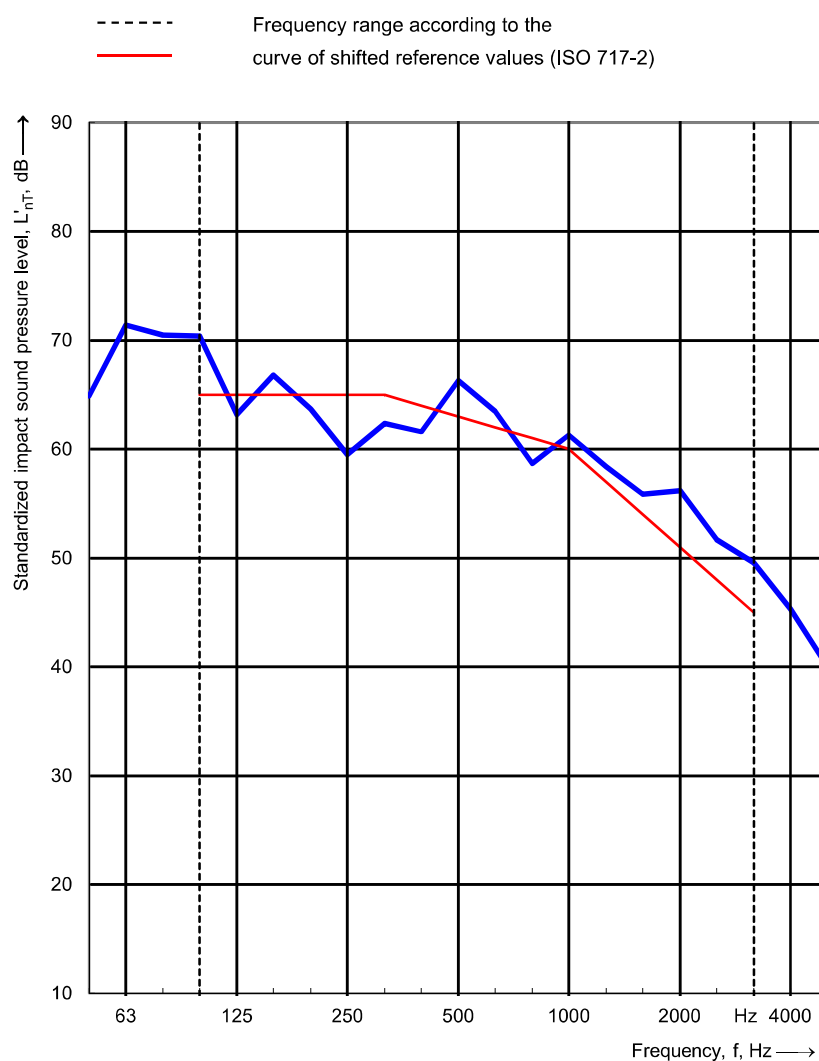
Description: Askelääneneristävyyden mittaus kohtisuoraan yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylomer 25mm.

Source room volume:

Receiving room volume:

m³
 6,3 m³

Frequency f [Hz]	L' _{nT} 1/3 octave [dB]
50	64,9
63	71,4
80	70,5
100	70,4
125	63,2
160	66,8
200	63,7
250	59,5
315	62,4
400	61,6
500	66,3
630	63,5
800	58,7
1000	61,3
1250	58,4
1600	55,9
2000	56,2
2500	51,7
3150	49,6
4000	45,3
5000	40,0



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 63 \text{ (} -3 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 0 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 26.01.2018

Signature:

Standardized impact sound pressure levels according to ISO 16283-2 (Low Frequency)

Field measurements of impact sound insulation of floors

Client: Karelia Amk
Object: Katkaistu välipohjalaatta

Date of test: 26.1.2018

Description: Askelääneneristävyyden mittausta viistoittain yläpuolelta. Tärinäeristeenä Sylomer 25mm.

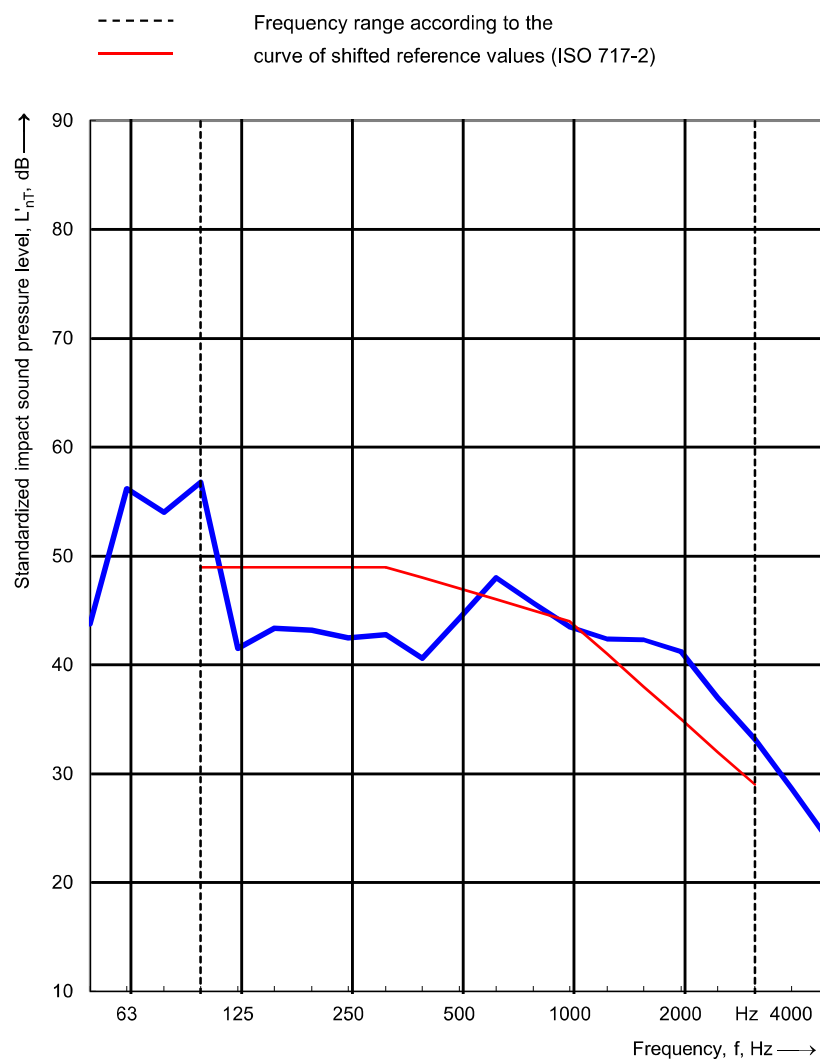
Source room volume:

Receiving room volume:

m^3
6,3 m^3

Frequency f [Hz]	L'_{nT} 1/3 octave [dB]
50	43,8
63	56,2 ¹
80	54,0
100	56,8
125	41,5 ¹
160	43,4 ¹
200	43,2 ¹
250	42,5
315	42,8 ¹
400	40,6 ¹
500	44,3 ¹
630	48,0 ¹
800	45,7 ¹
1000	43,5 ¹
1250	42,4 ¹
1600	42,3 ¹
2000	41,2 ¹
2500	37,0 ¹
3150	33,2 ¹
4000	28,6 ¹
5000	23,9 ¹

¹ Background noise too high



Rating according to ISO 717-2

$$L'_{nT,w}(C_1) = 47 \text{ (} -3 \text{) dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 0 \text{ dB}$$

Evaluation based on field measurement results obtained in one-third-octave bands by an engineering method.

Company:

No. of test report:

Date: 26.01.2018

Signature:

