

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Leevi Tuunainen

AKUSTIIKKALEVYN STANDARDIN MUKAINEN ABSORPTIOALAN
MITTAUS

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2018
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Leevi Tuunainen

Nimeke
Akustiikkalevyn standardin mukainen absorptioalan mitta

Toimeksiantaja
Joen Nikkarituote Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin puukuituisen CEWOOD-akustiikkalevyn toimintaa eri rakennusratkaisuissa. Haluttiin selvittää, miten eri rakenteet vaikuttavat eri taajuuksien absorptioon ja miten kilpailukykyinen akustiikkalevy on kilpailijoiden tuotteisiin verrattuna. Tutkittavana oli kaksi eri kuitupaksuudella olevaa akustiikkalevyä, joiden eroja myös toisiinsa tutkittiin.

Rakenteiden vertailu suoritettiin tekemällä jälkikäiväntä-aikojen mittaus kaiuntahuoneessa jokaiselle testirakenteelle. Mittaukset pyrittiin tekemään standardin mukaan ja käytetyt mittalaitteet täyttivät niille asetetut vaatimukset. Mittarista saadut tulokset koostettiin taulukkolaskentaohjelmaan, jossa tuloksia pystyttiin vertailemaan rakenteiden välillä ja saatiin laadittua tarvittavat kuvaajat.

Mittaustuloksista saatiin selville, että pintaan kiinni asennettu akustiikkalevy toimii parhaiten korkeilla taajuuksilla. Toimintaa matalilla taajuuksilla saadaan parannettua reilusti käyttämällä kivivillaa akustiikkalevyn takana. Korkeilla taajuuksilla mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina, mutta matalilla alle 500 Hz:n taajuuksilla hajontaa oli liikaa. Levy toimii parhaiten kuitenkin yli 500 Hz:n taajuuksilla, joten mittauksia voi pitää hyödyllisinä.

Kieli
suomi

Sivuja	32
Liitteet	7
Liitesivumäärä	9

Asiasanat
Akustiikka, akustiikkalevy, absorptio



THESIS
May 2018
Degree Programme in Construction Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author
Leevi Tuunainen

Title
Measurements of acoustic panel sound absorption according to standard

Commissioned by
Joen Nikkarituote Oy

Abstract

In this thesis sound absorption of CEWOOD acoustic panels was measured at different structures. Goal was to investigate how different structures affect sound absorption at different frequencies and how competitive product is. There was two different acoustic panels with different wood wool sizes which were also compared.

Comparison was made by measuring sound absorption in reverberation room for each structure. Measurements was made about by standard and equipment used were adequate. Results were composed to Microsoft Excel -program for further analysis and comparison.

It turned out that panel which was directly mounted to the surface of the wall performed best at high frequencies. Absorption at low frequencies can be improved by using rock wool behind acoustic panel. Results at higher frequencies can be considered reliable, but at low frequencies under 500 Hz standard deviation was too high. However acoustic panel works best at frequencies over 500 Hz so results of this study were useful.

Language
Finnish

Pages	32
Appendices	7
Pages of Appendices	9

Keywords
Acoustics, Acoustic panel, absorption

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Ääni ja akustiikka	6
2.1	Äänenpainetaso	9
2.2	Jälkikaiunta-aika	11
2.3	Absorptio.....	13
2.4	Huonevaimennus.....	14
3	Tutkimuskohde ja -menetelmä.....	16
3.1	Testiasetelma ja tila	17
3.2	Testirakenteet.....	19
3.3	Mittalaitteet	20
4	Mittaustulokset.....	22
4.1	SuperFine-levyn mittaukset	23
4.2	Fine-levyn mittaukset.....	25
4.3	Tulosten yhteenveto	27
4.4	Luotettavuus	28
5	Huonevaimennusesimerkki.....	29
6	Pohdinta.....	31
	Lähteet.....	32

Liitteet

Liite 1	Nor275-äänilähteen teho eri taajuuksilla
Liite 2	CEWOOD-akustiikkalevy
Liite 3	SuperFine-levyn mittaukset
Liite 4	Fine-levyn mittaukset
Liite 5	T-testin tulokset
Liite 6	Vertailu kilpaileviin tuotteisiin
Liite 7	Keilahallin jälkikaiunta-ajat

1 Johdanto

Ääni on suuressa osassa ihmisen elämässä ja kuuloaisti onkin yksi tärkeimmistä aisteistamme. Tästä syystä akustinen suunnittelu on tärkeä osa rakennus-hanketta, jotta voidaan tuottaa viihtyisiä ja käyttötarkoitukseen soveltuvia tiloja. Tarpeettomat ja ihmistä häiritsevät äänet ovat melua. Yleensä tällaisia ääniä ovat ympäristön muista äänistä poikkeavat voimakkaat äänet tai muuten selvästi erottuvat äänet.

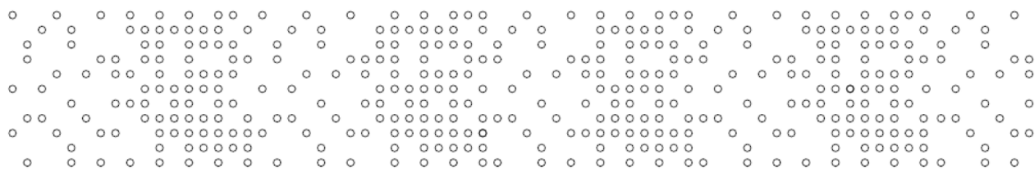
Sellaisien tilojen akustiseen suunnitteluun, joissa oleskellaan paljon ja halutaan taata käyttäjille hyvä ja terveellinen ympäristö esimerkiksi työskentelyyn tai opiskeluun, kannattaa panostaa. Akustiikaltaan toimivissa tiloissa työskentely on tehokkaampaa ja opiskelukin sujuu paremmin ilman häiritsevää melua. Myös asuinrakennusten akustiikka on tärkeä osa ihmisten hyvinvointia ja pienellä panostuksella voi parantaa asumisviihtyvyyttä ja välttyä mahdollisilta melun aiheuttamilta terveyshaitoilta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää puukuituisen akustiikkalevyn toimintaa eri asennustapoja vertailemalla. Toimeksiantaja halusi selvittää, millaisilla rakenneratkaisuilla päästään parhaaseen akustiseen toimivuuteen ja millainen vaikutus levyssä käytettävällä lastupaksuudella on levyn akustisiin ominaisuuksiin. Tarkoituksena oli mitata eri asennustapojen vaikutusta tilan jälkikaiunta-aikaan ja mitattujen tulosten perusteella selvittää absorptioalan kasvaminen suhteessa käytettyyn levypinta-alaan.

Tarkoituksena oli myös laskujen avulla selvittää levyn vaikutusta huonevai-mennukseen, josta selviää äänenpainetason lasku huoneessa, kun tietty määrä kyseistä akustiikkalevyä asennetaan tilaan. Tämän esimerkin tarkoitus on helpottaa levyn akustisen vaikutuksen ymmärtämistä niille, joilla ei ole tarkempaa tietoutta akustiikasta tai sen käsitteistä.

2 Ääni ja akustiikka

Ääni syntyy äänilähteen värähtelyn synnyttäessä ympäröivään väliaineeseen, kuten ilmaan, tihentymiä ja harventumia. Tästä syntyvät ilmanpaineen vaihtelut verrattuna staattiseen ilmanpaineeseen havaitaan äänenä. Ilmahiukkasten liike saa seuraavatkin ilmahiukkaset liikkeeseen, ja tällä tavalla ääni etenee äänilähteestä ympäristöön pitkittäisaaltona (kuva 1). (Kylliäinen 2006, 27.)

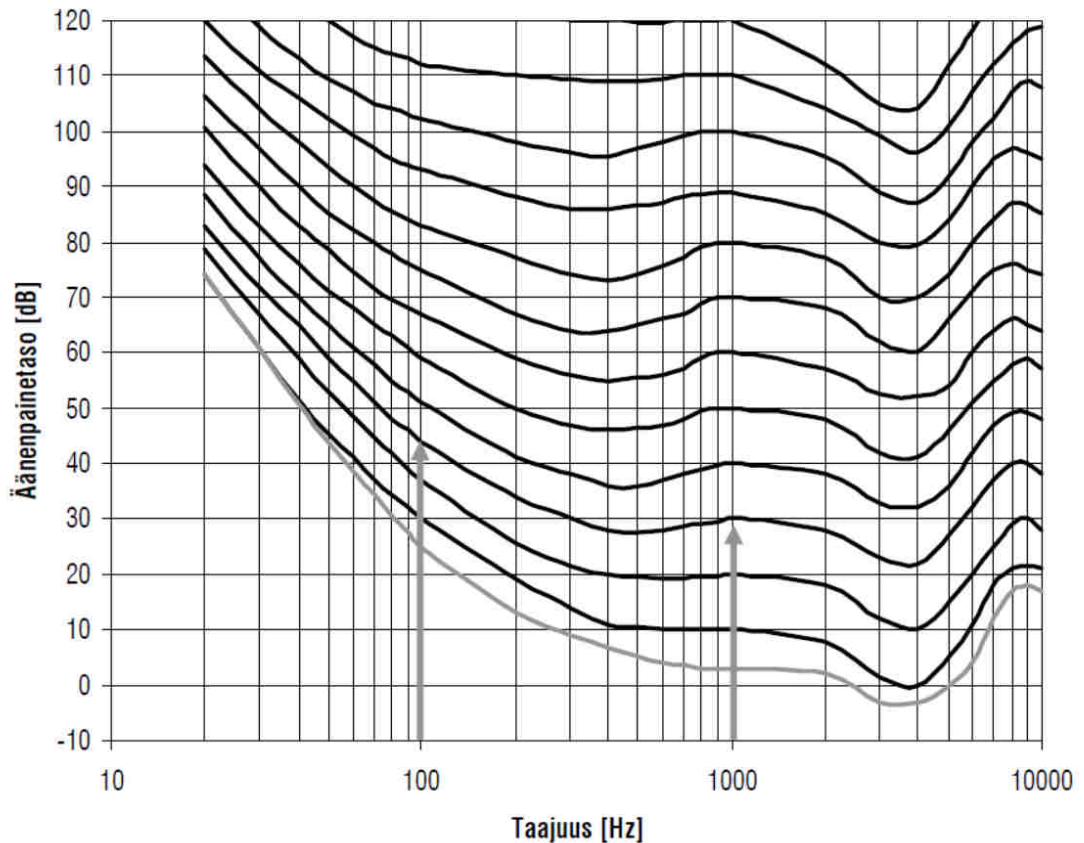


Kuva 1. Äänen eteneminen pitkittäisaaltona. (Kylliäinen 2006, 27)

Ihminen aistimus äänestä syntyy, kun ilmanpaineen vaihtelu saa korvassa olevan rumpukalvon värähtelemään. Värähtelyn ollessa tiheää ääni aistitaan korkeana. Harvemmin tapahtuva värähtely koetaan matalina ääninä. Kaavasta 1 saadaan laskettua äänen taajuus f [Hz] jakamalla värähtelyiden määrä n aikajaksolla T [s], jonka aikana värähtelyt on havaittu. (Kylliäinen 2007, 27.)

$$f = \frac{n}{T} \quad (1)$$

Ihminen kykenee aistimaan taajuuksia 20:n ja 20000 Hz:n välillä. Tästä matalammat äänet havaitaan tärinänä. Kuulon herkkyys eri taajuuksilla ei ole kuitenkaan vakio, vaan eri taajuuksilla kuultavien äänten äänenpainetaso voi vaihdella, vaikka ääni koetaan yhtä voimakkaana. Kuvan 2 kuvaajasta huomataan, että esimerkiksi 100 Hz:n taajuudella 45 dB äänenpainetaso koetaan yhtä voimakkaana, kuin 30 dB äänenpainetaso 1000 Hz:n taajuudella. (Kylliäinen 2006, 13-15.)



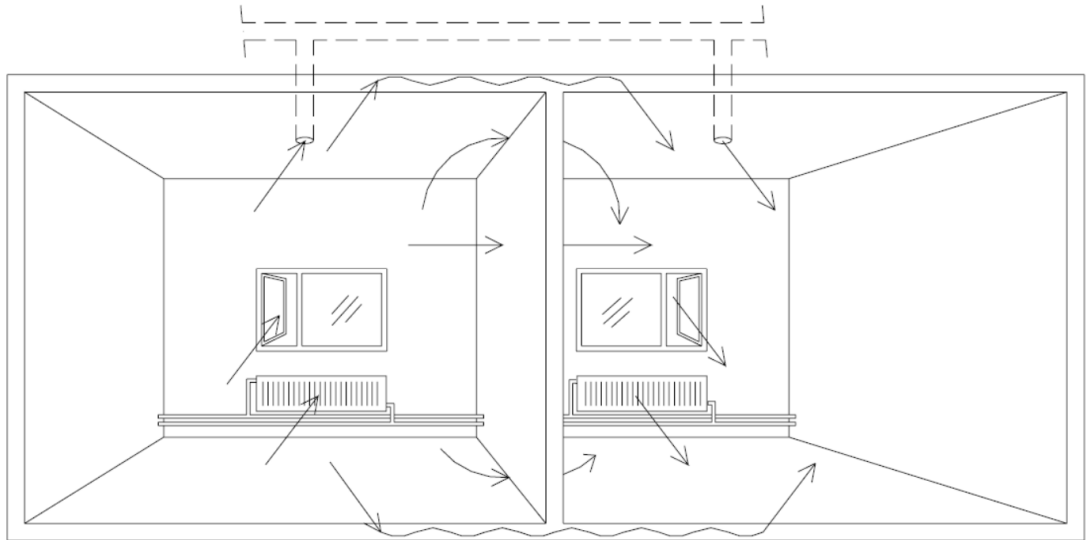
Kuva 2. Äänen voimakkuuden kokeminen eri taajuuksilla. (Kylliäinen 2006, 15.)

Yleensä akustiikasta puhuttaessa tarkoitetaan tilojen huoneakustiikkaa. Huoneakustiikalla tarkoitetaan sitä, miten selvästi musiikki tai puhe tilassa kuuluu ja millaisena äänet koetaan tilassa. Useimmiten akustiikasta puhutaan vaativien kohteiden yhteydessä, joita ovat mm. auditoriot, elokuvateatterit ja konserttisalit. Akustinen suunnittelu ei tosin koske pelkästään vaativia kohteita, vaan on osana kaikkia rakennushankkeita. Yksinkertaisuudessaan akustista suunnittelua on ääntä eristävän väliseinän käyttäminen tiloja erottavana seinänä. (Kylliäinen 2006,15–17.)

Talonrakentamisessa akustiikan osa-alueita on yleensä neljä. Huoneakustiikalla tarkoitetaan äänen heijastumista, etenemistä ja vaimenemista samassa tilassa. Tarkoituksena on saada tilassa olevan äänilähteen, kuten puhujan, ääni kuulumaan tarkoituksenmukaisella ja suunnitellulla tavalla. (Kylliäinen 2006, 16)

Rakennusakustiikassa tutkitaan eri tilojen välillä tapahtuvaa äänen etenemistä. Äänen eteneminen riippuu äänilähteen tyypistä, josta riippuen voi edetä

ilmääänenä tai askel- ja runkoääninä. Äänen siirtymiseen tilasta toiseen on yleensä useita reittejä (kuva 3), jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa. (Kylliäinen 2006, 16.)



Kuva 3. Äänen siirtymisen reittejä. (Kylliäinen 2006, 72.)

Rakennuksen ulkopuolista melua pyritään vähentämään meluntorjunnalla. Tällaista ulkopuolista melua on liikenteestä ja teollisuudesta aiheutuva melu, jonka haittoja pyritään minimoimaan estämällä melun syntymistä tai estämään sen kulkua melusteiden tai ääntä eristävien rakenteiden avulla. Meluntorjunta käsittää myös rakennuksen sisäisen, koneiden tai teknisten laitteiden aiheuttaman, melun vähentämistä. Keinoina käytetään melun syntymiseen vaikuttamalla, ääntä eristäviä rakenteita, äänenvaimentimia tai huoneakustiikkaa käyttämällä. (Kylliäinen 2006, 16.)

Tärinäeristystä tarvitaan, kun rakennukseen tulee raskaita koneita, jotka voivat saada rakenteet värähtelemään, ja näin synnyttää ääntä. Tällaisissa tapauksissa tärinäeristyksellä on tarkoitus vähentää energian siirtymistä laitteesta rakennuksen runkoon käyttämällä joustavia rakenneosia laitteen ja kiinnitysalustan välissä. (Kylliäinen 2006, 16.)

2.1 Äänenpainetaso

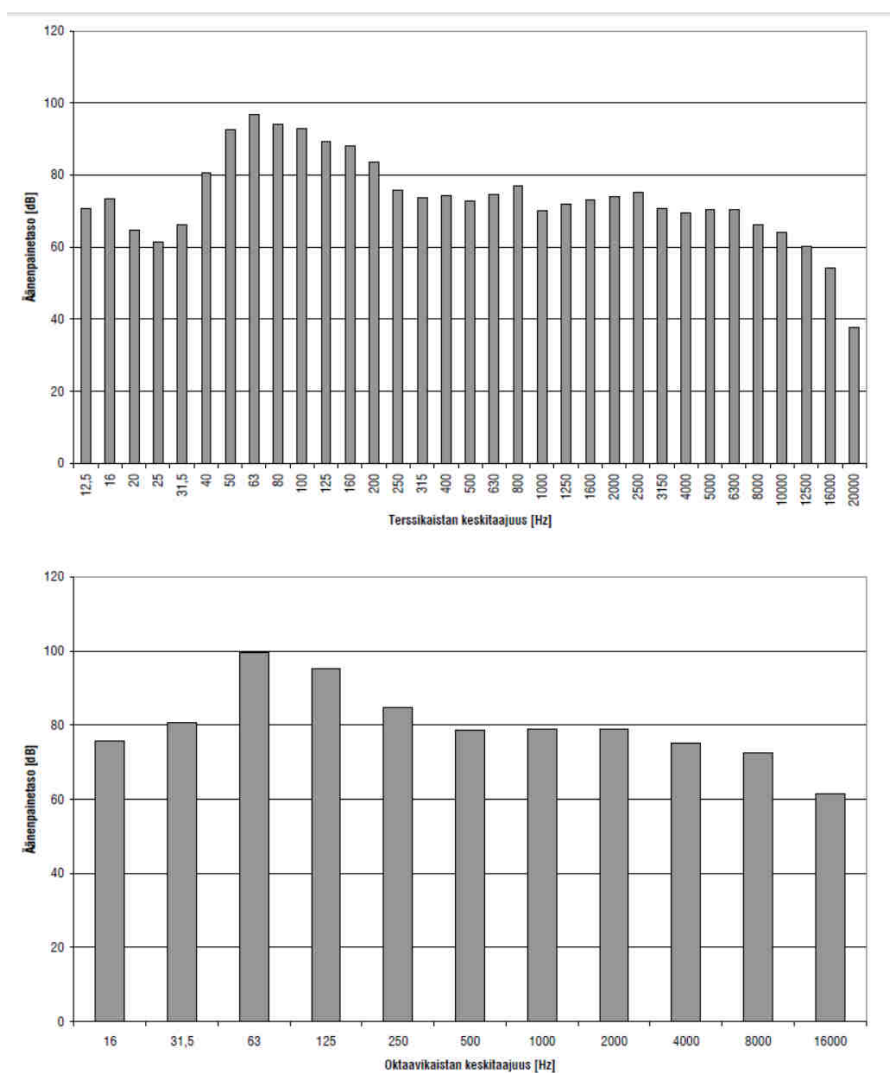
Ilmakehän staattinen ilmanpaine on noin 100 kPa, johon verrattuna äänenä havaittavat ilmanpaineen vaihtelut ovat hyvin pieniä. Ihmisen kuulokynnys, eli pienin havaittava ilmanpaineen muutos, on vain 20 μ Pa. Ilmanpaineen muutoksesta, joka havaitaan äänenä, käytetään nimitystä äänenpaine p [Pa]. Kun äänenpaine ylittää 20 Pa rajan, ääniaistimus muuttuu kipuaistimukseksi. Kuulokynnyksen ja kipurajan äänenpaineiden lukuarvoja vertailemalla ero on hyvinkin pieni, vaikka todellisuudessa koettu ero on suhteellisen suuri. Tästä syystä esimerkiksi suunnittelussa ja käytännön laskuissa olisi hankala käyttää äänenpaineen luku-arvoja. Siksi äänenpainetta p verrataan vertailuäänepaineeksi otettuun kuulokynnyksen arvoon p_0 . Tällöin äänenvoimakkuutta kuvataan äänenpainetasona L_p [dB] (kaava 2). (RIL 243-1-2007, 36.)

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

Äänenpainetason määritelmän mukaan pienin kuultava äänenpaineen äänenpainetaso on 0 dB ja kipukynnyksen äänenpaineen äänenpainetaso on 120 dB. Määritelmästä seuraa myös, että äänenpaineen kaksinkertaistuessa äänenpainetaso kasvaa 6 dB. Kaksi samassa tilassa olevaa laitetta, jotka tuottavat yksin toimiessaan saman äänenpainetason, tuottavat yhdessä 3 dB korkeamman äänenpainetason kuin laitteiden yksinään synnyttämä äänenpainetaso. Jonkin, useita äänilähteitä sisältävän, tilan äänenpainetason alentamiseksi on ensimmäiseksi vaimennettava suurimman äänenpainetason tuottava laite. Useiden äänilähteiden tuottama äänenpainetaso $L_{p,tot}$ saadaan laskettua kaavasta 3. (Kylliäinen 2006, 29.)

$$L_{p,tot} = 10 \lg \left(10^{L_{p,1}/10} + 10^{L_{p,2}/10} + \dots \right) = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \quad (3)$$

Äänilähteiden synnyttämät äänenpainetasot vaihtelevat yksittäisten taajuuksien välillä. Tästä syystä akustiikassa äänen taajuusjakauma, eli äänispektri, jaetaan taajuuskaistoiksi. Tapana on käyttää oktaavikaistoja tai terssi- eli kolmannes-oktaavikaistoja. Oktaavikaista kattaa noin 70 % keskitaajuuden kaistanleveydestä ja terssikaista noin 23 %. Taajuuskaistojen määritelmä on tehty kuuloaistin ominaisuuksien perusteella. Sävelen äänenkorkeuden kasvaessa oktaavilla taajuus kaksinkertaistuu. Kahden oktaavin kasvu tarkoittaa taajuuden nelin-kertaistumista. Kuuloaistimuksen suhteellinen muutos yhden oktaavin nousulla on kuitenkin yhtä suuri, vaikka taajuuksien erotus kasvaa jokaisella oktaavin muutoksella (kuva 4). (Kylliäinen 2006, 29–30; RIL 243-1-2007, 37–38.)



Kuva 4. Äänenpainetasoja terssikaistoittain (yllä) ja oktaavikaistoittain (alla). (Kylliäinen 2006,30.)

Rakennusten ja rakenteiden ääneneristysmittauksissa käytetään terssikaistojen keskitaajuuksia 50 - 5000 Hz:n välillä. Mittauksissa terssikaistoja käyttämällä päästään tarkempaan tulokseen verrattuna oktaavikaistoittain tehtyihin mittauksiin. Rakennusmateriaalien absorptio-ominaisuudet ja laitteiden äänitiedot ilmoitetaan kuitenkin oktaavikaistoittain 63 - 4000 Hz:n keskitaajuuksilla. (Kylliäinen 2006, 31,37.)

Ihmisen kuulo on herkimmillään 2000 - 5000 Hz:n taajuuksilla. Näitä taajuuksia korkeammilla tai matalammilla äänillä kuuloaisti heikkenee. Kuuloaistin herkkyys otetaan laskuissa huomioon A-painotuksella. Matalia ja korkeita äänenpainetasoja pienennetään lisäämällä A-painotus keskikaistoittain äänenpainetasoihin L_p (Kylliäinen 2006, 31; RIL 243-1-2007, 39.)

2.2 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika T [s] kuvaa aikaa, joka kuluu äänilähteen tilaan synnyttämän äänenpainetason laskemiseen, kun äänilähde lopettaa toimintansa. Jälkikaiunta-ajan kuluessa äänenpainetaso laskee tilassa 60 dB. Tietyn tilan jälkikaiunta-aika voidaan selvittää voimakkaan äänilähteen avulla niin, että tilaan ääntä tuottava äänilähde katkaistaan äkillisesti ja mitataan äänenpainetason laskuun kuluva aika. Tiloissa, joissa on lyhyt jälkikaiunta-aika, puheen tavut vaimenevat nopeammin ja puhe on näin selkeämpää. Jälkikaiunta-ajan pidentyessä puheen tavut jäävät soimaan toistensa päälle heikentäen puheen selvyttä. Puheen kannalta jälkikaiunta-ajan lyhentäminen tiettyyn rajaan asti on kannattavaa. Jos tilan absorptioala A [m²] kasvaa liian suureksi, puheen selvyys heikentyy sen äänitason laskettua lähelle taustamelun äänitasoa. (Kylliäinen 2006, 39.)

Suunnittelussa jälkikaiunta-ajan määrittämiseen käytetään Sabinen kaavaa (kaava 4). Kaavassa käytetään kokeellisesti johdettua yhteyttä jälkikaiunta-ajalla, tilavuudella V [m³] ja absorptioalalla.

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (4)$$

Sabinen kaavaa avuksi käyttämällä saadaan määritettyä tarvittavan absorptioalan suuruus taajuuskaistoittain. Tavoiteltava absorptioalan suuruus riippuu tilan käyttötarkoituksen mukaisesta jälkikaiunta-ajan pituudesta. Sabinen kaava on tarkimmillaan, kun huoneessa on täysin diffuusi äänikenttä. Tällä tarkoitetaan tilannetta, missä kaikissa huoneen pisteissä on sama äänenpainetaso. Huoneen on oltava kuutiomainen, kovapintainen ja mitoiltaan suuri verrattuna tarkasteltavaan äänen aallonpituuteen. Kaavaa voidaan kuitenkin käyttää riittävällä tarkkuudella suurimmassa osassa tiloja. Taulukossa 1 esimerkkejä eri tilojen jälkikaiunta-ajoista. (RIL 243-1-2007, 50.)

Kun halutaan saada tarkempia tuloksia, voidaan käyttää standardista löytyvää laskukaavaa (kaava 5). Tämä ottaa huomioon ilman vaimentavan vaikutuksen ja vallitsevat olosuhteet ja on näin ollen Sabinen kaavaa tarkempi. (ISO 345:2003, 9.)

$$A_1 = \frac{55,3 V}{cT_1} - 4 Vm_1 \quad (5)$$

Taulukko 1. Erialaisten tilojen jälkikaiunta-aikoja 500 Hz:n keskitajuudella. (RIL 243-1-2007, 50.)

Jälkikaiunta-aika	Esimerkki tilasta
> 5s	Kivikirkko tyhjänä
2s ... 3s	Suuri aula, ei vaimennustiloja
1,8s ... 2,2s	Konserttisali
1,5s	Kalustamaton makuuhuone
1,0s ... 1,2s	Teatteri, auditoria
0,5s ... 0,8s	Hyvin suunniteltu luokkahuone
0,5s	Kalustettu makuuhuone
0,3s ... 0,8s	Elokuvateatteri, tilavuudesta riippuen
0,2s ... 0,3s	Äänitarkkaamo, tilavuudesta riippuen

2.3 Absorptio

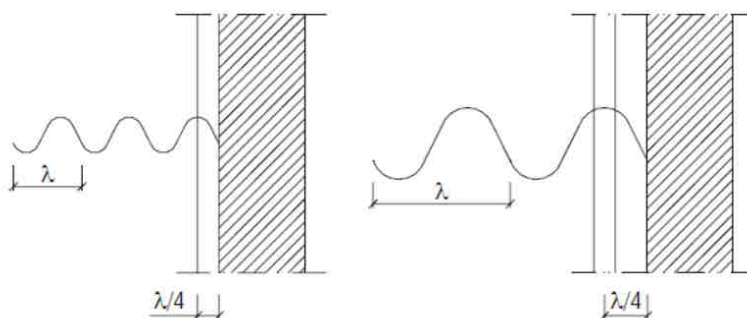
Äänen absorptiolla tarkoitetaan huonetilan sisällä syntyvän äänen vaimenemista samassa tilassa. Äänilähteestä huoneeseen syntyvät ääniaallot kohtaavat tilassa eri rakenteita, joiden pinnasta ne heijastuvat osittain takaisin huoneeseen. Heijastumatta jäänyt ääniteho absorboituu rakenteeseen muuttuen lämmöksi tai ääniaaltojen liike-energiaa saa rakenteen värähtelemään. Absorptioon vaikuttaa lähinnä huonetilan pintamateriaalien ominaisuudet. Mitä suurempi absorptiosuhde α materiaalilla on, niin sitä pienempi osa pinnan kohdanneesta äänitehosta w_1 heijastuu takaisin tilaan äänitehona w_2 . Äänen absorptiosuhde määritellään kaavassa 6, ja se voi saada arvoja väliltä 0–1. (RIL 243-1-2007, 46–47.)

$$\alpha = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (6)$$

Absorptiosuhde on sellaisenaan käytössä kaupallisten absorptiomateriaalien tuoteominaisuuksia kuvaamassa. Tällaisilla tuotteilla on mahdollista pienentää

pinnasta heijastuvan energian määrää jopa 20 dB. Tämä on mahdollista tuotteilla, joiden absorptiosuhde tietyillä taajuuksilla on jopa 0,96. (RIL 243-1-2007, 47.)

Huokoisten materiaalien, kuten mineraalivillojen, äänenabsorptiokyky perustuu ahtaissa kuiturakenteissa tapahtuviin kitkan aiheuttamiin lämpöhäviöihin. Huokoisilla materiaaleilla saadaan absorboitua tehokkaasti korkeampia taajuuksia, joiden aallonpituudet ovat nelinkertaisia materiaalipaksuuteen verrattuna. Rakenteesta heijastuvan ääniaallon hiukkasnopeus on korkeimmillaan aallonpituuden neljänneksen kohdalla, jossa myös absorptiomateriaali toimii parhaiten. Matalilla taajuuksilla aallonpituudet ovat pitempiä, jolloin parempaan absorptioon päästään jättämällä huokoisen materiaalin taakse ilmarako (kuva 5). (RIL 243-1-2007, 149.)

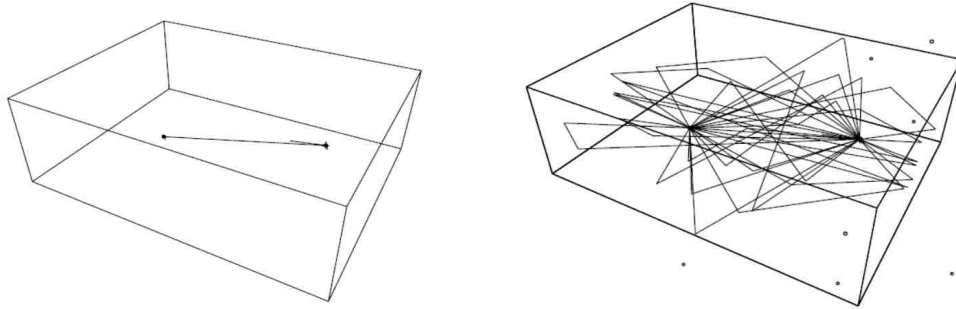


Kuva 5. Pinnasta irti oleva huokoinen materiaali absorboi matalia taajuuksia (oikealla), kun taas korkeammat taajuudet absorboituvat pinnassa kiinni olevaan rakenteeseen (vasemmalla). (Kylliäinen 2006, 127.)

2.4 Huonevaimennus

Äänilähteen alkaessa tuottaa ääntä huoneeseen kuulija havaitsee ensimmäisenä suoraan äänilähteestä korvaan tulleen äänen. Hetken päästä kuulija havaitsee huoneen pinnoista heijastuvat äänet, jotka korottavat huoneen

äänenpainetasoa verrattuna suoraan tulleen äänen äänenpainetason nähden (kuva 6). Huoneen pintojen ollessa täydellisesti heijastavia, eikä äänitehon absorboitumista ilmaan myöskään tapahtuisi, niin huoneen äänenpainetaso kasvaisi äärettömän suureksi. (RIL 243-1-2007, 51.)

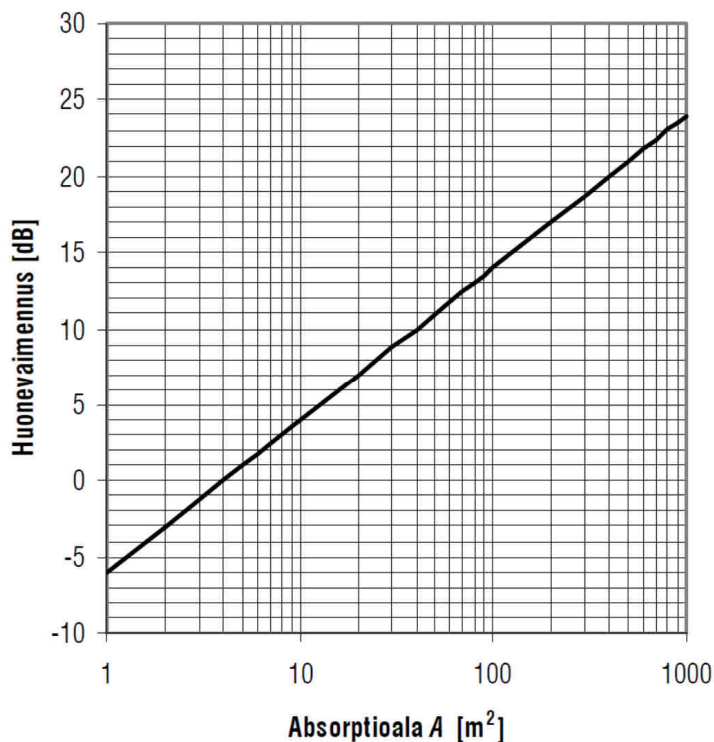


Kuva 6. Äänen saapuminen kuulijalle suoraan äänilähteestä, jonka jälkeen havaitaan heijastuksia huoneen eri pinnoista. (RIL 243-1-2007, 51)

Äänilähteen huoneeseen tuottama äänikenttä oletetaan yleensä diffuusiksi. Tällöin äänenpainetaso huoneessa on muuttumaton eri pisteiden välillä. Äänenpainetaso L_p on diffuusissa äänikentässä riippuvainen absorptioalasta kaavan 7 mukaan. (RIL 243-1-2007, 52.)

$$L_p = L_w - 10 \lg \left(\frac{A}{4} \right) \quad (7)$$

Kaavan termiä $10 \lg(A/4)$ kutsutaan huonevaimennukseksi. Kun tilan absorptioala A [m²] on suurempi kuin 4 m², huonevaimennus on positiivinen. Positiivinen huonevaimennus voi laskea tilan yleistä äänenpainetasoa jopa yli 20 dB (kuva 7). Pintojen ollessa lähes täysin heijastavia, huonevaimennus voi saada negatiivisia arvoja. Tällaisessa tilanteessa äänenpainetaso kasvaa äänitehotasoa suuremmaksi. (RIL 243-1-2007, 52; Kylliäinen 2006, 42.)



Kuva 7. Äänenpainetaso huoneessa alenee 3 dB, absorptioalan kaksinkertaistuesssa. (Kylliäinen 2006, 42.)

3 Tutkimuskohde ja -menetelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Joen Nikkarituote Oy:n maahantuoman CEWOOD® -akustiikkalevyn (liite 2) toimintaa eri asennustapoja vertailemalla. Levy on valmistettu sementoidusta lastuvillasta ja sitä on saatavana 1.0 mm (*SuperFine*) ja 1,5 mm (*Fine*) lastupaksuuksilla. Levyjä on saatavilla 15, 25, 35 ja 50 mm paksuina, joista yleisimmin käytettyjä ovat 25 ja 35 mm:n vahvuiset levyt. Tässä työssä tutkitaan 25 mm levyä sekä 1.0 mm:n, että 1,5 mm:n lastupaksuuksilla. Akustiikkalevyn lisäksi käytettiin Parocin 50 mm paksua kivivillaa, jota hyödynnettiin levyn takana olevassa ilmatilassa.

Akustiikkalevyn absorptio-ominaisuuksia selvitettiin mittaamalla jälkikaiunta-ajan muutosta tyhjän huoneen ja kunkin testirakenteen välillä. Jälkikaiunta-aikojen muutosten perusteella saatiin laskettua testirakenteen tilaan tuottama absorp-

tioalan lisäys. Näitä arvoja taajuuskaistoittain vertailemalla pystyttiin tutkimaan eroja testirakenteiden välillä.

3.1 Testiasetelma ja tila

Mittaukset suoritettiin Karelia-ammattikorkeakoulun pommisuojojassa, jossa lähes kaikki pinnat ovat betonia ja tilan jälkikaiunta-aika oli suhteellisen pitkä ennen absorboivan materiaalin tuomista tilaan. Tila oli myös mitoiltaan hyvin lähellä standardin SFS-EN ISO 345-2007 kaiuntahuoneelle asettamia vaatimuksia.

Taulukko 2. Tilan mitat ja pintamateriaalit

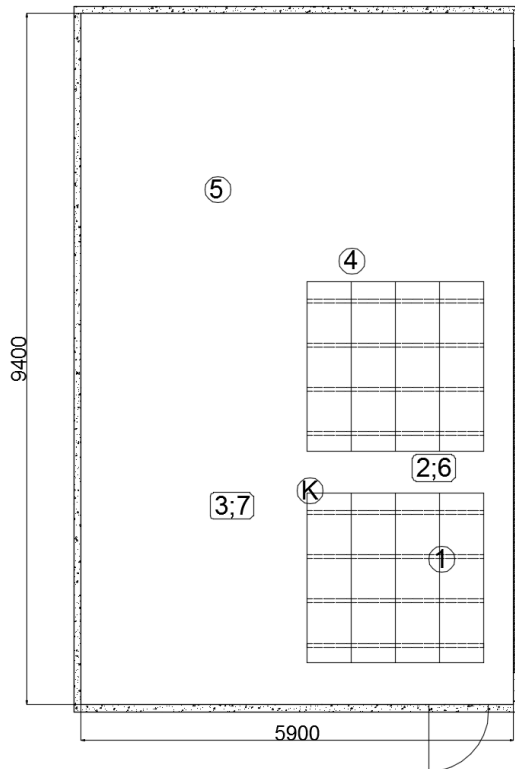
Kaiuntahuoneen Mitat:	
Korkeus	2,7 m
Leveys	5,9 m
Pituus	9,4 m
Tilavuus	149,7 m ³
Pintamateriaalit: [m²]	
Betoni (lattia+katto+seinät)	168
Rakennuslevy (seinä)	16

Testitilanteessa rakenteiden asentamiseen käytettiin levyhissejä, joilla pystyttiin helposti säätämään akustiikkalevyjen etäisyyttä taustarakenteeseen (kuva 8). Levyrakenteet kasattiin levyhissien päälle, 600 mm:n jaolla olevien tukilankkujen varaan, millä varmistettiin levyjen pysyminen suorana. Etäisyyttä taustarakenteeseen säädettiin levyhissien avulla ja ilmavälin suuruus varmistettiin mitalla testirakenteiden kaikilta sivuilta. Tyhjän huoneen jälkikaiunta-aikaa mitattaessa levyhissit ja tukirakenteet olivat tilassa, jolloin pelkästään testattavien rakenteiden vaikutusta pystyttiin tutkimaan.



Kuva 8. Levyrakenteet asennettuna mittausta varten levyhissejä apuna käyttämällä.

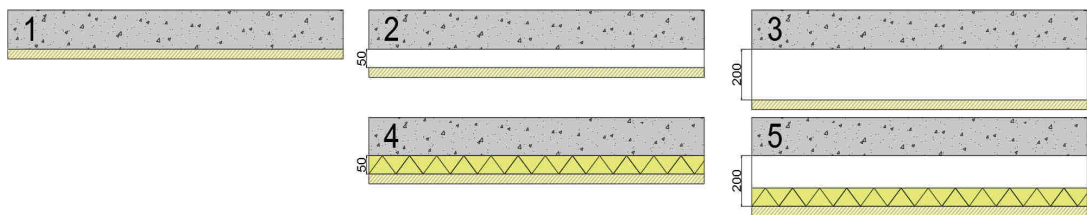
Testirakenteet nostettiin, kahdessa n. 5,5 m² osassa, tilan katossa oleviin esteettömiin kohtiin. Näin päästiin testikappaleiden osalta standardin vaatimaan 10 m² vähimmäispinta-alaan. Mittaukset suoritettiin viidestä eri mittauspisteestä korkeuden vaihdelta 1,2 ja 1,4 m:n välillä. Jokaiselle testirakenteelle tehtiin yhteensä 7 mittausta, jotka toistettiin samoista pisteistä jokaisella mittauskerralla. Testirakenteiden sijoitus ja mittauspisteiden paikat näkyvät kuvassa 8.



Kuva 8. Kuvassa mittausten 1-7 sijainnit, äänilähteen paikka K ja testirakenteiden sijoitus. Levyrakenteinen välisenä näkyy tummennettuna oikealla.

3.2 Testirakenteet

Tässä työssä tutkittiin kahta eri lastupaksuuksilla olevaa puukuituakustiikkalevyä. Testattavat akustiikkalevyt olivat 25 mm paksuja ja niissä käytetyt lastupaksuudet olivat 1,0 ja 1,5 mm. Molemmista levyistä tehtiin mitaukset 5 eri rakenneratkaisua käyttäen (kuva 9).



Kuva 9. Testattavat rakenteet 1-5.

Testirakenteet valittiin yleisesti käytössä olevien asennusratkaisuiden perusteella. Rakenne 1 kuvaa tilannetta, jossa akustiikkalevy asennetaan suoraan taustarakenteen pintaan esimerkiksi liimaamalla tai ruuvikiinnityksellä. Rakenteissa 2 ja 4 akustiikkalevy oli 50 mm irti taustasta, joka vastaa levyn kiinnitystä vastaavan paksuiseen koolaukseen. Tapauksessa 4 ilmaväli täytettiin kivivillalla. Tapauksissa 3 ja 5 tutkittiin levyn toimintaa alakatossa. Rakenteessa 3 levyn takana oli 200 mm ilmaväli, kun taas tapauksessa 5 levyjen päällä oli 50 mm kivivillaa jättäen vapaata ilmatilaa 150 mm.

Yhteensä tutkittavia rakenteita oli siis 10 kappaletta. Mittaukset suoritettiin kahdena eri päivänä, joista ensimmäisenä mitattiin *SuperFine*- ja toisena *Fine* -levyt. Olosuhteet ja mittausten toteutus pysyivät samanlaisina molempina päivinä.

3.3 Mittalaitteet

Mittauksissa käytettiin Norsonicin laitteita. Äänilähteenä tilassa toimi Norsonic Nor275-kaiutin, joka oli yhdistettynä Nor280-vahvistimeen (kuva 10). Kaiuttimella tilaan tuotettiin voimakasta kohinaa, joka sisältää kaikkia mitattavia taajuuksia (liite 1).



Kuva 10. Norsonic laitteet, joita käytettiin äänen tuottamiseen. Etualalla vahvistin ja takana lattialle asennettava Nor275-kaiutin.

Jälkikaiunta-ajan mittaamiseen käytettiin Norsonic Nor140 mittalaitetta, joka pystyy mittaamaan jälkikaiunta-aikaa 1/3-oktaavikaistoittain. Mittari yhdistettiin Nor280 vahvistimeen liitoskaapelilla, jonka kautta mittari ohjasi äänen tuottamista tilaan ja mittasi jälkikaiunta-ajan äänen katkeamisen jälkeen.



Kuva 11. Norsonic Nor140 Mittalaite.

Mittaustulokset tallentuivat mittariin liitettylle muistikortille, joka liitettiin tietokoneeseen mittausten päätyttyä. Tulosten siirtäminen tietokoneelle tapahtui NorXfer -ohjelman avulla. Tämän jälkeen tuloksia päästiin tarkastelemaan ja analysoimaan NorBuild -ohjelmassa. Lopuksi tulokset kopioitiin Microsoft Excel ohjelmaan, jossa tehtiin vertailut testirakenteiden välillä.

4 Mittaustulokset

Mittarista saadut tulokset sisälsivät yksittäisten mittausten jälkikaiunta-ajat 50:n - 5000 Hz:n taajuuskaistoittain, mitkä koostettiin Excel-taulukkolaskenta-ohjelmaan. Yksittäisistä mittauksista laskettiin jälkikaiunta-aikojen keskiarvot ja -hajonnat 100 - 5000 Hz:n taajuuksille (taulukko 3). Esimerkkinä tuloksista 1000 Hz:n kohdalta voidaan nähdä, että on tehty yhteensä 7 kappaletta mittauksia, joiden keskimääräinen jälkikaiunta-aika on ollut 1,14 sekuntia keskihajonnan ollessa 0,13.

Taulukko 3. Mittarista saaduista tyhjän tilan jälkikaiunta-ajoista lasketut keskiarvot ja -hajonnat.

SuperFine(1,0mm) Levyn Mittaukset		18.4		Levyn Paksuus 25mm						
Tyhjän tilan Jälkikaiunta-aika		Mittauslaite:		Nor140						
Frequency [Hz]	Kesk.Haj	N [kpl]	T	T	T	T	T	T	T	Average T _{keskiTyhjä}
100	0,59	7	1,26	1,86	0,88	2,71	1,83	2,01	1,47	1,72
125	0,20	7	0,95	1,03	1,17	1,38	0,86	0,84	1,22	1,06
160	0,14	7	1,17	1,22	1,16	1,46	1,1	1,15	0,99	1,18
200	0,39	7	0,89	1,61	0,79	1,13	1,03	1,64	1,73	1,26
250	0,15	7	1,03	0,95	1,43	1,08	1,22	1,18	1,15	1,15
315	0,36	7	1,01	2,06	1,26	1	1,33	1,53	1,28	1,35
400	0,17	7	1,17	1,38	1,35	0,97	1,01	1,39	1,2	1,21
500	0,17	7	1,13	1,21	1,41	1,12	1,17	1,06	1,52	1,23
630	0,10	7	1,33	1,21	1,31	1,04	1,17	1,26	1,22	1,22
800	0,14	7	1,02	1,08	1,01	1,12	1,15	1,05	1,43	1,12
1 000	0,13	7	1,08	1,1	1,12	1,08	1,42	1,02	1,15	1,14
1 250	0,08	7	1,13	0,96	1,18	0,98	1,13	1,02	1,07	1,07
1 600	0,06	7	1,08	1	0,95	1	0,89	0,98	0,95	0,98
2 000	0,07	7	0,94	0,98	0,99	0,88	0,96	0,86	1,05	0,95
2 500	0,03	7	0,88	0,88	0,86	0,92	0,93	0,87	0,95	0,90
3 150	0,05	7	0,91	0,83	0,85	0,86	0,82	0,92	0,79	0,85
4 000	0,05	7	0,79	0,82	0,87	0,72	0,81	0,84	0,8	0,81
5 000	0,05	7	0,69	0,79	0,74	0,68	0,83	0,73	0,71	0,74

Testirakenteiden 1-5 eroja selvitettiin vertailemalla niiden aikaansaamaa jälkikaiunta-aikojen muutosta tyhjän tilan vertailuarvoihin. Muutosten perusteella laskettiin kunkin rakenteen absorptioalan lisäys 1/3-oktaavikaistoille ja arvoja vertailtiin eri rakenteiden välillä.

4.1 SuperFine-levyn mittaukset

Ensimmäisenä tehtiin SuperFine-levyn mittaukset ja tulokset koostettiin Excel-
taulukkolaskentaohjelmaan (liite 3). Ekvivalentit absorptioalat laskettiin kaavan
8 avulla tyhjälle tilalle (A_1), sekä rakenteille 1-5 (A_2). (ISO 345:2003, 9-10.)

$$A_1 = \frac{55,3 V}{cT_1} - 4 Vm_1 \quad (8)$$

Missä

$V =$ Huoneen tilavuus [m^3]

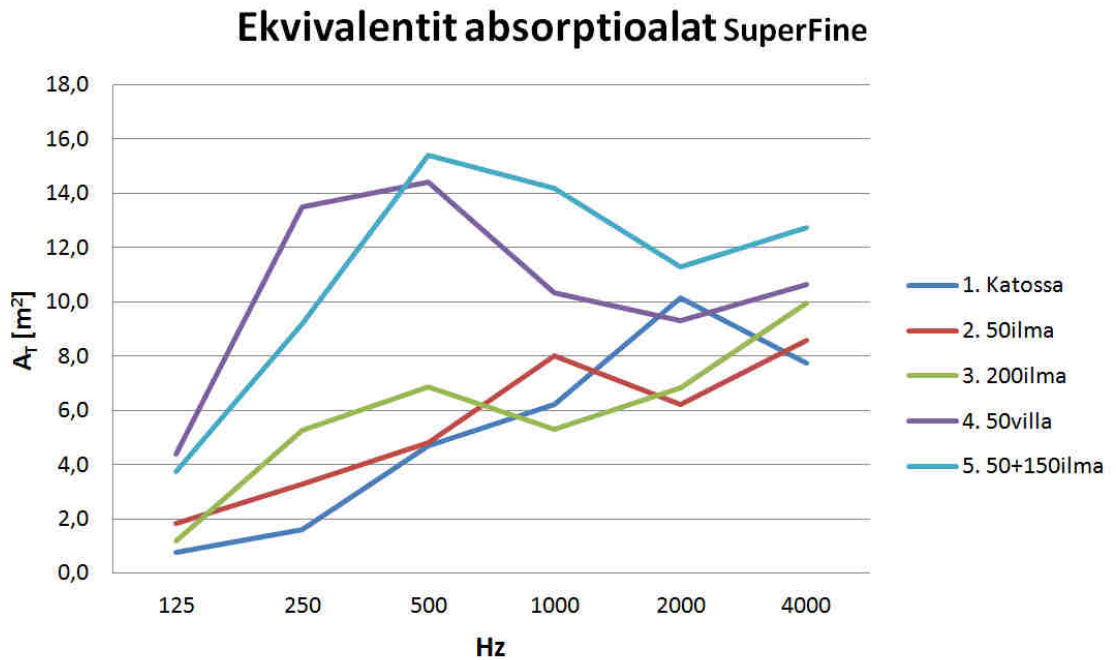
$c =$ Äänennopeus ilmassa [m/s]

$T_1 =$ jälkikaiunta-aika [s]

$m_1 =$ Ilman vaimennuskerroin [$1/m$]

Seuraavaksi saatiin laskettua ekvivalentit absorptioalat A_T jokaiselle testi-
rakenteelle (kaava 9), joiden avulla voitiin vertailla rakenteiden toimintaa eri
taajuuksilla. Kuvassa 12 on esitetty rakenteiden 1-5 ekvivalentit absorptioalat
oktaavikaistoittain.

$$A_T = A_2 - A_1 \quad (9)$$



Kuva 12. SuperFine levyn ekvivalentit absorptioalat oktaavikaistoittain. Liitteessä 3 tulokset 1/3-oktaavikaistoittain.

Akustiikkalevy toimii hyvin korkeammilla taajuuksilla ja ilmarakoa kasvattamalla saadaan hiukan parannettua toimintaa matalammilla taajuuksilla. Ilmaraolla on kuitenkin negatiivista vaikutusta korkeiden taajuuksien absorbointiin. Parhaaseen absorbointitulokseen pelkkää akustiikkalevyä käyttämällä päästäisiin yhdistelemällä rakenteita 1-3.

Rakenteissa 4 ja 5 käytettiin mineraalivillaa levyn takana olevassa ilmatilassa. Tällä saavutettiin reilu parannus matalien yli 250 Hz:n taajuuksien absorboinnissa, mikä selittyy rakennepaksuuden kasvamisella ja absorboivan materiaalin lisääntymisellä. Korkeidenkin taajuuksien absorbointi lisääntyi jonkin verran, mikä johtunee absorboivan materiaalin määrän lisääntymisestä.

Pintaan asennetulle levyille laskettiin vielä absorptiosuhde α_s kaavan 10 avulla. (ISO 345:2003, 11.)

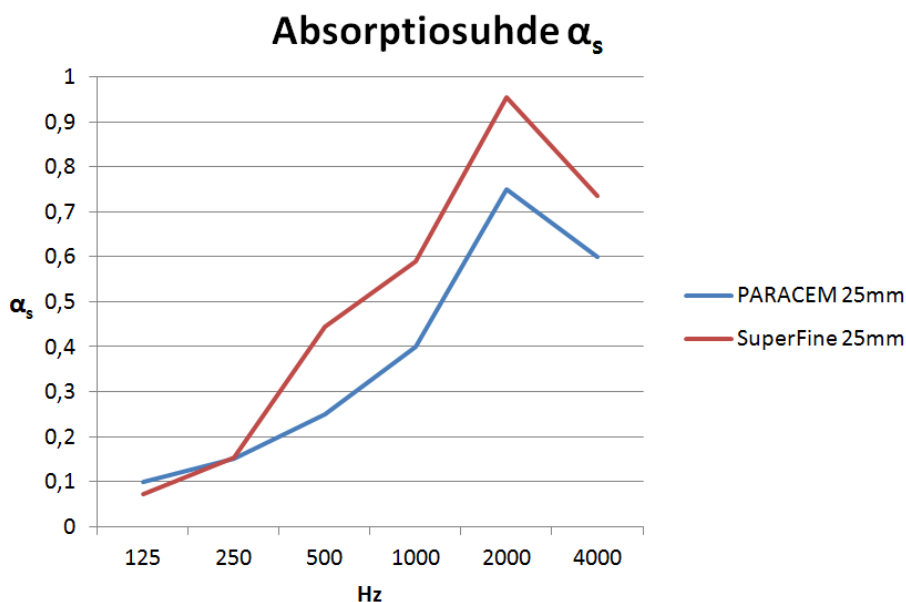
$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (10)$$

Missä

A_T = rakenteen ekvivalentti absorptioala

S = testirakenteen pinta-ala

Absorptiosuhteen avulla akustiikkalevyä voidaan vertailla vastaaviin markkinoilla oleviin tuotteisiin, kuten Parocin PARACEM -akustiikkalevyyn. Yli 250 Hz:n taajuuksilla CEWOOD akustiikkalevy näyttää toimivan keskimäärin 15% paremmin kuin parocin vastaava tuote (kuva 13). Pienet eroavaisuudet voivat kuitenkin johtua testitilojen eroista ja mittausvirheistä.

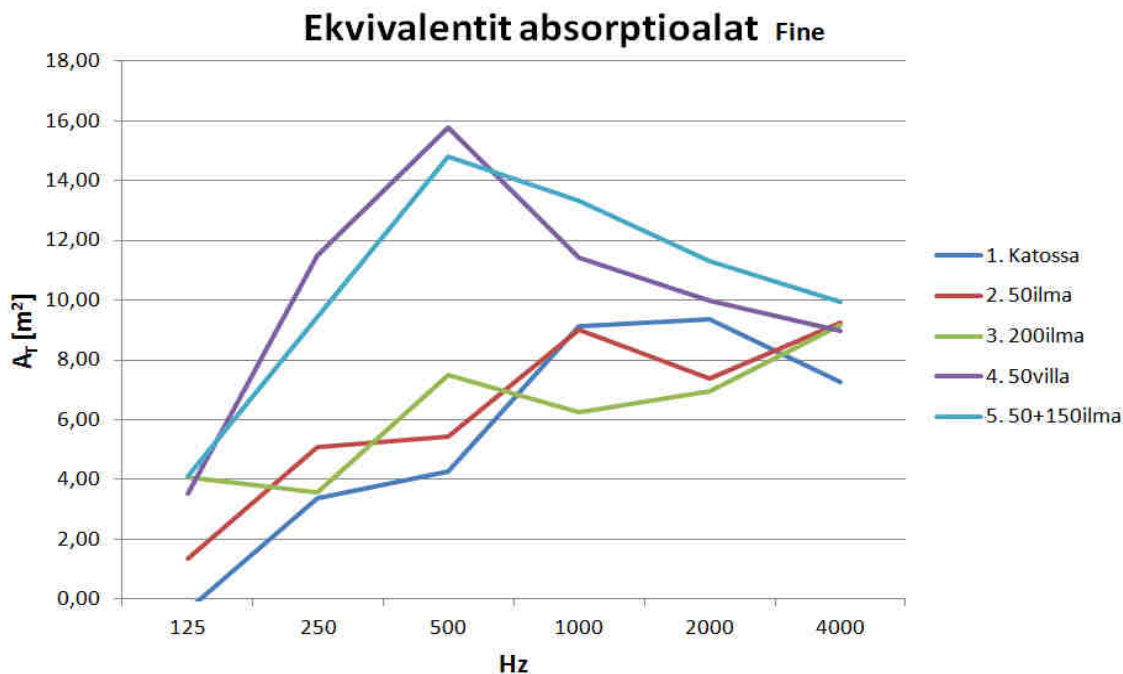


Kuva 13. CEWOOD akustiikkalevyn absorptiosuhteiden vertailua Parocin PARACEM tuotteen vastaaviin arvoihin. Parocin tuotteen tiedot valmistajan sivuilta.

4.2 Fine-levyn mittaukset

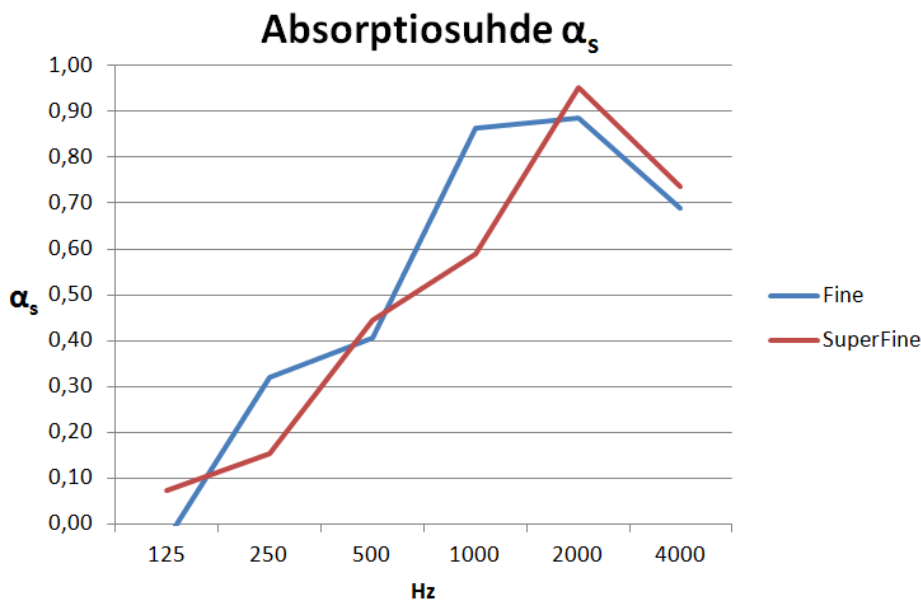
Fine-levyn mittaukset suoritettiin toisena päivänä (liite 4). Suoritustapa ja mittauspaikat pysyivät täysin samana eri levyjen välillä. Ainut muutos oli levyssä käytettävien puukuitujen lastupaksuuden kasvaminen 1,5 mm:n paksuuteen SuperFine-levyn 1,0 millistä.

Tuloksista tehtiin samanlaiset laskelmat kuin ensimmäisenkin päivän mittauksista, ja kuten kuvasta 14 nähdään, rakenteet toimivat hyvin samalla tavalla kuin vastaavat rakenteet, joissa käytettiin SuperFine-levyä.



Kuva 14. Fine-levyn ekvivalentit absorptioalat oktaavikaistoittain. Liitteessä 4 tulokset 1/3-oktaavikaistoittain.

Levyjen vertailua varten myös katossa kiinni olleelle Fine-levylle laskettiin absorptiosuhde α_s ja sitä verrattiin SuperFine-levyn arvoihin (kuva 15). Fine-levy näyttäisi toimivan hieman paremmin 250:n ja 1000 Hz:n taajuuksilla, mutta tarkempi vertailu vaatisi virallisia laboratoriomittauksia.



Kuva 15. SuperFine ja Fine-levyjien absorptiosuhteet α_s .

4.3 Tulosten yhteenveto

Saatujen tulosten perusteella voidaan varmasti todeta, että akustiikkalevyt toimivat hyvin korkeammilla yli 500 Hz:n taajuuksilla. Matalien taajuuksien absorbointia saadaan parannettua asentamalla levy irti taustarakenteesta, mikä kuitenkin heikentää vähän korkeiden taajuuksien absorbointia. Parhaaseen tulokseen päästään käyttämällä levyn lisäksi kivivillaa levyn taustalla, mikä saa rakennepaksuuden kasvamaan ja näin matalien taajuuksien absorbointi paranee huomattavasti. Myös korkeiden taajuuksien absorbointi paranee hieman.

Levyjen välillä ei mittausten perusteella voi sanoa olevan huomattavaa eroa, vaan suurempi vaikutus toimivuuteen saadaan eri rakenteita käyttämällä. Levyjä kilpailijoiden vastaaviin tuotteisiin vertailemalla huomataan, että toiminnaltaan levyt ovat keskenään hyvin samanlaisia. Pieniä eroja tuotteiden välillä kuitenkin on, mutta näyttäisi että CEWOOD -akustiikkalevy on toimivuudeltaan erittäin kilpailukykyinen (liite 6).

4.4 Luotettavuus

Tulosten luotettavuutta arvioitiin parittaisella t-testillä, jonka avulla selvitettiin johtuuko tuloksissa oleva ero otantavirheestä vai onko akustiikkalevyllä merkittävä vaikutus jälkikaiunta-ajan muutokseen. T-testistä saatavan p-arvon perusteella voidaan arvioida tuloksen merkittävyyttä. P-arvon ollessa alle 0,05 pidetään eroa riittävänä. Alle 0,001 suuruinen arvo tarkoittaa erittäin merkitsevää eroa. (Taanila 2016.)

T-testin tulosten perusteella voidaan sanoa, että yli 500 Hz:n taajuuksilla mittaustulokset ovat merkitseviä (liite 5). Matalammilla taajuuksilla hajonta oli suurempaa ja joissakin tapauksissa saatiin rakenteille jopa negatiivisia tuloksia. T-testin perusteella negatiiviset tulokset johtuvat todennäköisesti mittausten epätarkkuudesta. Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa myös mittaustulosten samankaltaisuus verrattaessa tuloksia vastaavien markkinoilla olevien tuotteiden mittauksiin.

Mittaukset pyrittiin tekemään mahdollisimman tarkasti standardin vaatimusten mukaan. Suurimmilta osin mittaukset pystyttiin toteuttamaan standardin mukaisesti, mutta muutamia poikkeuksiakin jouduttiin tekemään. Vaikka tila olikin kaikuisa, niin tyhjän tilan jälkikaiunta-aika jäi hieman toivottua lyhemmäksi. Tästä syystä standardissa kaiuntahuoneelle asetettu maksimi ekvivalentti absorptioala ylittyi hieman (liite 3, taulukko 2). Tilan muoto oli myös hieman liian suorakaidemainen, mikä osittain vaikeutti diffuusin äänikentän saamista tilaan. Hajonta matalilla taajuuksilla johtuikin varmasti osittain näistä poikkeuksista. Korkeammilla taajuuksilla mittaustulokset olivat kuitenkin toivotunlaisia ja vertailukelpoisia muiden valmistajien tuotteilleen suorittamiin mittaustuloksiin.

5 Huonevaimennusesimerkki

Akustiikkalevyjen asentaminen tilaan laskee toki tilan jälkikaiunta-aikaa, mutta saa myös tilan äänenpainetasoa alenemaan. Tässä laskuesimerkissä käytetään apuna aikaisemmin Karelia - Ammattikorkeakoulussa tehtyä opinnäytetyötä, jossa Joensuun kuntokeitaalle tehtiin melututkimus. Laskuissa käytetään mitattuja jälkikaiunta-aikoja (liite 7), joiden avulla voidaan laskea miten tutkitun akustiikkalevyn asentaminen keilahalliin vaikuttaisi tilan äänenpainetasoihin ja jälkikaiunta-aikaan. Kun tiedetään tilan tilavuus V ja jälkikaiunta-aika T , niin voidaan laskea tilan absorptioala A Sabinen kaavan avulla (kaava 4). Lasketaan esimerkkinä 2000 Hz:n jälkikaiunta-ajan muutos:

$$A = 0,16 * \frac{2240 \text{ m}^3}{1,48 \text{ s}}$$

$$= 242,2 \text{ m}^2$$

Lisätään tähän absorptioalaan, akustiikkalevyn asentamisesta tilan seinäpintoihin, lisääntynyt absorptioala. Esimerkissä käytetään SuperFine -levyä.

$$\text{absorptiosuhde } \alpha_s = 0,95$$

$$\text{asennettavien levyjen ala } A = 154 \text{ m}^2$$

$$A = 242,2 \text{ m}^2 + (0,95 * 154 \text{ m}^2)$$

$$= 388,5 \text{ m}^2$$

Seuraavaksi lasketaan uusi jälkikaiunta-aika

$$T = 0,16 * \frac{2240 \text{ m}^3}{388,5 \text{ m}^2}$$

$$= 0,92 \text{ s}$$

Absorptioalan avulla voidaan vielä laskea huonevaimennuksen muutos, eli kuinka paljon äänenpainetaso laskee tilassa levyn asentamisen jälkeen. Huonevaimennus lasketaan kaavan 6 avulla:

$$10\lg\left(\frac{388,5 \text{ m}^2}{4}\right) - 10\lg\left(\frac{242,2 \text{ m}^2}{4}\right)$$

$$= 2,05 \text{ dB}$$

Taulukko 4. Akustiikkalevyn asennuksen vaikutus keilahallin jälkikaiunta-aikoihin ja äänenpainetasoon. T_{ennen} arvot liitteestä 7. (Bies 2011.)

Freq. [Hz]	α_s	T_{ennen}	$T_{\text{jälkeen}}$	Muutos [dB]
125	0,07	1,29	1,24	0,17
250	0,15	1,43	1,31	0,38
500	0,45	1,48	1,15	1,09
1000	0,59	1,42	1,04	1,34
2000	0,95	1,48	0,92	2,05
4000	0,73	1,24	0,89	1,43

Laskujen perusteella akustiikkalevyllä saataisiin hyvin parannettua keilahallin akustiikkaa. Tilan jälkikaiunta-ajat lyhentyisivät ja äänenpainetaso laskisi alemmaksi varsinkin korkeammilla taajuuksilla. 2000 Hz:n taajuudella äänenpainetaso laskisi yli 2 dB, mikä on jo huomattava parannus näinkin pienellä määrällä akustiikkalevyä. Vielä parempia tuloksia voitaisiin saavuttaa asentamalla levyä myös keilahallin kattoon, jolloin saataisiin enemmän absorptioalaa tilaan.

6 Pohdinta

Tavoitteena tässä opinnäytetyössä oli tarkastella akustiikkalevyn toimintaa eri rakenneratkaisuja käyttämällä ja vertailla niiden absorptio-ominaisuuksia. Ennen mittauksia osattiinkin jo olettaa, että kivivillan hyödyntämisellä saadaan matalien taajuuksien absorbointia paremmaksi, jonka mittaukset vahvistivat. Ilmavälillä kuviteltiin myös olevan suurempi vaikutus matalien taajuuksien absorboinnin parantamiseen, minkä vaikutuksen vähyys tuloksiin tuli hiukan yllätyksenä.

Mittaukset pyrittiin tekemään mahdollisimman tarkasti standardin mukaan ja käytetyt mittalaitteet olivat asianmukaisia. Mittaukset suoritettiin useasta paikasta ja laskuissa käytettiin standardissa olleita kaavoja. Kaiunta huoneeseen ei saatu tuotettua aivan diffuusia äänikenttää, vaan mittauspisteiden välillä oli hajontaa varsinkin matalilla taajuuksilla. Tähän vaikutti varmasti huoneen suorakaidemainen muoto, jolloin tilaan saattoi jäädä seisovia aaltoja. Näitä yritettiin eliminoida jättämällä mm. kaapinovia auki kulmittain.

Mittauksista saatuja tuloksia voidaan pitää luotettavina yli 500 Hz taajuuksilla. Luotettavuutta lisää tulosten samankaltaisuus muiden valmistajien vastaaviin tuotteisiin verrattuna. Tätä matalammillakin taajuuksilla tulokset ovat varmasti oikean suuntaisia ja mittauksien avulla rakenteiden vertailu onnistui hyvin. Myös tilassa tehdyt aistinvaraiset huomiot tukivat levyn toimivuutta. Akustiikkalevyjen ollessa tilassa tilan kaikuisuus aleni huomattavasti ja puheen selkeys parani.

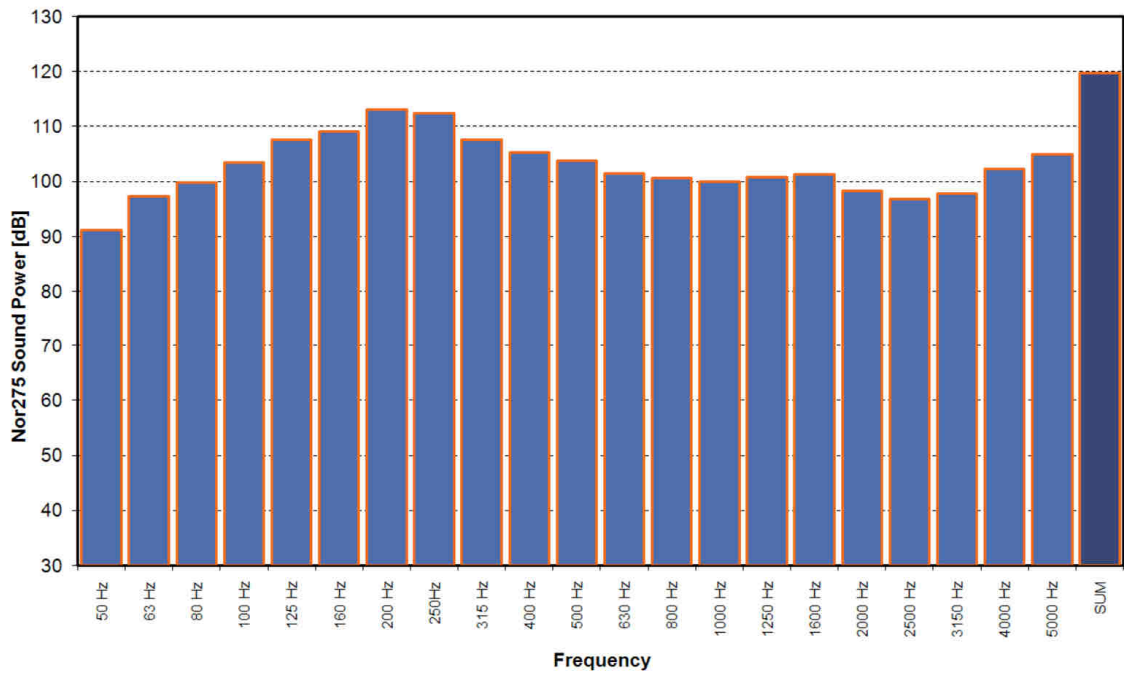
Opinnäytetyössä tutkittiin vain yhdenpaksuista akustiikkalevyä, joiden lastupaksuudet olivat lähellä toisiaan. Jatkotutkimuksena voisi selvittää kuinka paljon akustiikkalevyn paksuudella on vaikutusta absorptio ominaisuuksiin. Myös tarkempia laboratoriomittauksia voisi suorittaa eri rakenteille, joissa myös matalien taajuuksien absorbointia voitaisiin tutkia tarkemmin.

Lähteet

1. Kylliäinen, M. Talonrakentamisen akustiikka. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. 2006.
2. RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2007
3. ISO 354:2003. Akustiikka. Ääniabsorption mittaaminen kaiuntahuoneessa. Helsinki. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2003.
4. CEWOOD acoustic panels. 2018.
http://media.voog.com/0000/0039/1555/files/CW_ENG_TechInfo-CW-W.pdf [luettu 6.5.2018]
5. Paroc. Akustiikka. Äänen absorptiokäyrät. 2016.
<http://www.paroc.fi/-/media/files/brochures/finland/acoustic-sound-curves-fi.ashx?la=fi-fi> [luettu 6.5.2018]
6. Knauf. Heradesing product data. Sound absorption values. 2016.
https://www.knauf.fi/fileadmin/user_upload/tuotekortit/Heradesign/PD BL_Heradesign-superfine_12-2016_EN.pdf [luettu 6.5.2018]
8. Norsonic. Hemi-dodecahedron loudspeaker Nor275. 2018
<https://web2.norsonic.com/product/hemi-dodecahedron-loudspeaker-nor275/> [luettu 6.5.2018]
9. Bies, J. Keilahallin melumittaus. Karelia - Ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2011.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2011060110689> [6.5.2018]
10. Taanila, A. Kahden riippuvan otoksen vertailu. Akin menetelmäblogi. 27.4.2016. <https://tilastoapu.wordpress.com/tag/parittaisten-otosten-testi/>. [luettu 6.5.2018.]

Liitteet

Liite 1. Nor275 äänilähteen teho eri taajuuksilla. (Norsonic 2018.)



Liite 2. CEWOOD-akustiikkalevy. (Cewood 2018.)



CEWOOD, SIA
Galdusalas-1, Jaunlaicenes pagasts, Alūksnes novads, LV-4336
Mob.: +371 29 16 33 16; E-mail: ingars.udris@cewood.com
Mob.: +371 26 25 10 96; E-mail: viktors.korzenevics@cewood.com

DECORATIVE / ACOUSTIC PANELS

CEWOOD panels for acoustic and decorative use manufactured from 1,0 or 1,5 mm wood wool and mainly white Portland cement. Environmental friendly natural material, easy handiness, excellent sound absorption, good thermal insulation and much better thermal inertia.



Description code according to standard EN 13168:

25 mm panels – WW-13168-L4-W2-T2-S2-P2-CS(10)300-BS1300-CI2-MUS

Application:

- For ceiling and wall covering in offices, administration buildings, schools, kindergartens, events halls, gymnasiums, sports halls, swimming pools and recreation facilities, farms, etc.
- Appropriate for using in not heated premises, space under the roof, basements, underground garage, etc.

TECHNICAL DATA

CEWOOD code		CW-W25F105	CW-W25S115	CW-G25S115
Thickness	mm	25	25	25
Length	mm	2400; 1200; 600	2400; 1200; 600	2400; 1200; 600
Width	mm	600	600	600
Weight	kg/m ²	10,50	11,50	11,50
Density	kg/m ³	420	460	460
1 m ³ field	m ²	40	40	40
Thermal resistance (Ro)	m ² ·K/W	0,35	0,35	0,35
Thermal conductivity (λD)	W / m·K	0,066	0,066	0,066
Specific heat (c)	J/(kg·K)	2100	2100	2100
Minimum level of tensile strength:				
• Bend (EN 12089)	kPa	≥ 1300	≥ 1300	≥ 1300
• Compression (EN 826)	kPa	≥ 300	≥ 300	≥ 300
Chloride content (EN 13168)	%	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.15
Reaction to fire (EN 13501-1:2007)		B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0

Colors and profiles: CEWOOD panels can be supplied natural, white painted or painted in any RAL color upon customer request. Panales can be profiles as well.

General packaging information: CEWOOD panels are placed on 2400x600 or 1200x1200 mm wooden pallets, with cardboard on top and corners, plastic film around pallets.

Liite 3. SuperFine-levyn mittaukset.

Taulukko 1. Yhteenvedo mittauksista

Yhteenvedo SuperFine 1 mm Levy												18.4		Pinta-ala A		10,55 m ²	
Mittalaite: Nor140				RH% = 29				t = 21				°C					
Freq. [Hz]	Tyhjä Tila:		Levy Katossa:		50mm ilmarako		200mm ilmarako		50mm villa		50mm villa+150mm ilr						
	T _{keskiTyhjä}	Kesk.Haj	T _{AvgKatossa}	Kesk.Haj	T _{Avg50mm}	Kesk.Haj	T _{Avg200mm}	Kesk.Haj	T _{Avg50villm}	Kesk.Haj	T _{Avg50+150m}	Kesk.Haj					
100	1,72	0,59	1,39	0,54	1,35	0,43	1,23	0,29	1,16	0,25	1,37	0,68					
125	1,06	0,20	1,03	0,27	1,01	0,18	1,23	0,42	0,98	0,42	1,02	0,22					
160	1,18	0,14	1,28	0,26	1,15	0,12	1,12	0,11	0,96	0,09	0,88	0,14					
200	1,26	0,39	1,24	0,28	1,06	0,13	1,09	0,22	0,80	0,09	1,06	0,48					
250	1,15	0,15	1,14	0,26	1,06	0,17	0,90	0,13	0,72	0,12	0,90	0,45					
315	1,35	0,36	1,08	0,15	1,08	0,16	0,96	0,14	0,67	0,11	0,66	0,11					
400	1,21	0,17	1,12	0,24	1,17	0,30	0,89	0,20	0,75	0,10	0,69	0,05					
500	1,23	0,17	0,99	0,06	0,96	0,14	0,86	0,12	0,68	0,04	0,64	0,12					
630	1,22	0,10	0,87	0,09	0,85	0,16	0,97	0,12	0,67	0,07	0,71	0,09					
800	1,12	0,14	0,89	0,11	0,83	0,08	1,00	0,14	0,77	0,14	0,73	0,07					
1000	1,14	0,13	0,89	0,08	0,82	0,13	0,88	0,10	0,74	0,05	0,62	0,05					
1250	1,07	0,08	0,80	0,07	0,78	0,04	0,81	0,06	0,73	0,07	0,66	0,10					
1600	0,98	0,06	0,68	0,04	0,76	0,06	0,80	0,05	0,73	0,06	0,65	0,06					
2000	0,95	0,07	0,69	0,06	0,77	0,06	0,73	0,02	0,67	0,04	0,65	0,06					
2500	0,90	0,03	0,65	0,06	0,73	0,07	0,70	0,05	0,66	0,04	0,65	0,06					
3150	0,85	0,05	0,67	0,04	0,66	0,06	0,66	0,03	0,63	0,04	0,58	0,02					
4000	0,81	0,05	0,64	0,02	0,63	0,03	0,58	0,02	0,57	0,05	0,55	0,04					
5000	0,74	0,05	0,59	0,03	0,58	0,02	0,56	0,02	0,56	0,05	0,54	0,06					

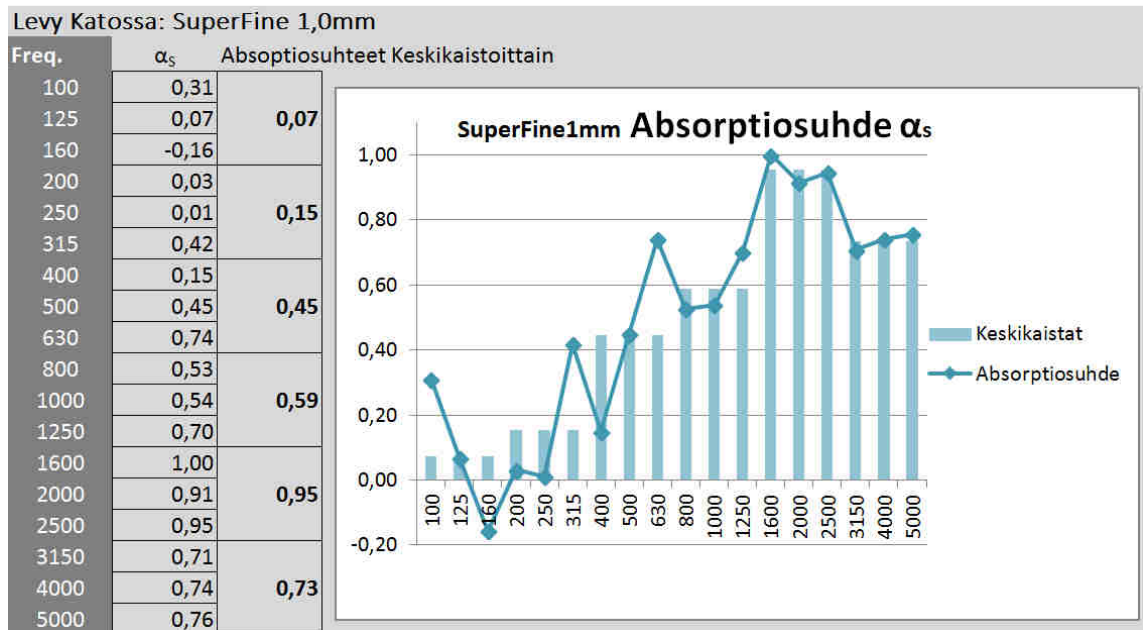
Taulukossa 1 listattuna jälkikaiunta-aikojen keskiarvot ja -hajonnat taajuuksittain.

Taulukko 2. Ekvivalentit absorptioalat

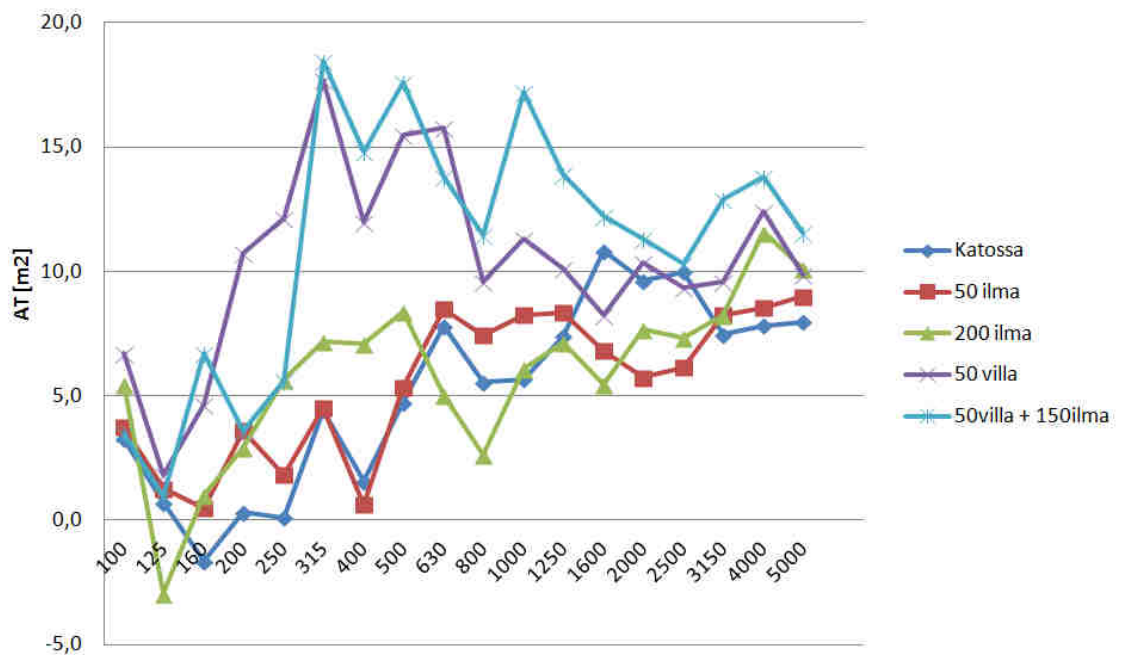
Freq. [Hz]	Tyhjä Tila:		Levy Katossa:		50mm ilmarako		200mm ilmarako		50mm villa		50mm villa+150mm ilma	
	A1	Sallittu :	A2 _{katossa}	A _T	A2 _{50ilma}	A _T	A2 _{200mm}	A _T	A2 _{50villa}	A _T	A2 ₅₀₊₁₅₀	A _T
100	13,7	5,3	17,0	3,3	17,4	3,7	19,2	5,5	20,4	6,7	17,2	3,5
125	22,1	5,3	22,9	0,7	23,4	1,3	19,2	-3,0	24,0	1,8	23,1	1,0
160	20,0	5,3	18,3	-1,7	20,4	0,5	20,9	1,0	24,6	4,6	26,7	6,7
200	18,6	5,3	18,9	0,3	22,2	3,6	21,5	2,9	29,4	10,7	22,2	3,6
250	20,4	5,3	20,5	0,1	22,2	1,8	26,0	5,6	32,5	12,1	26,0	5,6
315	17,2	5,3	21,7	4,4	21,7	4,5	24,4	7,2	34,9	17,7	35,7	18,4
400	19,3	5,3	20,8	1,6	19,9	0,6	26,4	7,1	31,2	12,0	34,1	14,8
500	18,9	5,3	23,6	4,7	24,2	5,3	27,2	8,4	34,4	15,5	36,5	17,6
630	19,0	5,3	26,8	7,8	27,5	8,5	24,0	5,0	34,7	15,8	32,8	13,8
800	20,5	5,3	26,1	5,6	28,0	7,4	23,2	2,6	30,1	9,6	32,0	11,5
1000	20,1	5,7	25,8	5,7	28,3	8,2	26,2	6,1	31,4	11,3	37,3	17,2
1250	21,2	6,1	28,7	7,4	29,6	8,4	28,4	7,1	31,4	10,1	35,2	13,9
1600	22,8	6,5	33,7	10,8	29,7	6,8	28,3	5,4	31,1	8,2	35,1	12,2
2000	23,0	7,7	32,6	9,6	28,7	5,7	30,6	7,7	33,3	10,4	34,3	11,3
2500	23,5	8,6	33,5	10,0	29,7	6,2	30,9	7,3	32,9	9,4	33,9	10,3
3150	23,5	9,8	30,9	7,5	31,7	8,2	31,7	8,2	33,1	9,6	36,4	12,9
4000	22,8	10,6	30,6	7,8	31,3	8,5	34,4	11,6	35,2	12,4	36,6	13,8
5000	22,2	11,4	30,2	8,0	31,2	9,0	32,3	10,1	32,1	9,9	33,7	11,5

Taulukosta 2 huomataan, että tyhjän huoneen jälkikaiunta-aikojen olisi pitänyt olla huomattavasti pidemmät, jotta olisi päästy standardin mukaiseen kaiunta-huoneen maksimi ekvivalentti absorptioalaan. Tästä huolimatta tulokset olivat odotetunlaisia.

Taulukko 3. SuperFine-levyn absorptiosuhteet.



SuperFine 1mm Levyn Absorptio ala



Kuva 1. Ekvivalentit absorptioalat 1/3-oktaavikaistoittain.

Liite 4. Fine-levyn mittaukset.

Taulukko 1. Yhteenvedo mittauksista

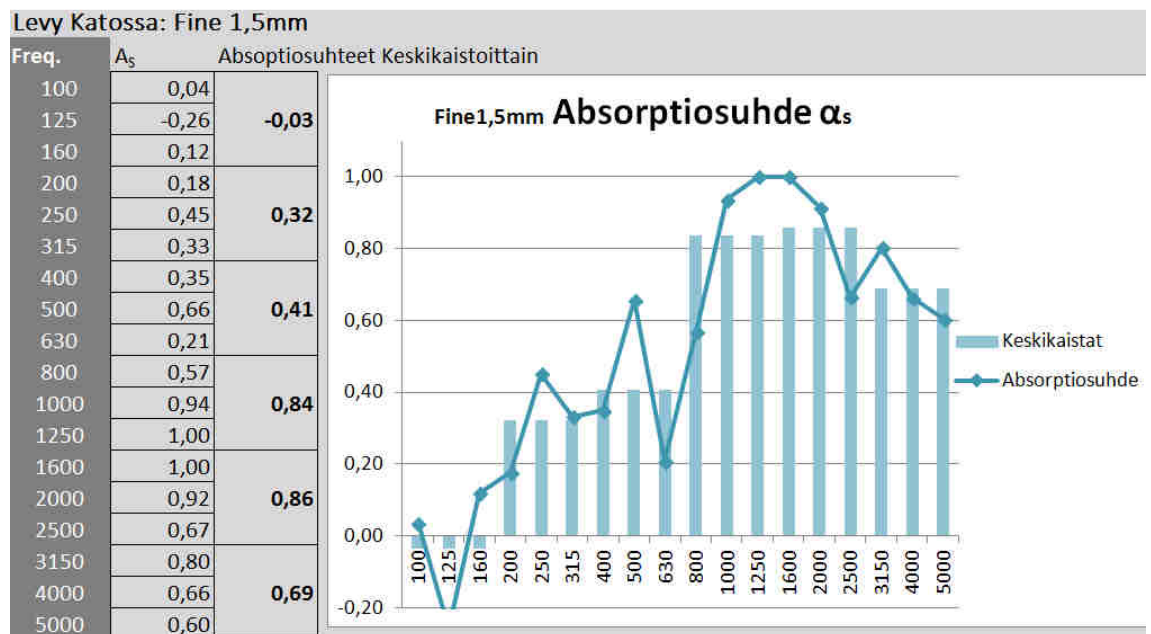
Yhteenvedo Fine1,5mm Levy													
19.4													
Pinta-ala A 10,55 m ²													
Mittalaite: Nor140													
RH% = 29													
t = 21 °C													
Freq. [Hz]	Tyhjä Tila:		Levy Katossa:		50mm ilmarako		200mm ilmarako		50mm villa		50mm villa+150mm ilma		
	T _{keskiTyhjä}	Kesk.Haj	T _{AvgKatossa}	Kesk.Haj	T _{Avg50mm}	Kesk.Haj	T _{Avg200mm}	Kesk.Haj	T _{Avg50villmm}	Kesk.Haj	T _{Avg50+150m}	Kesk.Haj	
100	1,24	0,34	1,22	0,28	1,30	0,47	1,16	0,36	1,06	0,25	1,12	0,39	
125	1,13	0,16	1,30	0,21	1,00	0,49	0,88	0,15	1,10	0,20	1,07	0,30	
160	1,28	0,28	1,20	0,34	1,16	0,18	1,02	0,15	0,94	0,19	0,86	0,14	
200	1,29	0,27	1,17	0,19	1,03	0,16	1,22	0,18	0,91	0,10	0,98	0,23	
250	1,38	0,11	1,08	0,17	1,05	0,15	1,12	0,21	0,72	0,08	0,79	0,14	
315	1,25	0,25	1,05	0,12	0,98	0,16	0,96	0,13	0,79	0,12	0,83	0,14	
400	1,27	0,15	1,06	0,20	1,07	0,14	0,87	0,10	0,62	0,08	0,63	0,12	
500	1,24	0,09	0,91	0,08	0,97	0,12	0,87	0,05	0,70	0,15	0,71	0,13	
630	1,14	0,11	1,03	0,10	0,83	0,08	0,89	0,05	0,70	0,08	0,74	0,08	
800	1,17	0,09	0,90	0,04	0,79	0,09	0,96	0,10	0,70	0,09	0,74	0,08	
1000	1,13	0,06	0,77	0,10	0,82	0,06	0,87	0,12	0,78	0,10	0,67	0,05	
1250	1,11	0,04	0,72	0,07	0,77	0,07	0,80	0,06	0,73	0,10	0,67	0,06	
1600	1,06	0,06	0,70	0,03	0,75	0,07	0,79	0,05	0,70	0,06	0,67	0,03	
2000	0,97	0,05	0,70	0,03	0,76	0,07	0,78	0,06	0,70	0,08	0,68	0,03	
2500	0,91	0,04	0,72	0,05	0,74	0,06	0,71	0,05	0,68	0,04	0,66	0,04	
3150	0,90	0,06	0,68	0,05	0,66	0,04	0,67	0,04	0,65	0,04	0,61	0,04	
4000	0,77	0,03	0,62	0,05	0,58	0,04	0,58	0,05	0,58	0,04	0,58	0,03	
5000	0,68	0,07	0,57	0,04	0,55	0,04	0,55	0,04	0,57	0,05	0,56	0,03	

Taulukossa 1 listattuna jälkikaiunta-aikojen keskiarvot ja -hajonnat taajuuksittain.

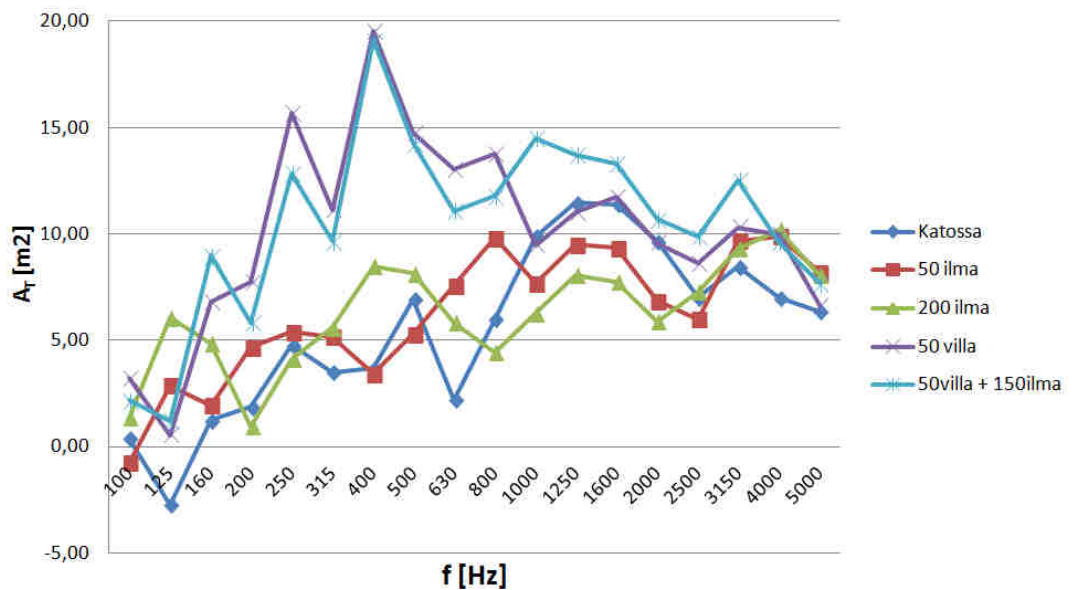
Taulukko 2. Ekvivalentit absorptioalat

Freq. [Hz]	Tyhjä Tila:		Levy Katossa:		50mm ilmarako		200mm ilmarako		50mm villa		50mm villa+150mm ilma	
	A1	Sallittu:	A2 _{katossa}	A _T	A2 _{50ilma}	A _T	A2 _{200mm}	A _T	A2 _{50villa}	A _T	A2 ₅₀₊₁₅₀	A _T
100	18,96	5,3	19,34	0,38	18,19	-0,77	20,34	1,38	22,18	3,22	21,14	2,18
125	20,79	5,3	18,06	-2,74	23,66	2,86	26,85	6,06	21,34	0,55	22,00	1,21
160	18,34	5,3	19,59	1,26	20,27	1,94	23,17	4,83	25,12	6,79	27,31	8,97
200	18,24	5,3	20,11	1,87	22,90	4,66	19,21	0,97	25,96	7,72	24,07	5,83
250	16,91	5,3	21,67	4,77	22,30	5,39	21,00	4,10	32,59	15,69	29,74	12,84
315	18,73	5,3	22,23	3,50	23,90	5,17	24,33	5,60	29,87	11,14	28,39	9,66
400	18,33	5,3	22,02	3,69	21,75	3,42	26,81	8,48	37,86	19,53	37,43	19,10
500	18,75	5,3	25,69	6,94	24,04	5,29	26,89	8,14	33,52	14,77	33,03	14,28
630	20,41	5,3	22,61	2,20	27,99	7,58	26,25	5,84	33,45	13,04	31,50	11,09
800	19,72	5,3	25,72	6,00	29,53	9,81	24,15	4,44	33,48	13,76	31,50	11,78
1000	20,33	5,7	30,21	9,88	28,01	7,69	26,59	6,27	29,81	9,48	34,82	14,49
1250	20,48	6,1	31,94	11,46	29,98	9,50	28,55	8,07	31,49	11,01	34,19	13,72
1600	20,93	6,5	32,33	11,40	30,28	9,35	28,68	7,74	32,68	11,75	34,25	13,32
2000	22,39	7,7	32,04	9,65	29,23	6,85	28,27	5,88	31,97	9,58	33,09	10,70
2500	23,25	8,6	30,27	7,02	29,24	5,99	30,53	7,28	31,86	8,61	33,13	9,88
3150	22,02	9,8	30,49	8,47	31,70	9,68	31,31	9,29	32,33	10,31	34,56	12,54
4000	24,36	10,6	31,36	7,00	34,25	9,89	34,55	10,20	34,35	9,99	33,99	9,63
5000	25,10	11,4	31,46	6,36	33,28	8,19	33,17	8,08	31,77	6,67	32,79	7,69

Taulukko 3. Fine-levyn absorptiosuhteet.



Fine 1,5mm Levyn Ekvivalentit Absorptioalat



Kuva 1. Ekvivalentit absorptioalat 1/3-oktaavikaistoittain.

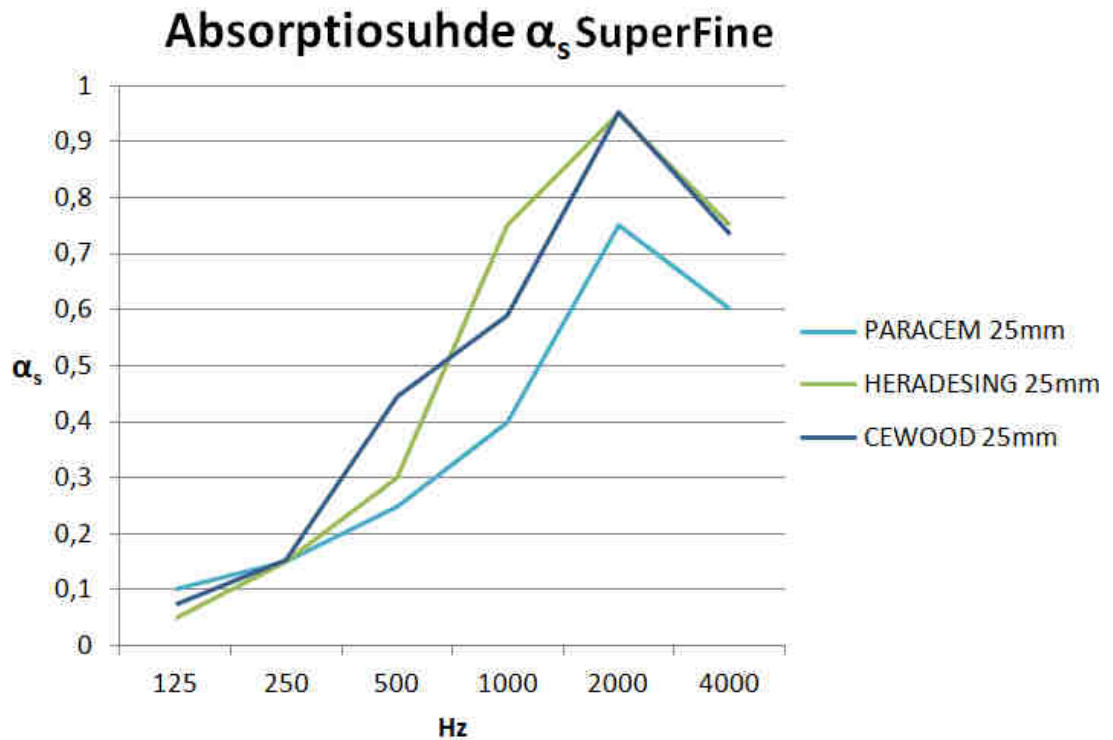
Liite 5. T-testin tulokset

Taulukko 1. T-testin tulokset.

Levy katossa SuperFine		Levy katossa Fine	
Frequency [Hz]	T-testi p	Frequency [Hz]	T-testi p
100	0,04	100	0,889
125	0,47	125	0,059
160	0,22	160	0,824
200	0,46	200	0,214
250	0,47	250	0,013
315	0,07	315	0,153
400	0,23	400	0,049
500	0,009	500	0,000
630	0,000	630	0,128
800	0,015	800	0,000
1 000	0,004	1 000	0,000
1 250	0,000	1 250	0,000
1 600	0,000	1 600	0,000
2 000	0,000	2 000	0,000
2 500	0,000	2 500	0,000
3 150	0,000	3 150	0,000
4 000	0,000	4 000	0,000
5 000	0,000	5 000	0,027

Tulosten perusteella voidaan sanoa mitausten olevan merkitseviä yli 500 Hz taajuuksilla. Ero on merkittävä kun p arvo on alle 0,001. P-arvon ollessa alle 0,05 voidaan eroa pitää riittävänä.

Liite 6. Vertailu kilpaileviin tuotteisiin.



Kuva 1. CEWOOD akustiikkalevyn absorptiosuhteiden vertailua kilpaileviin tuotteisiin. (Paroc 2016, 16; Knauf 2016, 4.)

Kilpailevien tuotteiden absorptiosuhteet löytyivät valmistajien sivuilta. Eroavaisuudet tuotteiden välillä ovat hyvinkin pieniä, jotka voivat selittyä pelkästään mittausten välisistä epätarkkuuksista. Näin ei voida luotettavasti sanoa onko levyt toisiaan parempia. Tutkittu akustiikkalevy näyttäisi kuitenkin pärjäävän hyvin kilpailijoiden rinnalla.

Liite 7. Keilahallin jälkikaiunta-ajat.

Taulukko 1. Jälkikaiunta-ajat keilahallista (Bies 2011, 27.)

Taajuus	T1	T2
[Hz]	[s]	[s]
50	1,39	0,95
63	1,07	0,90
80	1,26	1,10
100	1,51	1,36
125	1,44	1,29
160	1,17	1,34
200	1,43	1,62
250	1,38	1,43
315	1,47	1,73
400	1,46	1,51
500	1,38	1,48
630	1,43	1,59
800	1,44	1,38
1000	1,39	1,42
1250	1,43	1,32
1600	1,37	1,56
2000	1,51	1,48
2500	1,34	1,34
3150	1,25	1,27
4000	1,13	1,24
5000	0,96	1,00