

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jukka Koikkalainen

CLT-tilaelementtien ilma- ja askelääneneristävyys

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
(013) 260 600

Tekijä(t)
Jukka Koikkalainen

Nimeke
CLT-tilaelementtien ilma- ja askelääneneristävyys

Toimeksiantaja
Karelia-amk

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia CLT-tilaelementtien ilma- ja askelääneneristävyttä välipohjassa erilaisilla välipohjarakenteilla ja eristevaihtoehdoilla ja tutkia metallisten kiinnikelevyjen vaikutusta ilma- ja askelääneneristävyteen elementtien välisessä seinässä. Tutkimus on jatkoa vuosi sitten valmistuneeseen opinnäytetyöhön ja käytössä ovat samat kaksi Elementti Sampon toimittamaa CLT-tilaelementtiä. Tutkimuksista saaduilla tuloksilla pyritään valaisemaan kyseisen elementtityypin akustisia ominaisuuksia.

Elementeille tehdyt tutkimukset suoritettiin suurelta osin Karelia-Ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa, poikkeuksena elementtien välisen välipohjan mittaukset, jotka suoritettiin koulun piha-alueella tilanpuutteen vuoksi.

Karelia-Ammattikorkeakoulu kustansi mittauksiin tarvittavan laitteiston ja tarvikkeet sekä elementtien siirtelyyn tarvittavan haalauspalvelun. Tilaelementit jäivät koulun tiloihin muita mittauksia varten.

Käytetyt tutkimusmenetelmät noudattavat SFS-EN ISO 16283-1 ja SFS-EN ISO 16283-2 sekä ISO 717-1 ja ISO 717-2 mukaista mittausta. Tuloksista ilmeni, että kiinnikelevyjen asentaminen vaikuttaa heikentävästi rakenteiden ääneneristävyteen ja eristemattojen käyttäminen tilaelementtien välissä parantaa ääneneristävyttä huomattavasti.

Kieli
suomi

Sivuja 33
Liitteet 5
Liitesivumäärä 12

Asiasanat

CLT, Askelääni, Ilmaääni, Taajuus, Ilmaääneneristävyys, Askelääneneristävyys, R'_w , L'_n



THESIS
May 2017
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
FINLAND
(013) 260 600

Author (s)
Jukka Koikkalainen

Title
Airborne and Impact Sound Insulation of CLT Units

Commissioned by
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The aim of this thesis was to investigate airborne and impact sound insulation between Cross Laminated Timber units in floors with two kinds of insulation materials and to determine the effect of steel plates on airborne and impact sound insulation in the partition wall between the CLT units. This thesis is a continuation of a thesis written a year before and it studies the same two CLT units supplied by Elementti Sampo. The Results of this study will enlighten the acoustic features of this kind of CLT units.

Studies conducted on the CLT units were mostly performed in Karelia University of Applied Sciences laboratory except for measurements on the floors which were performed outside due to the lack of space.

Equipment, services and materials needed for the studies were sponsored by Karelia University of Applied Sciences. The CLT units will remain in the university's laboratory for further studies.

The research methods used complied with standards SFS-EN ISO 16283-1, SFS-EN ISO 16283-2, ISO 717-1 and ISO 717-2. The Results show that attaching steel plates reduces sound insulation of the structure and using insulation material between CLT units improves the sound insulation results significantly.

Language

Finnish

Pages 33

Appendices 5

Pages of Appendices 12

Keywords

CLT, impact sound, airborne sound, frequency, airborne sound insulation, impact sound insulation, R'_w , L'_n , Cross Laminated Timber

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön laajuus ja toimeksiantaja	6
1.2	Opinnäytetyön tavoite ja tehtävät	6
1.3	Opinnäytetyön aikataulu ja kustannukset.....	7
2	CLT yleisesti.....	8
2.1	CLT rakenteena	8
2.2	CLT:n käyttö Suomessa.....	9
2.3	CLT:n ääneneristävyyden aiemmat tutkimukset.....	9
3	Ääni ja sen ominaisuudet.....	11
3.1	Ilmaääneneristävyys	11
3.1.1	Ilmaääneneristysluku R'_w	11
3.1.2	Ilmaääneneristysluvun laskeminen	12
3.2	Askelääneneristävyys	13
3.2.1	Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$	14
3.2.2	Askeläänitasoluvun laskeminen	14
3.3	Resonanssi-ilmiö.....	15
3.4	Koinsidenssi-ilmiö.....	15
3.5	Massalaki	16
3.6	Akustiikan määräykset ja ohjeet	17
4	Mittaaminen	18
5	Tulokset.....	26
5.1	Ilmaääneneristävyydet	26
5.1.1	Välipohjien ilmaääneneristävyys.....	26
5.1.2	Väliseinien ilmaääneneristävyys.....	26
5.2	Askelääneneristävyys	27
5.2.1	Välipohjien askelääneneristävyys.....	27
5.2.2	Väliseinien askelääneneristävyys	27
6	Johtopäätökset	29
7	Pohdinta.....	31
	Lähteet	32

Liitteet

Liite 1	Välipohjien leikkauskuvat
Liite 2	Välipohjien ilmaääneneristävyys
Liite 3	Väliseinien ilmaääneneristävyys
Liite 4	Välipohjien askelääneneristävyys
Liite 5	Väliseinien askelääneneristävyys

Käsitteet

1/3 -oktaavikaista	Tarkoittaa taajuuskaistoja, joiden keskitaajuudet ovat ...1; 1,25; 1,6; 2... 40; 50; 63; 80 (Hz) [17, s. 10].
Absorptio	Tarkoittaa äänienergian muuttumista toiseksi energiamuodoksi, kuten lämmöksi äänen edetessä väliaineessa.
Askelääni	On muihin tiloihin ja kuuluva runkoääni, joka muodostuu esim. lattialla tai portaissa kävelemisestä tai tavaroiden siirtelystä. [3, s. 2]
CLT	On rakenteeltaan levymäinen, massiivipuusta valmistettu ja vähintään kolmesta ristikkäin liimatusta puulevykerroksesta koostuva rakennusmateriaali. Cross Laminated Timber. [10]
Desibeli	On äänenpainetason yksikkö (dB). [1]
Ilmaääni	Tarkoittaa ilman välityksellä ympäristöön leviävää ääntä. [3, s. 2]
Jälkikaiunta-aika	Tarkoittaa aikaa, jona äänenpainetaso alenee alle 60 dB:iin. [3, s. 2]
Kaiunta	On äänen heijastumaa jonkin aineen pinnasta.
Runkoääni	Tarkoittaa kappaleessa mekaanisesti kulkevaa värähtelyä, joka aiheuttaa ilmaääntä.
Taajuus	Taajuus eli frekvenssi on värähtelyn yksikkö, jota käytetään äänen taajuuden yksikkönä. Ilmoittaa värähtelyn määrät sekunnissa. Taajuuden yksikkö on hertsi (Hz). [5]
Värähtely	Tarkoittaa säännöllistä edestakaista liikettä eli värähdysliikettä.

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön laajuus ja toimeksiantaja

Keväällä 2016 aloitin etsimään, kyselemään ja tutkimaan tarjolla olevia opinnäytetyön aiheita. Pian tarjoutuikin mahdollisuus tutkia CLT-tilaelementtien akustisia ominaisuuksia. Kyseessä oli koulun laboratoriossa olevat CLT-tilaelementit, jotka Elementti Sampo oli toimittanut koululle vuotta aiemmin ja joita muutama muukin opiskelija oli opinnäytetöissään aiemmin tutkinut ilmaääneneristävyyden osalta. Oma opinnäytetyöni tulikin olemaan jatkoa jo tehdylle tutkimukselle. Tutkimustyö alkoi 31.5.2016 aloituspalaverilla, jossa hahmoteltiin tehtävän tutkimuksen laajuutta ja aikataulutusta.

Kevään ja kesän ajan tein tutkimusta yhteistyössä ranskalaisen vaihto-opiskelijan kanssa. Näissä mittauksissa tutkimme CLT-tilaelementtien välipohjien ääneneristävyyttä ja elementtien väliin asetettavan ääneneristysmaton vaikutusta elementtien ilma- ja askelääneneristävyyteen. Saimme testattavaksemme kahta erilaista eristemattoa ja lisäksi teimme kontrollitestin ilman minkäänlaista eristettä. Tutkimme myös väliseinän ääneneristävyyttä ja sitä, kuinka elementtien kiinnitykseen tarkoitetut metallilevyt vaikuttavat ääneneristävyyteen. Jouduin kuitenkin uusimaan levyillä tehdyt mittaukset kokonaisuudessaan syksyllä, sillä mittaukset tehtiin ilman levyjen taustalle tulevaa eristemattoa. Lisäksi levyillä tehtävät mittauksen tulokset eivät tallentuneet askelääneneristävyyden osalta, joten mittausten uusiminen oli tästäkin syystä perusteltua.

1.2 Opinnäytetyön tavoite ja tehtävät

Opinnäytetyön tavoite oli tutkia elementtien välisen ääneneristymättömän vaikutusta yläpohjan ääneneristävyyteen ja tutkia elementtien välisten kiinnikkeiden vaikutusta elementtien välisten seinien ääneneristävyyteen. Tuloksista nähdään, kuinka suuri merkitys elementtien väliin asennettavalla eristemattolla on rakenteen ääneneristävyyteen ja kuinka elementtien väliset kiinnikkeet ja niiden

määrä vaikuttavat väliseinien ääneneristävyyteen. Välipohjien osalta tutkimuksessa luotiin kuusi erilaista tilannetta, joissa kaikista mitattiin sekä ilmaääneneristävyys että askelääneneristävyys. Väliseinien osalta tapauksia oli yhteensä 20 ja näistäkin mitattiin ilmaääneneristävyyden lisäksi myös askelääneneristävyys.

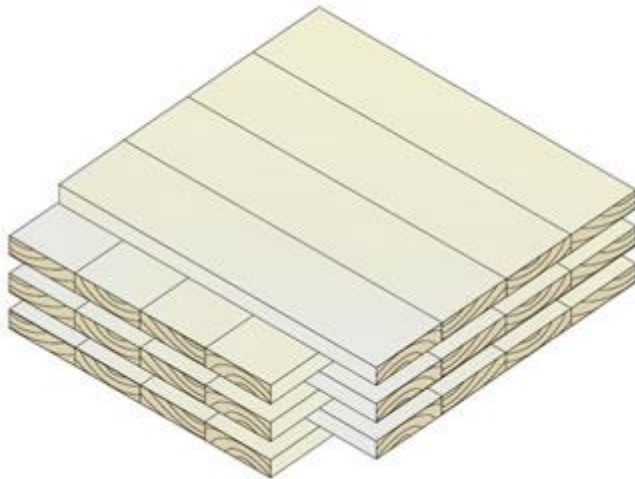
1.3 Opinnäytetyön aikataulu ja kustannukset

Aikataulusta sovimme niin, että työ olisi valmis keväälle 2017. Tilaelementit ja tarvittavat työkalut ja laitteet tutkimukseen järjestäytyvät Karelia-ammattikorkeakoululta, joten tutkimuksen kulut jäivät vähäisiksi.

2 CLT yleisesti

2.1 CLT rakenteena

Ristiinlaminoidut massiivipuulevyt eli CLT-levyt ovat massiivipuusta valmistettuja rakennusmateriaaleja, jotka koostuvat ristikkäin liimatuista puulevykerroksista. Eripaksuisten puulevykerrosten määrä vaihtelee kolmesta ylöspäin levyn käyttötarkoituksen mukaan. CLT sopii käytettäväksi seinien, kattojen ja välipohjien runkorakennusmateriaalina. [10.]



Kuva 1. CLT:n rakenne [11]

CLT muokataan tehtaalla tarvittaviin tarkkoihin mittoihinsa yleensä CNC-koneistusta hyödyntäen [12]. Tehtaalta valmis CLT-levy siirtyy usein elementtituottajien kautta rakennusliikkeille ja rakennuttajille. Koko prosessin ajan tuote pidetään kuivana. [9.] CLT:n etuihin lukeutuu myös se, että elementti toimii itsessään sekä kantavana rakenteena että jäykisteenä. Massiivipuuisena rakenteena CLT on paloturvallisuuden kannalta toimiva puurakentamisen vaihtoehto. Massiivipuuisen rakenteen käyttäytyminen ja hiiltymisnopeus on arvioitavissa palotilanteessa, lisäksi puun pinnan hiiltymisen suojaa puun sisempiä osia palolta. [16] Koko Euroopan CLT- tuotanto on yli 500 tuhatta kuutiota vuodessa [9].

2.2 CLT:n käyttö Suomessa

Suomalaista puurakentamista on kehitetty 1990-luvulta lähtien yhteistyössä muiden EU-maiden kanssa erityisesti puukerrostalojen kohdalla ja rakennusten energiatehokkuutta silmällä pitäen. Suomessa tiukat palomääräykset ovat pitkään hidastaneet puun käyttöä rakennusten rungoissa ja julkisivussa monikerroksisia rakennuksia rakennettaessa. Vuonna 2011 palomääräyksiä muutettiin niin, että puun käyttö tuli mahdolliseksi 5–8 -kerroksisten asuin- ja työpaikkarakennusten rungoissa ja julkisivuissa. [13.] Puukerrostalojen rakentaminen onkin lisääntynyt ympäri Suomea huomattavasti 2010-luvulla, ja mm. Joensuu on saamassa ensimmäisen CLT-tilaelementein toteutetun puukerrostalon kesäkuussa 2017 [14].

CLT-tekniikka on yleistymässä puukerrostalorakentamisessa ja Suomessa sen käyttöä on ajanut huomattavasti eteenpäin StoraEnso, joka tuo maahan Itävallassa valmistettua CLT:tä. Saatavilla on myös jo täysin kotimaista CLT-tuotetta, jota tuottaa Kuhmossa sijaitseva Oy Crosslam Kuhmo Ltd. ja Alajärvellä sijaitseva HOISKO CLT (CLT Finland Oy). Myös Kauhajoelle ollaan avaamassa CLT-tehdasta. Juurikin puukerrostalorakentamiseen jalansijaa on saanut CLT-runkoon perustuva tilaelementtitekniikka, jossa tilat saadaan valmistettua hyvin pitkälle tehtaalla kuivissa olosuhteissa. Pitkälle tuotetut elementit ovat nopea asentaa työmaalla ja näin ollen rakentamisaika lyhenee ja rakentamisen kokonaiskustannukset teoriassa alenevat. [13.]

Puukerrostaloja on pidetty yleisesti kodikkaina, viihtyisinä, sisäilmastoltaan hyvinä, paloturvallisina ja ilmastöneristävyydeltään hyvinä. Suoritettujen asukaskyselyiden mukaan huomiota tulee kuitenkin kiinnittää mm. keveiden välipohjien askelääneneristävyyteen. [13.]

2.3 CLT:n ääneneristävyyden aiemmat tutkimukset

CLT-tilaelementtien ääneneristävyydestä on olemassa jo valmiiksi muutama erilainen oppinäytetyö. Tämä nimenomainen tutkimus on kuitenkin jatkoa vuonna

2016 tehdylle tutkimukselle CLT-tilaelementtien ilmaääneneristävydestä [15]. Jani Hukka ja Mika Mustonen tutkivat työssään CLT-tilaelementtien väliseinien ilmaääneneristävyttä erilaisin eristeratkaisuin ja mittasivat tutkittavien elementtien ilmatiiviyttä asiaankuuluvuin kokein. Hukan ja Mustosen suorittaman tutkimuksen perusteella parhaaksi todettu eristeratkaisu otettiin käyttöön tämän tutkimuksen väliseinissä ilma- ja askelääneneristävyttä mitattaessa.

3 Ääni ja sen ominaisuudet

3.1 Ilmääneneristävyys

Ilmääneneristykseen tarkoituksena on vähentää erilaisten asioiden, kuten radion, television, soitinten tai ihmisten synnyttämää ilmaääntä siirtymästä toiseen huonetilaan. Huonetilaa rajaavat seinät, katto ja lattia värähtelevät niihin kohdistuvan ilmaäänien värähtelyn vaikutuksesta. Rakenteen värähtelyn vaikutuksesta alkaa toisen huonetilankin ilma värähtelemään. Tämä voidaan havaita toisessa huonetilassa ilmaääninä. Ilmääneneristävyys R [dB] määritellään rakenteen kohdanneen äänitehon ja sen toiselle puolelle siirtyneen äänitehon suhteen perusteella kaavan 1 mukaan. [7, s. 47.]

$$R = 10 \lg \frac{W_1}{W_2} \quad (1)$$

missä

R = ilmääneneristävyys, dB

W_1 = rakenteeseen kohdistuva ääniteho, dB

W_2 = rakenteen toiselle puolelle siirtynyt ääniteho, dB

Ilmääneneristävyyden ollessa 10 dB on toiseen tilaan välittyvä ääniteho yksi kymmenesosa rakenteeseen kohdistuvasta äänitehosta. Vastaavasti ilmääneneristävyyden ollessa 30 dB on vastaava arvo yksi tuhannesosa ja ilmääneneristävyyden ollessa 60 dB on välittyvä ääniteho yksi miljoonasosa alkuperäisestä. Myös äänen taajuus vaikuttaa rakenteen ilmääneneristävyyteen ja jokaisen rakenteen ilmääneneristävyydessä voidaan havaita rajataajuuksia, joilla rakenteiden käyttäytyminen muuttuu. Nämä rajataajuudet ovat riippuvaisia rakenteen massasta, paksuudesta ja jäykkyydestä. [7, s. 47.]

3.1.1 Ilmääneneristysluku R'_w

Ilmääneneristysluku on tilojen ja rakenteiden välistä ilmääneneristävyyttä kuvaava luku, joka saadaan vertailemalla taajuuskaistoittain mitattua ilmääneneristävyyttä standardoituun vertailukäyrään. Ilmääneneristysluvun

yksikkönä on desibeli (dB) ja laboratoriomittauksissa käytetty symboli on R_w . Rakennuksissa tehtävissä mittauksissa käytetään symbolia R'_w . [2, s. 8]

3.1.2 Ilmaääneneristysluvun laskeminen

Standardin SFS-EN ISO 16283-1 mukaan kolmannesoktaavikaistoittain laskettaessa suoritettujen mittaustulosten arvioimiseksi tulee soveltuvaa vertailukäyrää siirtää 1 dB kerrallaan kohti mittauskäyrää, kunnes epäsuotuisen poikkeamien summa on mahdollisimman suuri. Summa ei kuitenkaan saa ylittää 32,0 dB mitattaessa kuudellatoista kolmannesoktaavikaistalla. Mittaustuloksen ollessa vertailuarvoa pienempi, syntyy epäsuotuisa poikkeama kyseisellä taajuudella. Vain epäsuotuisat poikkeamat otetaan huomioon. R'_w (tai R_w) on vertailukäyrämenetelmän mukaisen siirron jälkeen vertailukäyrän desibeliarvo 500 Hz:n taajuudella. Ääneneristysluvun laskemiseksi tulee selvittää taustamelun vaikutus mittaustuloksiin. Taustamelukorjaus lasketaan kaavan 2 osoittamalla tavalla. Lisäksi tulee selvittää mitattavan tilan absorptioala kaavan 3 mukaan. Tällä tavoin varmistetaan erilaisista tiloista ja rakenteista saatavien tulosten vertailukelpoisuus. Ääneneristysluku lasketaan kaavan 4 osoittamalla tavalla.

$$L = 10\lg\left(10^{\frac{L_2}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}}\right) \quad (2)$$

missä

L = korjattu desibeliarvo, dB

L_2 = saapuva äänentaso, dB

L_b = taustamelu, dB

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (3)$$

missä

A = Vastaanottavan huoneen absorptioala, m^2

V = Vastaanottavan huoneen tilavuus, m^3

T = Vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika, s

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad (4)$$

missä

R' = ääneneristävyys, dB

L_1 = Lähtevän äänentason arvo, dB

L_2 = Saapuvan äänentason arvo, dB

S = Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala, m²

A = Vastaanottavan tilan absorptioala, m²

Taajuus Hz	Vertailuarvot, dB	
	1/3-oktaavikaistoittain	Oktaavikaistoittain
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1000	55	55
1250	56	
1600	56	
2000	56	56
2500	56	
3150	56	

Kuva 2. Ilmaäänien vertailuarvot

3.2 Askelääneneristävyys

Askelääneneristävyys kuvaa runkoäänien siirtymistä kahden tilan välillä. Runkoääniä ovat rakenteisiin kohdistuvat iskut, kävely, tavaroiden siirtely ym. fyysisestä kosketuksesta alkunsa saaneet äänet. Kun rakenteeseen, esimerkiksi lattiaan kohdistuu isku, alkaa rakenne värähdellä. Tämä värähtelevä rakenne säteilee ääntä ympärilleen ja tämä havaitaan ilmaääninä. Askelääneneristyksellä pyritään vähentämään runkoäänien ympäröiviin tiloihin

aiheuttamaa ääntä. Mitä pienempi äänenpainetaso toisessa tilassa on, sitä parempi on rakenteen askelääneneristävyys. [8, s. 24.]

3.2.1 Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$

Askeläänitasoluku on tilojen ja rakenteiden välistä askelääneneristävyttä kuvaava luku, joka saadaan vertaamalla taajuuskaistoittain mitattua ja normalisoitua askeläänepainetasoa standardoituun vertailukäyrään. Askeläänitasoluvun yksikkö on desibeli (dB) ja laboratoriomittauksissa käytetty symboli on $L_{n,w}$. Rakennuksissa tehtävissä mittauksissa käytetään askeläänitasoluvulle symbolia $L'_{n,w}$. [2, s. 8.]

3.2.2 Askeläänitasoluvun laskeminen

Askeläänitasoluvun laskemiseksi on syytä selvittää taustamelun vaikutus mittaustuloksiin. Taustamelukorjaus lasketaan kaavan 5 mukaan. Tilan absorptioala saadaan laskettua käyttämällä kaavaa 3. Taustamelukorjauksella ja absorptioalan huomioimisella varmistetaan erilaisista tiloista ja rakenteista saatavien tulosten vertailukelpoisuus. Askeläänitasoluku lasketaan kaavan 6 osoittamalla tavalla.

$$L = 10 \lg \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \quad (5)$$

missä

L = korjattu desibeliarvo, dB

L_{sb} = saapuva äänentaso ja taustamelu yhdistettynä, dB

L_b = taustamelu, dB

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (6)$$

missä

L_n = Askeläänitasoluku, dB

L_i = Vastaanottavan huoneen äänentaso, dB

A = Vastaanottavan huoneen absorptioala, m²

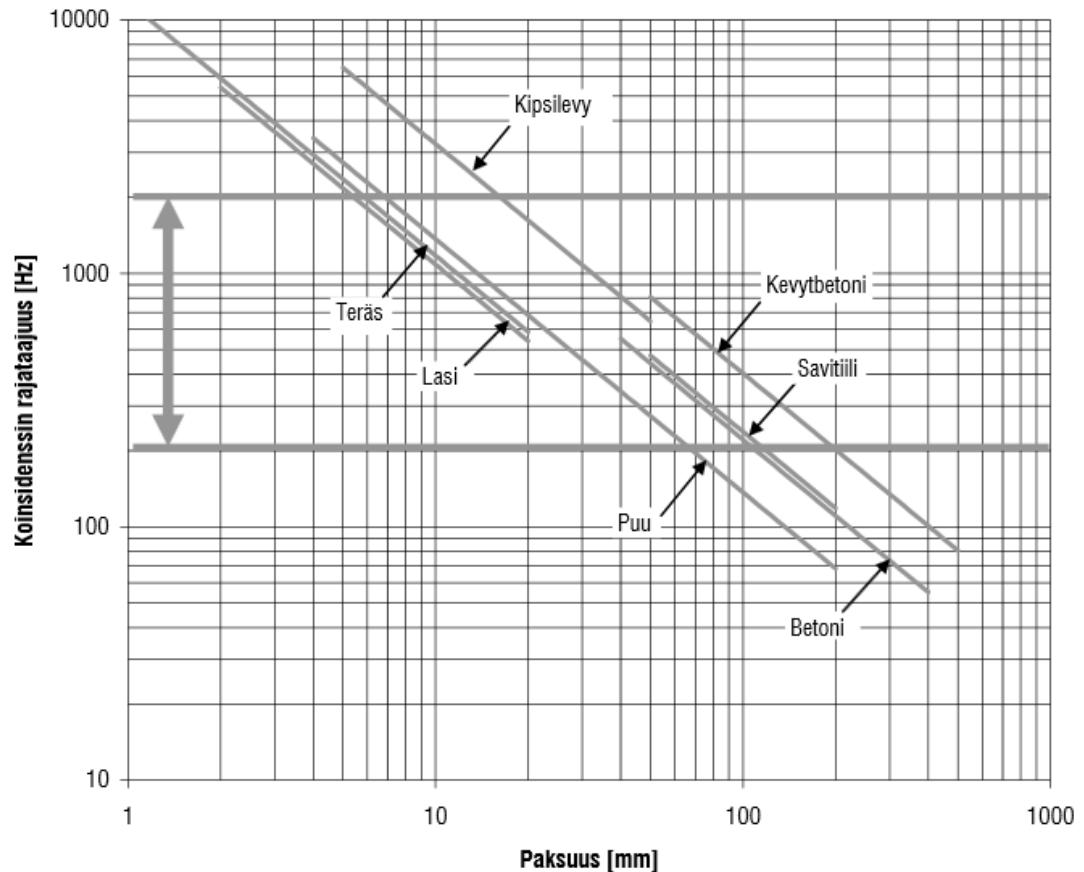
A_0 = Absorptioalan viitearvo, asunnoilla 10 m², m²

3.3 Resonanssi-ilmiö

Jokaisella rakenteella on oma ominaistajuusalue eli resonanssitaajuusalue, jolla rakenne alkaa värähdellä ja säteillä ääntä voimakkaasti ympäristöön. Resonanssi-ilmiö syntyy, kun rakenteeseen osuu ääniaaltoja, joiden taajuus on rakenteen ominaistajuusalueella. Rakenteen resonoidessa sen ääneneristävyys heikkenee huomattavasti. Rakenteen resonanssitaajuusalue voidaan määrittää rakenteen alimman resonanssitaajuuden perusteella. Tällöin rakenteen värähtely saavuttaa maksimiarvonsa. Resonanssi-ilmiötä havaitaan myös, kun värähtelyä aiheuttavan herätteen taajuus on rakenteen resonanssitaajuusalueella. Ihmisen kuulon kannalta tärkeä äänineristettävä taajuusalue on 100–3150 Hz ja rakenteen resonanssitaajuusalue tulisi olla tämän taajuusalueen alapuolella. [2, s. 20.]

3.4 Koinsidenssi-ilmiö

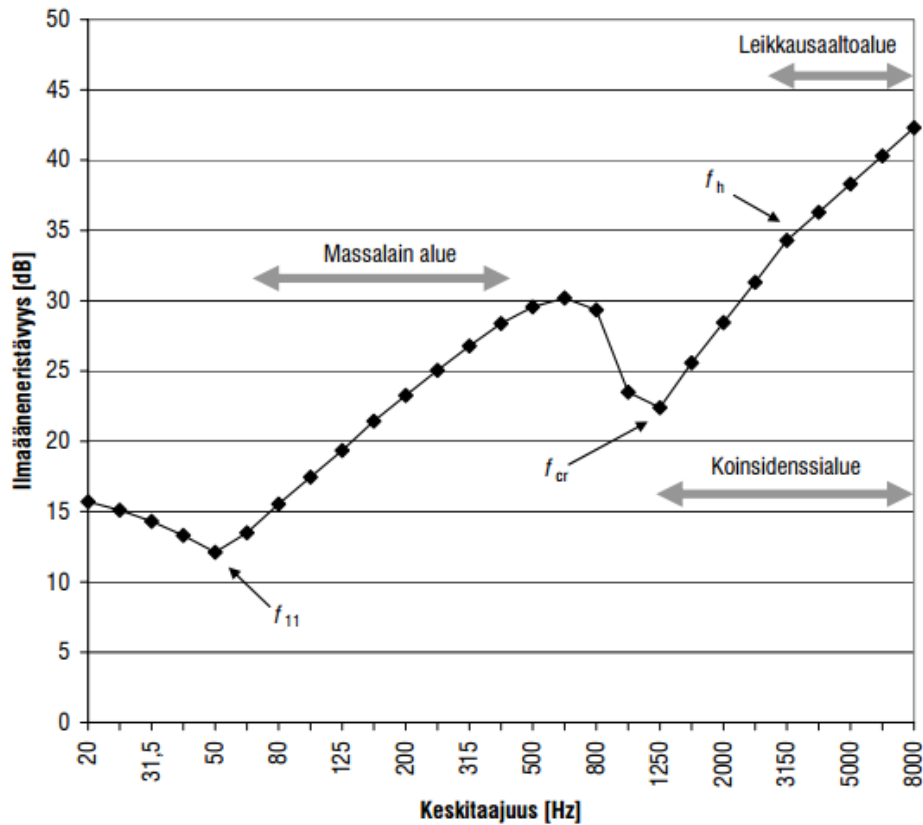
Levyn pintaan tietyssä kulmassa osuva ääniaaltorintaman jälki ja levyssä oleva äänen aiheuttama taivutusaalto etenevät samalla nopeudella. Näin jatkuva ääni aiheuttaa yli- ja alipainerintaman, joka osuu levyssä etenevän taivutusaallon huippuun ja laaksoon. Tilanne pysyy koko ajan samanlaisena äänen edetessä ja levyn ääneneristävyys heikkenee merkittävästi. Jokaisella yksinkertaisella rakenteella on olemassa koinsidenssitaajuus, jonka yläpuolella olevilla äänentaajuuksilla ilmiötä esiintyy. Näin ollen rakenteen koinsidenssi taajuus tulisi olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen yläpuolella. Paksuilla ja raskailla rakenteilla koinsidenssi-ilmiö on harvoin ongelma, mutta ohuilla ja kevyillä rakenteilla sen vaikutus ääneneristävyyteen tulee tutkia. Kuvio 1 havainnollistaa rakenteen paksuuden vaikutusta koinsidenssitaajuuteen. Ohuiden rakennuslevyjen koinsidenssitaajuus on usein välillä 2000–3000 Hz. [2, s. 21.] Koinsidenssi-ilmiön vaikutusalue on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 1. Eri rakennusaineiden koinsidenssin rajataajuuksia rakenteen paksuuden funktiona [7, s. 51].

3.5 Massalaki

Kun ääniaalto kohtaa rakenteen, syntyy siihen värähtelyä. Kevyt rakenne värähtelee samasta äänenpaineesta enemmän kuin raskas rakenne. Toiselle puolelle syntyy sitä enemmän ääniaaltoja, mitä enemmän rakenne värähtelee. Näin ollen raskaampi rakenne eristää ääntä paremmin kuin kevyt rakenne. Tätä kutsutaan ääneneristävyyden massalaksi. [2, s. 18.] CLT:n ollessa suhteellisen raskas rakenne, on sen massalain mukainen ääneneristävyydenkin suhteellisen hyvä. Massalain vaikutusalue on havainnollistettu kuviossa 2.



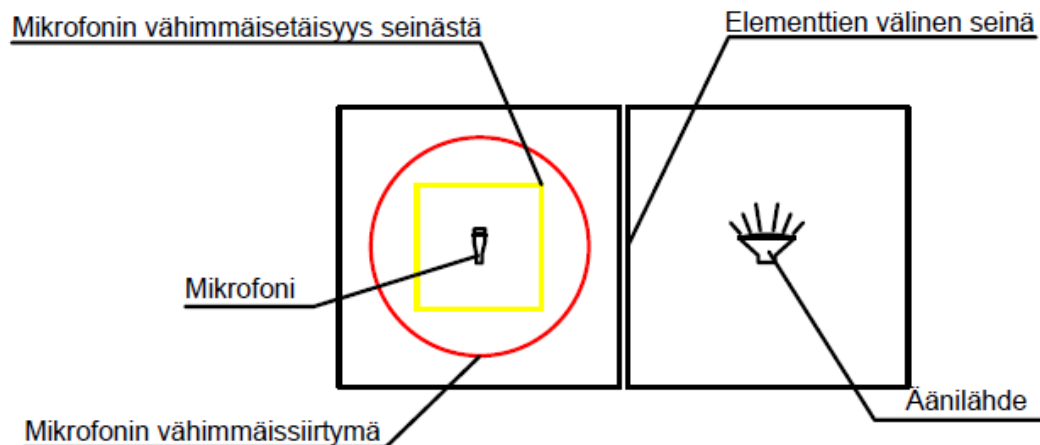
Kuvio 2. Ilmaääneneristävyyden riippuvuus taajuudesta yksinkertaisella rakenteella. Rakenteen massa ja jäykkyys vaikuttavat rajataajuuksien paikkoihin. Kuvajassa f_{11} on rakenteen alin ominaistaajuus, f_{cr} on koinsidenssin rajataajuus ja f_h on korkein leikkausaaltoalueen rajataajuus. [7, s. 49.]

3.6 Akustiikan määräykset ja ohjeet

Suomessa on voimassa erilaisia määräyksiä ja ohjeita rakenteiden ja tilojen akustisille ominaisuuksille. Näitä ovat mm. Suomen rakentamismääräyskokoelman C1-1998, ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa ja D2-2012, rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Rakennuksille voidaan myöntää myös akustisia standardeja, kuten SFS 5907. Valtioneuvosto ja sosiaali- ja terveysministeriö jakavat ohjeita ja asetuksia rakennusten akustisia ominaisuuksia koskien. Näistä esimerkkinä toimii Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista ja Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysasetus (2015). Rakennusten ääneneristävyyttä mitattaessa tulee noudattaa eurokoodien standardeja SFS-EN ISO 16283-1, EN ISO 16238-2, SFS-EN 717-1 ja SFS-EN 717-2.

4 Mittaaminen

Mittalaitteisiin tutustuminen aloitettiin ja ensimmäiset mittaukset suoritettiin kesäkuussa 2016. Mittaukset tehtiin standardeja SFS-EN ISO 16283-1, EN ISO 16283-2, SFS-EN 717-1 ja SFS-EN 717-2 noudattaen. Ensimmäiseksi laskettiin elementtien tilavuus ($6,1 \text{ m}^3$) ja elementtien välisen seinän pinta-ala ($3,9 \text{ m}^2$). Standardin mukaan sekä äänilähteen että mikrofonin etäisyyden seinästä on oltava vähintään 0,5 metriä ja äänilähteen etäisyys mikrofonista vähintään 1,0 metriä. Näitä ohjeita noudattaen saatiin vaatimukset täyttymään yhtä mittauspistettä käyttäen. Mittaukset tehtiin keskeltä huonetta, sillä standardien vaatima 0,7 metrin vähimmäissiirtymä olisi ollut mahdoton toteuttaa huoneiden pienuuden takia (kuva 3).



Kuva 3. Havainnekuva mittalaitteiden sijoittelusta. Mikrofonin vähimmäissetäisyys seinästä merkattuna kuvaan keltaisella neliöllä. Punainen ympyrä kuvaa mikrofonin pienintä mahdollista siirtomatkaa huoneen keskipisteestä.

Ennen jokaista mittausta äänilähde oli päällä noin 15 sekuntia, jotta mittaustuloksista tulisi luotettavampia. Aluksi mitattiin äänilähteen sisältämästä tilaelementistä lähtevää äänenpainetasoa 30 sekunnin ajan (kuva 4).

Seuraavaksi mittattiin tilaelementin jälkikaiunta-aika, jolloin äänilähde oli ensin päällä 30 sekuntia ja äänilähteen sammuttua mikrofoni mittasi vielä 5 sekunnin ajan tilan jälkikaiunta-aikaa (kuvat 5 ja 6). Molemmat mittaukset toistettiin useaan kertaan tulosten luotettavuuden varmistamiseksi. Näistä molemmista mittauksista saatuja lukemia pystyttiin hyödyntämään kaikissa laskelmissa, sillä sekä lähettävän huoneen äänenpainetaso että vastaanottavan tilan jälkikaiunta-aika olivat samat kaikissa tilanteissa. Mitattaessa ilma- ja askelääneneristävyyttä (kuvat 5 ja 6) äänilähdettä pidettiin päällä ensin 15 sekuntia, jonka jälkeen mitattiin 30 sekunnin ajan saapuvan tilan äänenpainetasoa äänilähteen ollessa edelleen päällä. Mittaukset toistettiin aina vähintään kahdesti tuloksien laadun varmistamiseksi. Taustamelun mittaus suoritettiin jokaisena mittauspäivänä mittauksien aluksi. Tällöin mikrofoni mittasi vastaanottavan huoneen äänenpainetasoa ilman äänilähdettä 60 sekunnin ajan.



Kuva 4. Lähettävän tilan äänenpainetason mittaus.



Kuva 5. Äänilähde paikoillaan lähettävässä tilaelementissä.



Kuva 6. Mikrofoni paikoillaan vastaanottavassa tilaelementissä.

Mittausten ensimmäisessä osiossa keskityttiin mittaamaan elementtien välisten seinien ilma- ja askelääneneristävyttä. Ensimmäiset mittaukset suoritettiin kesäkuun alussa 2016 ja tarkoituksena oli selvittää, kuinka elementtien väliset metalliset kiinnikelevyt vaikuttaisivat mittaustuloksiin. Elementtien väliin asetettiin 50 mm kivivillaa, sillä tämä oli aiemmissa tutkimuksissa osoittautunut parhaaksi vaihtoehdoksi ilmaääneneristävyden kannalta [15, s. 37]. Ensin mitattiin ilmaääneneristävyys ilman metallisia kiinnikkeitä ja mittauksia jatkettiin lisäämällä aina kaksi kiinnikelevyä, yksi kummallekin puolelle elementtejä (kuva 7). Levyjä lisättiin siis aina parillinen määrä ja tuloksia seinien väliselle ilmaääneneristävyydelle saatiin yhteensä kymmenen erilaista.



Kuva 7. Metallisia kiinnikelevyjä kiinnitettynä elementtien välille.

Kun ilmaääneneristävyysmittaukset saatiin tehtyä, vaihdettiin äänilähteeksi askeläänikoje (kuva 8) ja aloitettiin elementtien askelääneneristävyysmittaukset käänteisessä järjestyksessä. Teoriassa näin olisi saatu sekä askel- että ilmaääneneristävyden mittaustulokset helposti ilman turhaa ruuvailua, mutta

valitettavasti askelääneneristävyyden osalta testi epäonnistui mittaajien kokemattomuuden takia, eikä tyydyttäviä mittaustuloksia saatu aikaan. Mittaus epäonnistui myös siinä suhteessa, että oikeassa tapauksessa myös levyt tulisi eristää elementeistä ennen niiden ruuvaamista paikoilleen. Tämä osio tutkimuksesta päädyttiinkin tekemään uudelleen syksyllä 2016. Syksyn mittaukset suoritettiin paremmin mittalaitteisiin tutustuen ja oikeanlaista eristemenetelmää käyttäen.



Kuva 8. Mittauksissa käytetty askeläänikoje, joka asetettiin mittaustilanteessa 45 asteen kulmaan huoneen seiniin nähden.

Mittausten toinen vaihe käynnistyi kesäkuussa 2016, kun elementit haalattiin ulos välipohjien mittauksia varten. Joen Konehaalaus Oy tilattiin paikalle siirtämään painavat elementit ensin ulos koulun hallitiloista ja asettamaan ne sopivasti toistensa päälle mittausten edetessä (kuva 8). Tarkoituksena oli mitata elementtien välisen välipohjan ilma- ja askelääneneristävyys sekä selvittää, kuinka elementtien väliin tuleva eristematto vaikuttaa ääneneristävyyteen. Elementeissä oli toisistaan poikkeavat alapohjarakenteet (liitteet 1 ja 2) ja lisäksi eristemattoa saatiin kokeiltavaksi kahta erilaista laatua (kuva 9).



Kuva 8. Elementit ulkona mittausvalmiudessa.



Kuva 9. Eristematot valmiiksi suikaleiksi leikattuna. Tuotenimikkeet Regupol® (kuvassa musta eriste) ja Regufoam® (kuvassa violetti eriste), valmistajana BSW Berleburger Schaumstoffwerk GmbH.

Syksyllä 2016 jatkettiin kesän vajaaksi jääneitä mittauksia. Työ alkoi eristemattojen leikkaamisella sopiviksi suikaleiksi ja halkaisemalla ne kahtia, jotta ne soveltuisivat paremmin elementtien välisten kiinnikkeiden eristämiseen elementeistä. Suikaleiden paksuus oli noin 10 mm:n luokkaa. Mittaukset toistettiin noudattaen kesällä kokeiltua kaavaa ja tällä kertaa aikaan saatiin tyydyttävä määrä laadukkaita tuloksia.



Kuva 10. Väliseinän ääneneristävyyden mittaus. 18 kiinnikelevyä kiinnitettynä elementtien välille.

5 Tulokset

Tähän osioon on koottu tiivistelmä saaduista ilma- ja askelääneneristävyydestä. Kaikkiin taulukoihin on ilma- ja askelääneneristävyyden osalta esitetty standardien mukaan lasketut tulokset taajuudelta 500 Hz, joka standardien mukaan kuvaa rakenteen ilmaääneneristyslukua ja askeläänitasolukua. Suomen RakMK C1 määrittelee vaatimukset asuinhuoneistojen väliselle ääneneristävyydelle. Suurin sallittu askeläänitasoluku asuinhuoneistojen välillä on 53 dB ja ilmaääneneristysluvun osalta sallitaan vähintään 55 dB.

5.1 Ilmaääneneristävyydet

5.1.1 Välipohjien ilmaääneneristävyys

Välipohjien ilmaääneneristävyyden tulokset 500 Hz taajuudella on koottu taulukkoon 1. Eristeen käyttö parantaa rakenteen ilmaääneneristävyyttä huomattavasti, sen sijaan erot eri eristemattojen välillä olivat vähäiset. Ilman eristettä mitattaessa ilmaääneneristysluku jäi alle sallitun rajan kummassakin tapauksessa.

Taulukko 1. Välipohjien ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristävyys	Ei eristettä	Eriste 1	Eriste 2
koppi 1 päällä	51,1	57	59,2
koppi 2 päällä	43,4	56,1	57,4

5.1.2 Väliseinien ilmaääneneristävyys

Väliseinien ilmaääneneristävyyden tuloksista havaitaan, että mitä enemmän metallilevyjä kiinnitettiin elementtien välille, sitä heikompia olivat saadut tulokset ilmaääneneristävyyden osalta. Taulukosta 2 voidaan havaita kuinka suurin

pudotus ilmaääneneristävyydessä näyttää tulevan heti ensimmäisten levyjen asennuksen jälkeen. Tästä eteenpäin ilmaääneneristävyyden arvot laskevat pienempinä harppauksina. Saatujen tulosten mukaan ilmaääneneristävyys on riittävä vielä neljää kiinnikelevyä käytettäessä.

Taulukko 2. Väliseinien ilmaääneneristävyys

	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Ilmaääneneristävyys	levyä	levyä	levyä	levyä	levyä	levyä	levyä	levyä	levyä	levyä
500 Hz	61,1	57,5	56,6	54,3	54,2	53,7	53,3	52,3	51,0	50,7

5.2 Askelääneneristävyys

5.2.1 Välipohjien askelääneneristävyys

Taulukosta 3 ilmenee, kuinka huomattava hyöty saadaan käyttämällä vaimennusmattoa kahden elementin välissä. Taulukossa on tarkkailtu askeläänitasolukua 500 Hz taajuudella ja listattuna ovat molemmat alapohjaratkaisut. Välipohjaratkaisu 2 Näyttäisi olevan merkittävästi parempi askelääneneristävyydeltään. Tuloksista tulee huomata, kuinka elementin 2 ollessa päällä päästään vaadittuun askelääneneristävyyteen jo ilman eristettä. Välipohja 2 oli malliltaan rankarakenteinen (liite 1, s. 2) ja välipohja 1 CLT-rakenteinen (liite 1, s. 1).

Taulukko 3. Välipohjien askeläänitasoluvut

Askeläänitasoluku	Ei eristettä	Eriste 1	Eriste 2
koppi 1 päällä	60,1	50,1	46,3
koppi 2 päällä	44,3	40,6	41,1

5.2.2 Väliseinien askelääneneristävyys

Tuloksia tarkastellessa huomataan, että lisäämällä elementtien välisiä kiinnikkeitä askelääneneristävyys heikkenee merkittävästi. Taulukosta 4 nähdään kuinka muutos on suurempaa ensimmäisten asennettujen levyjen

kohdalla, mutta kiinnikkeiden lukumäärän lisääntyessä alkaa askeläänitasoluku tasaantua. Merkittävää on huomata, ettei askeläänitasoluku missään vaiheessa ylitä suurinta sallittua arvoa.

Taulukko 4. Väliseinien askeläänitasoluvut

Askeläänitasoluku	0 levyä	2 levyä	4 levyä	6 levyä	8 levyä	10 levyä	12 levyä	14 levyä	16 levyä	18 levyä
500 Hz	40,9	41,8	42,8	44,6	45,7	46,4	47,2	47,7	48,4	48,4

6 Johtopäätökset

Mitattavat elementit eivät täyttäneet ääneneristävyyssmittauksiin vaadittavaa minimiilavuutta, joka on 25 m³ standardin SFS ISO-16238 mukaan. Lisäksi kaikki mittaukset jouduttiin suorittamaan yhdeltä pisteeltä elementtien pienen koon takia. Tämän takia mittaustulokset ovat jonkin verran epätarkkoja, eivätkä näin ollen välttämättä vastaa todellista tilannetta. Mittaustulokset ovat kuitenkin keskenään vertailukelpoisia, sillä kaikki mittaukset tehtiin pitkälti samoissa olosuhteissa.

Kesän ja syksyn aikana suoritetuista mittauksista seuranneet tulokset olivat pitkälti odotettuja. Väliseinien osalta mittaukset osoittivat, että mitä enemmän elementtien välille lisättiin kiinnikelevyjä, sitä heikompia olivat tulokset ilma- ja askelääneneristävyyden osalta. Ilmaääneneristävyyttä tutkittaessa vaadittavat ilmaääneneristävyyden tasot saavutettiin vielä neljällä kiinnikelevyllä, mutta kuuden metallilevyn kiinnittämisen jälkeen vaadittava 55 dB:n taso alittui. Tässä tapauksessa kiinnikelevyt muodostivat selkeän äänisillan, jota pitkin ääni johtui elementistä toiseen heikentäen tuloksia. Merkittävää kuitenkin on, että askeläänitasoluku pysyi kaikissa tapauksissa sallitun 53 dB:n rajan alapuolella. Ilman levyjä ja kuudella kiinnikelevyllä saadut mittaustuloskäyrät poikkeavat muodoltaan muista mittauskäyristä. Todennäköisin selitys tälle on ympäristöstä tuleva häiriö, sillä mittauspäivänä koulun laboratoriotiloissa sijaitsevat metallintyöstökoneet olivat ajoittain käynnissä. Tällä pystytään luultavasti selittämään myös askeläänemittauksissa esiintyvä vaihtelu korkeammilla äänentaajuuksilla, etenkin kun vaihtelua on nähtävissä perättäisissä mittauksissa.

Myös välipohjien osalta mittaukset tuottivat suurelta osin hyvin ennalta-arvattavia tuloksia. Ilmaääneneristystä tutkittaessa ero toisistaan eristettyjen elementtien ääneneristävyyteen olivat huomattavat, joten tuloksien mukaan ääneneristysmateriaalin käyttäminen on perusteltua vastaavissa tapauksissa. Yllättävää oli, että askeläänitasolukuja tutkittaessa rankarakenteinen välipohjaratkaisu pääsee sallittuihin lukemiin jo ilman eristemateriaaleja.

Muutenkin erot ilman eristettä ja eristeitä käytettäessä olivat varsin pieniä. Taajuuksilla 100 – 3150 Hz tutkittaessa ero kahden eri eristematon välillä oli keskimäärin 2,5 dB puoleen tai toiseen, joskin suurimmat erot ilmenivät korkeammille taajuuksille mentäessä. Testin mittaustarkkuuden ollessa kenttäolosuhteissa ± 2 dB luokkaa, ei eristemattojen paremmuusjärjestystä voida luotettavasti arvioida. Kuitenkin taajuus vaikuttaa selkeästi eristeiden kykyyn eristää ääntä ja tässä on huomattavissa vaihtelua eri eristemattojen välillä. Välipohjia 1 ja 2 vertaillessa ensimmäinen antoi parempia tuloksia ilmaääneneristävyuden osalta, kun taas jälkimmäinen pärjäs huomattavasti paremmin askelääneneristävyttä mitattaessa.

Suoritettut mittaukset osoittavat, että on perusteltua käyttää ääneneristemateriaalia kahden elementin välillä. On myös syytä huolehtia, ettei elementtien välille pääse syntymään selkeitä siltoja, joita pitkin ääni pääsee esteettä kulkemaan elementistä toiseen.

7 Pohdinta

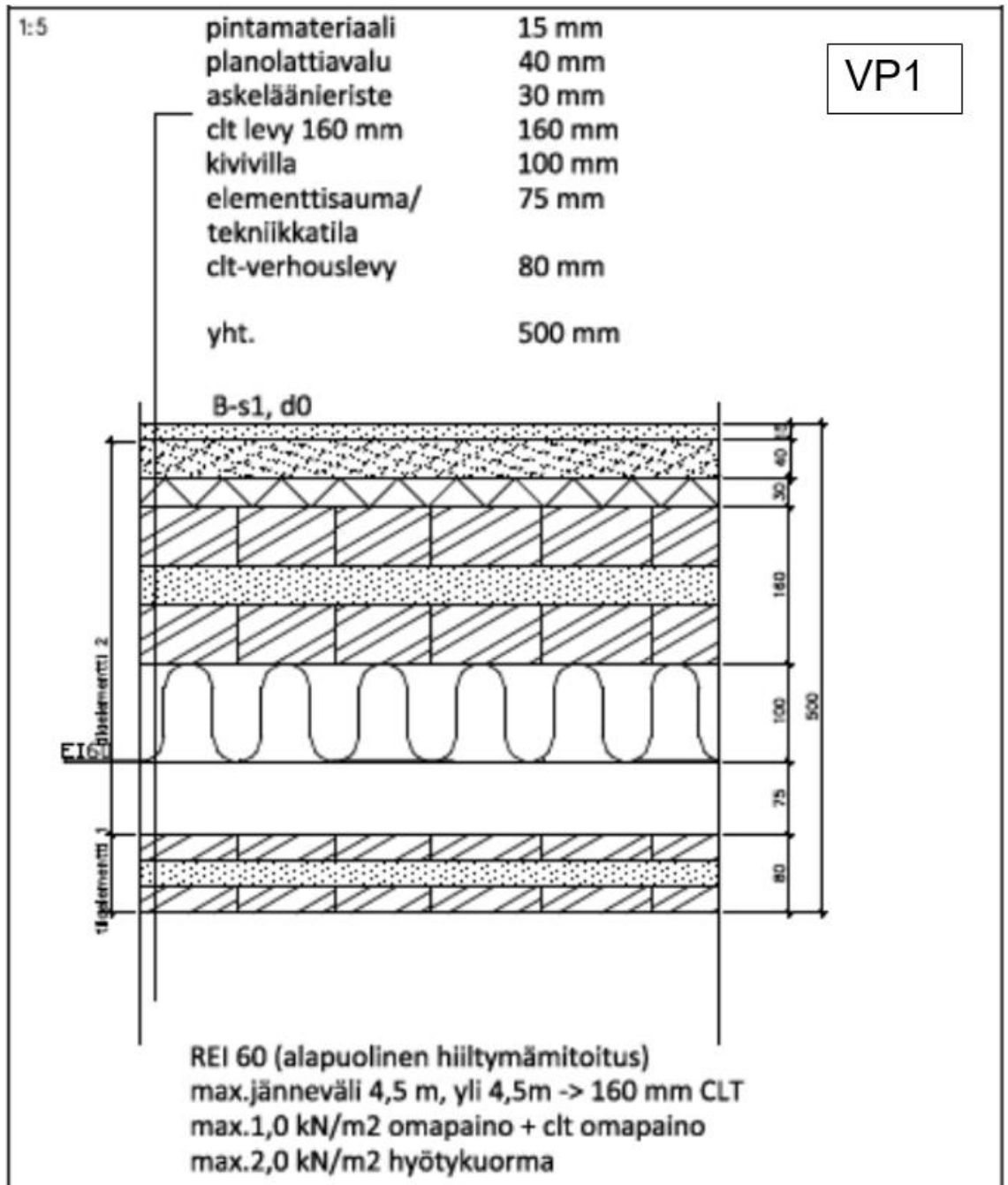
Suoritetut mittaukset antavat lisätietoa testattujen elementtien akustisista ominaisuuksista ja yhdessä Hukan ja Mustosen opinnäytetyön kanssa muodostavat kattavan tietopohjan tämän elementtityypin askel- ja ilmaääneneristävydestä. Opinnäytetyön työstäminen kaikkine mittauksineen ja laskelmineen oli erittäin opettavainen kokemus ja sen aikana opin paljon erilaisten materiaalien, erityisesti CLT:n ääneneristyksellisistä ominaisuuksista. Tehtävä työ oli suhteellisen laaja ja moneen asiaan olisi ollut hyvä paneutua syvemmin. Opinnäytetyön laajuuden takia monen asian analysointi jäi kuitenkin pitkälti pintaraapaisuksi, koska muuten tutkittava asia olisi kasvanut liian laajaksi yhdelle henkilölle. Jatkoa ajatellen olisi varmasti hyvä tutkia tarkemmin erilaisia eristemattomateriaaleja tarkemmin ja tutkia erilaisten pohjaratkaisujen vaikutusta elementtien väliseen ääneneristävyteen. Olisi myös mielenkiintoista tietää, vaikuttaako elementtien välisten kiinnikelevyjen paikka merkittävästi ääneneristävyteen.

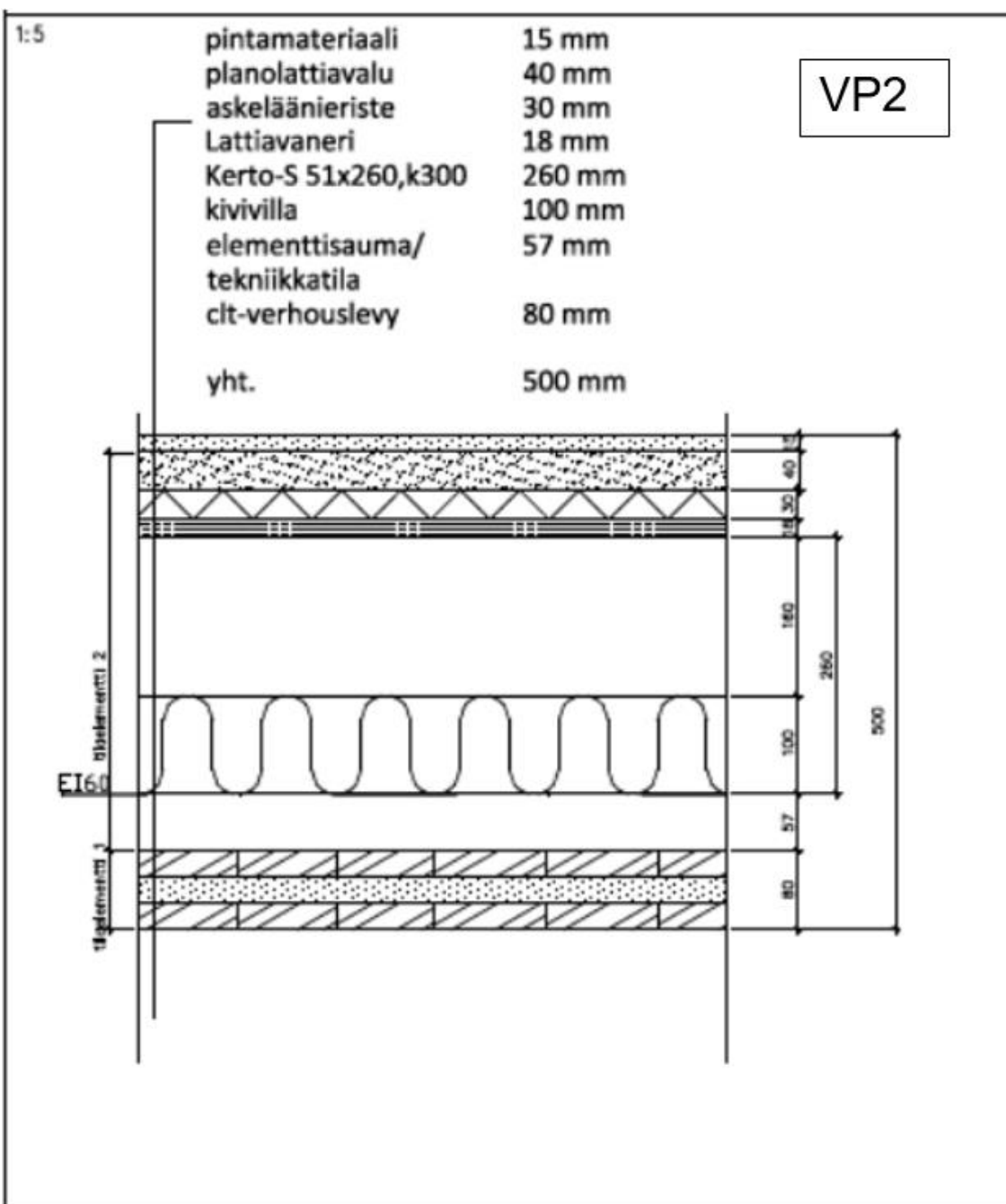
Lähteet

1. Ecophon-akustiikkakatot. Yleistä akustiikasta.
<http://www.kotiakustiikka.fi/yleista-akustiikasta.html> (luettu 15.2.2017).
2. Puuinfo Oy. Ääneneristys puutalossa. 7.7.2010. Saatavilla:
<http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/%C3%A4%C3%A4neneristys-puutalossa> (luettu 29.4.2017).
3. Ympäristöministeriö. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Saatavilla:
<http://www.finlex.fi/data/normit/1917/c1.pdf> (luettu 29.4.2017).
4. Puuinfo Oy. Puurakenteiden ääneneristys.
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/puurakenteiden-%C3%A4%C3%A4neneristys> (luettu 12.3.2017).
5. Tyryn koulu. eFysiikka. Värähdysliike on säännöllistä liikettä.
<https://peda.net/valkeakoski/pk/tyry/jopo-luokka/efysiikka-72/aal> (luettu 22.3.2017).
6. Leivo Mika. Puurakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Saatavilla:
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020301.pdf> (luettu 29.4.2017).
7. Kylliäinen Mikko. Talonrakentamisen akustiikka. 2006. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavilla:
http://tutcris.tut.fi/portal/files/1673910/kylliainen_talonrakentamisen_akustiikka.pdf (luettu 29.4.2017).
8. Heikki Helimäki ja Timo Huhtala, 2009, Asuinrakennusten äänitekniiikan täydentävä suunnitteluohje. Saatavilla:
https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=39&cad=rja&36uact=8&ved=0ahUKEwiv9LL7p_XLAhWIKiWKHUJFBAg4HhAWCFEwCA&url=http%3A%2F%2Fwww.elementtisuunnittelu.fi%2FDownload%2F21797%2FSuunnitteluohje_final_osa1.pdf&usg=AFQjCNFRZpgJ2aS015tqfs5WxBMXcG2Jjw&bvm=bv.118443451,d.bGg (luettu 29.04.2017).
9. Laukkanen Markku. Puuinfo Oy. 15.10.2014. Saatavilla:
<http://www.woodproducts.fi/fi/articles/clt-tuotanto-kaynnistyy-suomessa-kasvavien-markkinoiden-odotuksin> (luettu 29.4.2017).
10. Stora Enso Oyj. CLT – Cross Laminated Timber. 2013.
<http://www.clt.info/fi/tuote/> (luettu 29.4.2017).
11. University of Tennessee. Cross Laminated Timber (CLT): A new way to build big with wood. 2003.

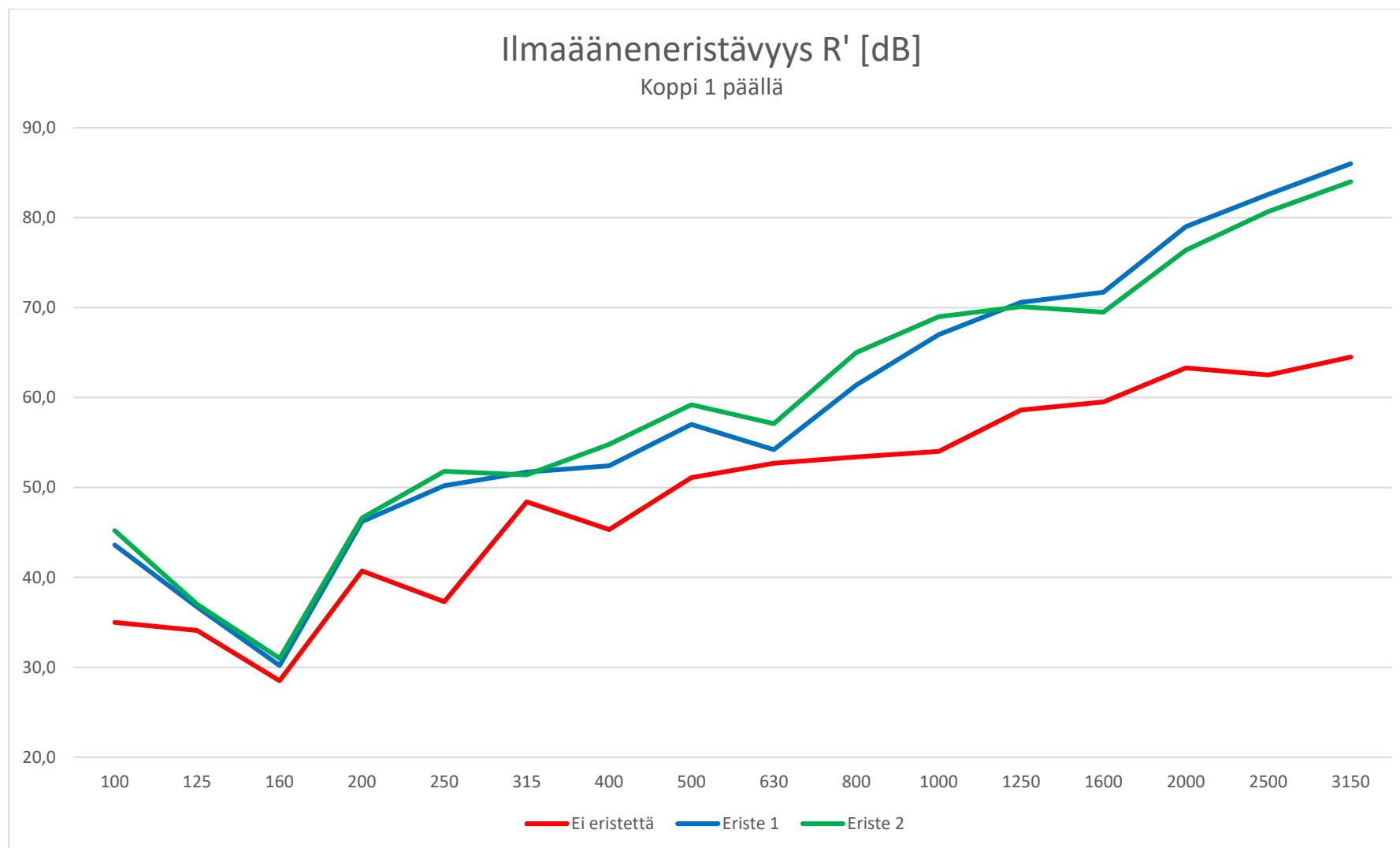
<http://web.utk.edu/~mtaylo29/pages/Cross%20laminated%20timber.html>
(luettu 29.4.2017).

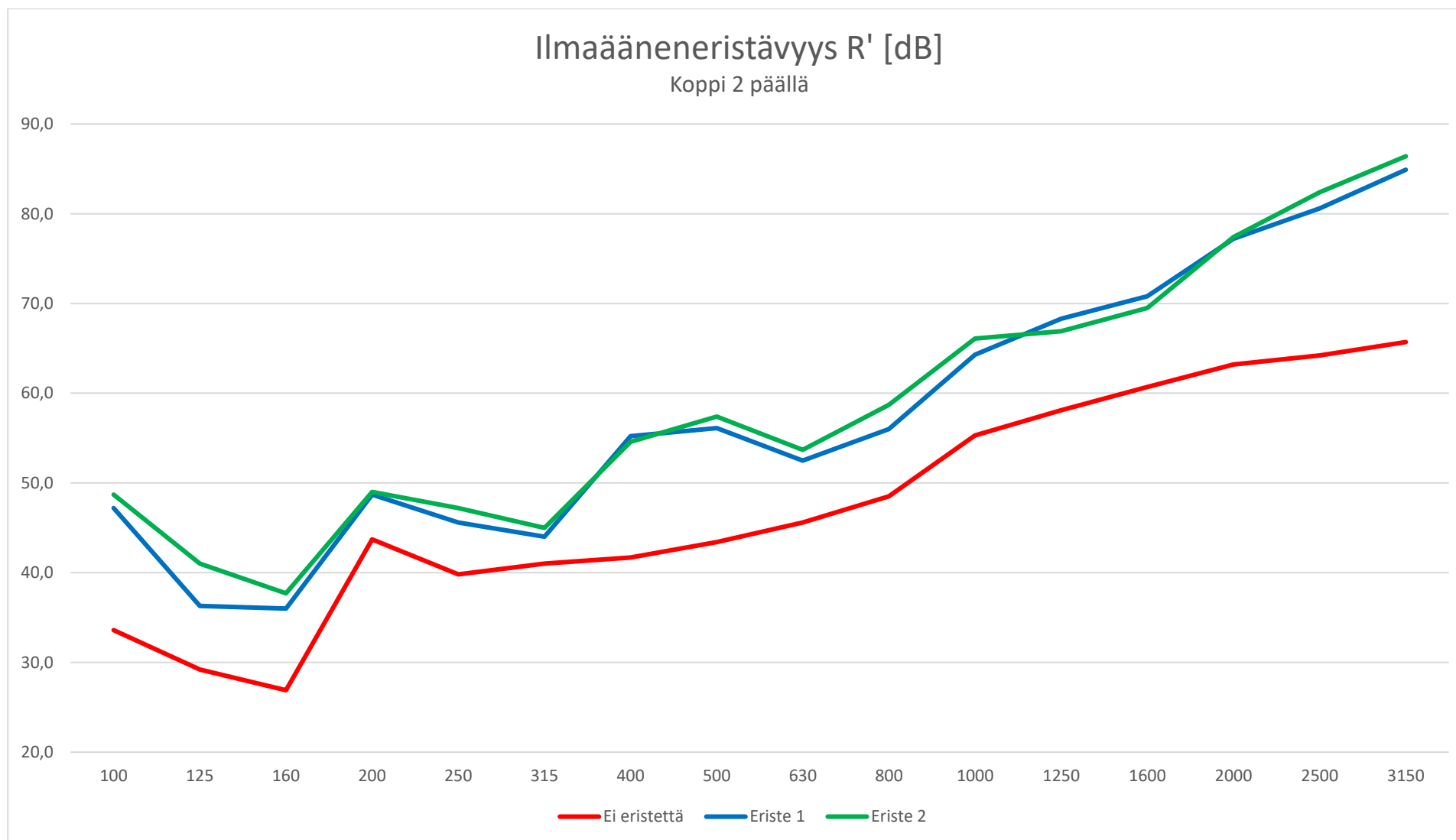
12. Puuinfo Oy. Monikerroslevy (CLT). Saatavilla:
<http://www.woodproducts.fi/fi/content/insinooripuutuotteet-1> (luettu 29.4.2017).
13. Karjalainen Markku. Puuinfo Oy. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. 29.12.2016.
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa> (luettu 29.4.2016).
14. Joensuun Pihapetäjä. KKES. 2016.
<http://www.joensuunpihapetaja.fi/ajankohtaista/> (luettu 30.4.2017).
15. Hukka Jani. Mustonen Mika. CLT-tilaelementtien ilmääneneristävyys. Opinnäytetyö. 2016. Saatavilla:
<https://www.theseus.fi/handle/10024/108704> (luettu 30.4.2017)
16. Stora Enso Oyj. Paloturvallisuus. 2013.
<http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/> (luettu 17.5.2017)
17. Kaaresoja Kaisa. Ratahallintokeskus. Suomen rataverkon tärinäselvitys. 2000–2006. Saatavilla:
<https://www.yumpu.com/fi/document/view/33787826/suomen-rataverkon-tarinaselvitys-liikennevirasto/12> (luettu 17.5.2017)



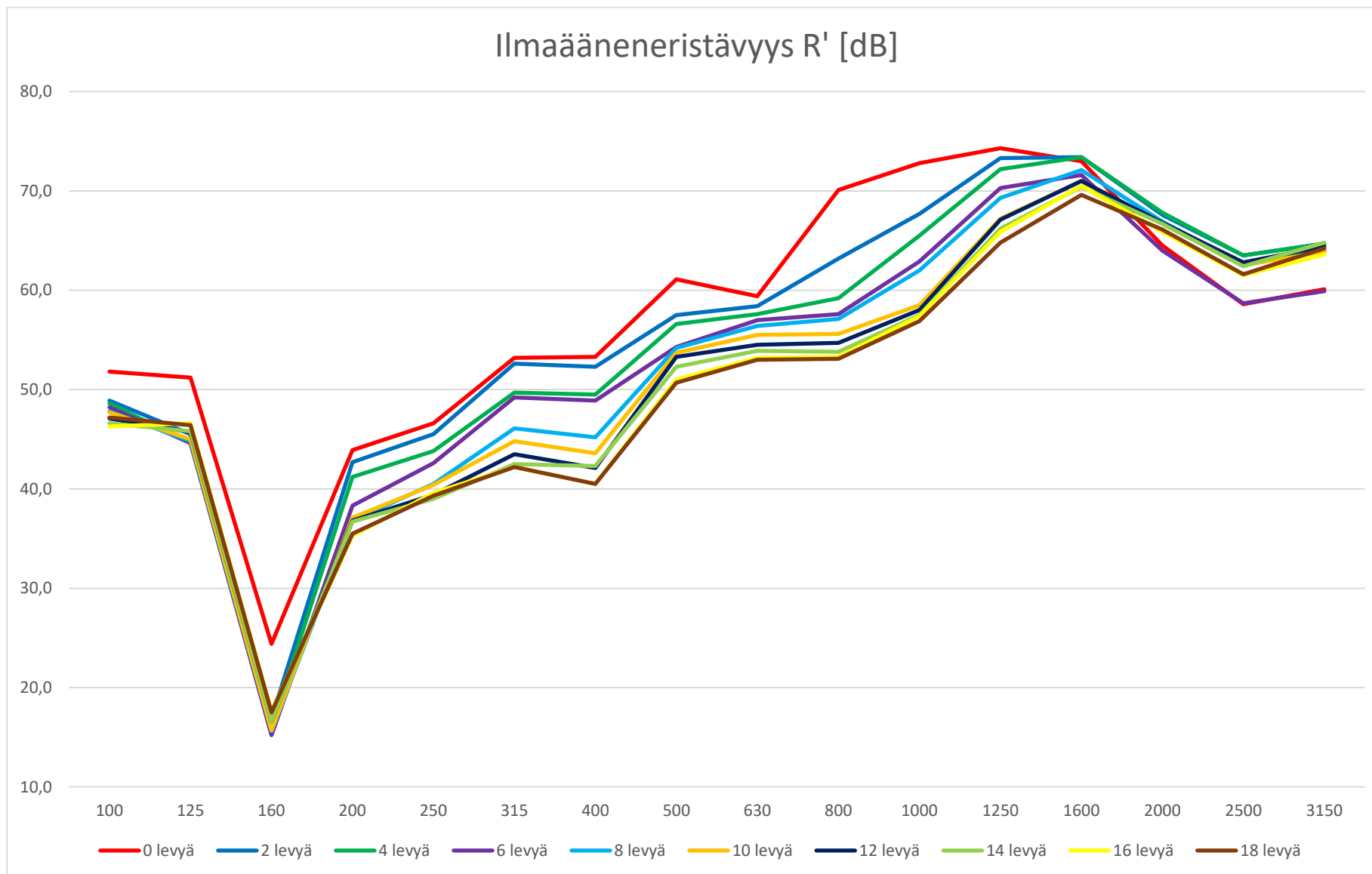


Koppi 1 Päällä				Koppi 2 Päällä			
Ilmaääneneristävyys R' [dB]				Ilmaääneneristävyys R' [dB]			
Taajuus [Hz]	Ei eristettä	Eriste 1	Eriste 2	Taajuus [Hz]	Ei eristettä	Eriste 1	Eriste 2
50	38,9	40,7	40,9	50	34,0	30,4	40,2
63	36,6	38,5	47,7	63	33,9	36,5	43,3
80	28,1	31,8	42,5	80	29,1	34,9	43,8
100	35,0	43,6	45,2	100	33,6	47,2	48,7
125	34,1	36,7	37,0	125	29,2	36,3	41,0
160	28,5	30,2	31,0	160	26,9	36,0	37,7
200	40,7	46,2	46,6	200	43,7	48,7	49,0
250	37,3	50,2	51,8	250	39,8	45,6	47,2
315	48,4	51,7	51,4	315	41,0	44,0	45,0
400	45,3	52,4	54,8	400	41,7	55,2	54,6
500	51,1	57,0	59,2	500	43,4	56,1	57,4
630	52,7	54,2	57,1	630	45,6	52,5	53,7
800	53,4	61,4	65,0	800	48,5	56,0	58,7
1000	54,0	67,0	69,0	1000	55,3	64,3	66,1
1250	58,6	70,6	70,1	1250	58,1	68,3	66,9
1600	59,5	71,7	69,5	1600	60,7	70,8	69,5
2000	63,3	79,0	76,4	2000	63,2	77,2	77,4
2500	62,5	82,6	80,7	2500	64,2	80,6	82,4
3150	64,5	86,0	84,0	3150	65,7	84,9	86,4
4000	67,5	90,7	90,2	4000	67,4	90,8	91,3
5000	69,0	93,0	93,1	5000	69,0	94,5	95,1

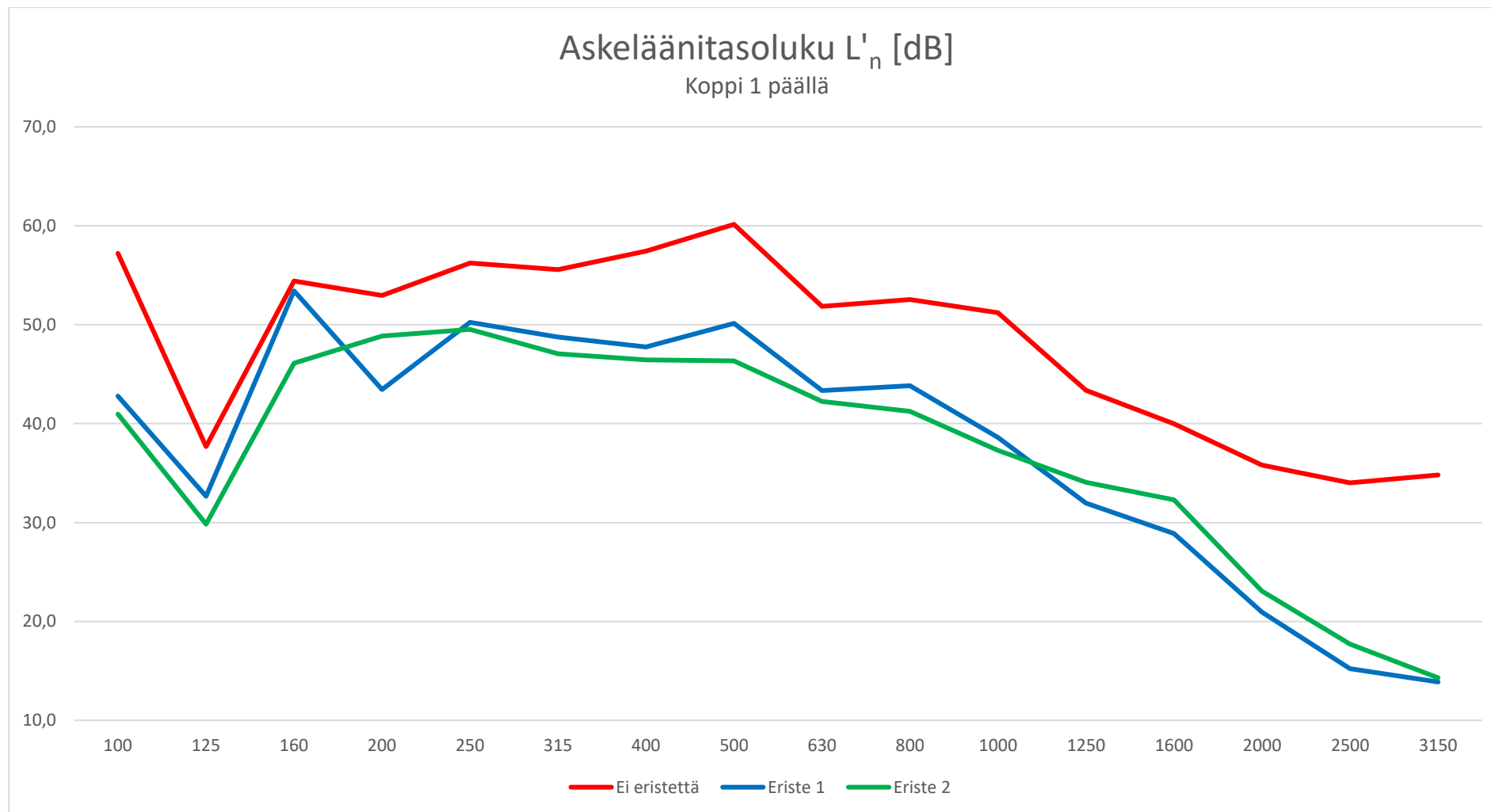


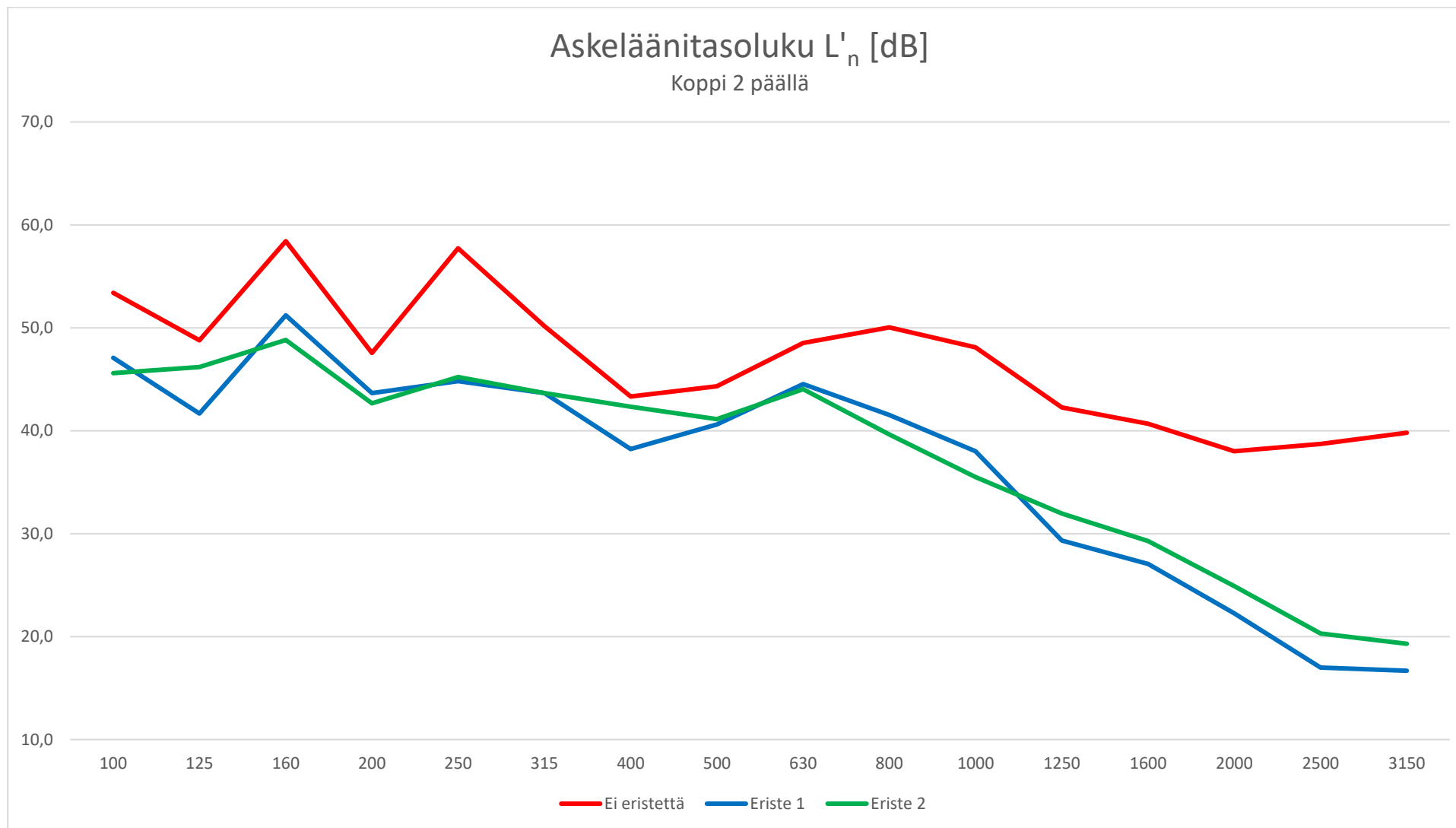


Ilmaääneneristävyys R' [dB]										
Taajuus [Hz]	0 levyä	2 levyä	4 levyä	6 levyä	8 levyä	10 levyä	12 levyä	14 levyä	16 levyä	18 levyä
50	34,3	33,5	33,4	32,8	33,0	32,0	31,8	31,6	31,9	31,5
63	40,1	39,2	39,1	38,5	38,7	37,8	37,2	37,3	37,3	36,8
80	41,3	40,8	41,9	42,1	43,0	42,6	42,7	42,2	41,6	41,4
100	51,8	48,9	48,6	48,2	47,8	47,7	47,1	46,6	46,3	47,2
125	51,2	45,5	44,6	44,6	44,8	45,0	45,7	45,8	46,6	46,4
160	24,4	16,9	16,0	15,2	15,6	15,7	16,6	16,6	17,6	17,5
200	43,9	42,7	41,2	38,3	36,8	37,1	36,8	36,7	35,3	35,5
250	46,6	45,5	43,8	42,6	40,5	40,4	39,4	39,0	39,6	39,3
315	53,2	52,6	49,7	49,2	46,1	44,8	43,5	42,5	42,2	42,2
400	53,3	52,3	49,5	48,9	45,2	43,6	42,1	42,3	40,5	40,5
500	61,1	57,5	56,6	54,3	54,2	53,7	53,3	52,3	51,0	50,7
630	59,4	58,4	57,6	57,0	56,4	55,5	54,5	53,9	53,2	53,0
800	70,1	63,2	59,2	57,6	57,1	55,6	54,7	53,8	53,3	53,1
1000	72,8	67,7	65,5	62,9	62,0	58,5	58,0	57,5	57,4	56,9
1250	74,3	73,3	72,2	70,3	69,3	67,2	67,1	66,2	65,9	64,8
1600	73,0	73,4	73,4	71,6	72,1	71,0	71,0	70,4	70,5	69,6
2000	64,5	67,6	67,8	64,0	66,9	66,7	66,8	66,7	65,9	66,1
2500	58,6	63,5	63,5	58,7	62,6	62,5	62,8	62,4	61,5	61,6
3150	60,1	64,7	64,7	59,9	64,0	63,9	64,4	64,8	63,6	64,2
4000	72,4	74,6	74,5	70,9	73,4	73,4	73,7	73,8	73,1	73,5
5000	80,2	78,6	78,2	76,6	76,9	76,8	76,8	76,3	76,0	75,9



Koppi 1 Päällä				Koppi 2 Päällä			
Askeläänitasoluku L'_n [dB]				Askeläänitasoluku L'_n [dB]			
Taajuus [Hz]	Ei eristettä	Eriste 1	Eriste 2	Taajuus [Hz]	Ei eristettä	Eriste 1	Eriste 2
50	60,0	55,9	53,9	50	57,3	58,0	54,9
63	67,6	64,1	59,8	63	65,7	62,3	59,7
80	56,7	48,0	43,1	80	58,7	57,3	53,0
100	57,2	42,8	41,0	100	53,4	47,1	45,6
125	37,7	32,7	29,8	125	48,8	41,7	46,2
160	54,4	53,4	46,1	160	58,4	51,2	48,8
200	53,0	43,5	48,9	200	47,6	43,7	42,7
250	56,2	50,2	49,5	250	57,7	44,8	45,2
315	55,6	48,8	47,1	315	50,2	43,7	43,7
400	57,4	47,7	46,4	400	43,3	38,2	42,3
500	60,1	50,1	46,3	500	44,3	40,6	41,1
630	51,8	43,3	42,2	630	48,5	44,5	44,0
800	52,5	43,8	41,2	800	50,0	41,5	39,6
1000	51,2	38,6	37,3	1000	48,1	38,0	35,5
1250	43,4	31,9	34,1	1250	42,3	29,3	32,0
1600	40,0	28,9	32,3	1600	40,7	27,1	29,3
2000	35,8	20,9	23,1	2000	38,0	22,3	24,9
2500	34,0	15,2	17,7	2500	38,7	17,0	20,3
3150	34,8	13,9	14,3	3150	39,8	16,7	19,3
4000	30,6	9,6	9,5	4000	36,5	11,6	14,8
5000	22,3	0,7	-0,6	5000	26,1	0,5	4,2





Askeläänitasoluku L' _n [dB]										
Taajuus [Hz]	0 levyä	2 levyä	4 levyä	6 levyä	8 levyä	10 levyä	12 levyä	14 levyä	16 levyä	18 levyä
50	50,7	50,6	50,5	50,2	49,9	50,5	50,6	51,1	51,7	51,9
63	54,3	54,0	53,3	53,0	53,7	53,8	55,0	55,8	56,5	57,4
80	47,9	48,2	49,0	49,6	50,6	50,0	50,5	51,5	51,6	52,5
100	39,2	43,9	45,4	46,3	46,8	47,5	48,4	49,4	49,8	51,3
125	34,6	39,5	41,0	41,1	41,2	40,9	41,1	40,9	40,6	40,6
160	51,7	58,5	60,6	60,6	60,7	60,3	60,5	60,2	59,8	59,7
200	37,9	41,2	42,9	44,2	45,2	45,4	45,5	45,7	45,3	45,3
250	42,5	45,7	48,7	51,3	53,5	53,8	54,1	54,4	53,8	53,7
315	38,4	39,8	40,1	41,1	44,5	45,5	46,0	47,3	48,2	48,0
400	37,6	38,6	40,5	41,4	44,6	45,0	46,4	46,4	46,5	46,7
500	40,9	41,8	42,8	44,6	45,7	46,4	47,2	47,7	48,4	48,4
630	37,2	39,3	41,2	43,0	43,9	46,7	46,7	47,4	48,0	48,1
800	32,1	40,6	42,6	44,6	45,5	48,3	48,7	49,4	49,8	50,3
1000	30,3	33,9	38,2	39,7	40,9	43,3	44,4	44,9	45,1	45,4
1250	26,5	28,0	28,0	30,6	31,5	33,9	34,2	36,2	36,4	37,3
1600	26,0	26,6	26,3	28,1	29,3	28,6	28,9	29,3	29,5	30,1
2000	28,9	29,3	28,7	29,7	30,0	29,6	31,4	31,4	31,6	31,5
2500	29,4	29,9	29,3	30,5	30,6	29,9	33,6	33,5	33,6	33,2
3150	28,0	28,2	27,7	27,9	29,0	28,5	31,8	31,7	31,7	31,3
4000	26,9	26,4	22,2	22,3	26,5	26,4	26,5	26,4	26,3	25,8
5000	25,7	25,5	16,2	16,4	25,0	27,6	20,3	20,0	20,1	19,6

