



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tomi Saukkosaari

---

## Levyrakenteiden ja tiivistemateriaalien äänimittaus

Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Rakennustekniikan insinööri (AMK)



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantotekniikka

Tekijä: Tomi Saukkosaari

Työn nimi: Levyrakenteiden ja tiivistemateriaalien äänimittaus

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 42

Liitteiden lukumäärä: 11

---

Opinnäytetyön aiheena oli levyrakenteiden ja tiivistemateriaalien äänimittaukset. Tarkoituksena oli testata uusia mahdollisia rakennevaihtoehtoja tuotantoon. Tekijän tavoitteena oli saada lisää tietoa rakenteiden äänitekniikasta ja niihin liittyvistä mittauslaitteista. Työ on tehty Kurikan Interiööri Oy:lle. Yrityksen tavoitteena oli löytää parempia ratkaisuja tuotannossa tällä hetkellä oleville materiaaleille ja rakennetyypeille.

Mittaukset suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoululla rakennuslaboratorion tiloissa, jossa sijaitsee ilmajäneristysten mittauslaitteisto ja mittauksia varten rakennetut tilat. Näissä tiloissa yritys oli jo aikaisemmin suorittanut samankaltaisia mittauksia aikaisempien opinnäytetöiden parissa, joista saatiinkin hyvät vertailukohteet ja lähtökohdat mittauksiin. Aikaisemmissa opinnäytetöissä oli keskitytty puu- ja kipsilevyrakenteisiin, tämänkertaisten mittauksien tavoitteena oli selvittää erilaisten tiivistemateriaalien hyötyjä.

Mittaukset tehtiin kenttämittauksina. Seinäjoen Ammattikorkeakoulun ilmajäneristysten mittauslaitteistoon kuuluu 01 dB - stelli desibelimittari, vahvistin M700, kaiutin, mikrofoni Harmonie 4210, ultraäänimittari SDT Flex.Us ja kannettava tietokone, jossa oli mittausohjelma dBATI32. Mittauksia suoritti tekijän lisäksi Kurikan Interiööri Oy:n suunnittelija ja alussa oli mukana myös opinnäytetyön ohjaaja, joka tunsu äänilaitteiston toiminnan.

Haluttuja tuloksia ei aivan tullut, ääneneristystä ei saatu testitiloihin tarpeeksi korkealle. Suuntaa antavia tuloksia saatiin kuitenkin runsaasti, eli tiedämme mitä rakenteita kannattaa jatkokehittää vielä eteenpäin. Mittaukset suoritettiin standardin SFS-EN ISO 16283-1:2014 mukaisesti ja tulosten raportointi täyttää SFS-EN ISO 717-1:2013 vaatimukset.

<sup>1</sup> Asiasanat: Ääni, Ääneneritys, Levyrakenteet, Äänimittaus, Tiivistemateriaalit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Production Technology

Author: Tomi Saukkosaari

Title of thesis: Sound measurement of sheet structures and sealant materials

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2021

Number of pages: 42

Number of appendices: 11

---

The subject of the thesis was the sound measurements of plate structures and sealant materials. The aim was to test new potential structural options for production. The goal was to obtain more information about the sound technology of the structures and related measuring instruments. The work was done for Kurikan Interiööri Oy. The aim of the company was to find better solutions for the materials and types of structures currently in production.

The measurements were carried out in the construction laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. In these premises, the company had already carried out similar measurements in previous theses, including good benchmarks and starting points for measurements. The previous theses had focused on wood and plasterboard structures, the goal of the measurements for this thesis was to find out the benefits of various sealant materials.

The measurements were taken as field measurements. The air sound insulation measurement equipment in the construction laboratory includes 01 dB - stell decibel meter, amplifier M700, speaker, microphone Harmonie 4210, ultrasonic meter SDT Flex.Us and a laptop with the measurement program dBBATI32. The measurements were carried out with the designer of Kurikan Interiööri Oy in addition to the author and at the beginning the thesis supervisor, who knew the operation of the sound equipment, was also involved.

The desired results were not quite obtained, the sound insulation did not reach high enough in the test modes. However, there were plenty of directional results, showing what structures were worth further developing. The measurements were carried out in accordance with SFS-EN ISO 16283-1:2014 and the reporting of the results met the requirements of SFS-EN ISO 717-1:2013.

<sup>1</sup> Keywords: Sound, Sound-insulation, Sheet structures, Sound measurement, Sealant materials

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkuuettelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
JOHDANTO .....	8
1 AKUSTIIKAN KÄSITTEITÄ .....	9
1.1 Ääni .....	9
1.2 Värähdysliike .....	9
1.3 Ääniaallot .....	10
1.4 Taajuus eli jaksoluku .....	11
1.5 Ilmaäänien etenemistavat .....	11
1.6 Äänen taipuminen .....	12
1.7 Ääniteho ja aaltovastus .....	12
1.8 Äänenpaine ja intensiteetti .....	13
1.9 Desibeli .....	14
2 RAKENTEIDEN JA MITTAUSTEN ÄÄNITEORIAA .....	17
2.1 Äänen voimakkuuden mittaaminen .....	17
2.1.1 Intensiteettimenetelmä .....	17
2.1.2 Absorptiokerroin .....	17
2.1.3 Absorptioala .....	18
2.2 Kohina .....	19
2.3 Resonanssi-ilmiö .....	20
2.4 Ääneneristäminen .....	21
2.4.1 Ilmaäänien eristäminen .....	22
2.4.2 Askeläänien eristäminen .....	22
2.4.3 Runkoäänien eristäminen .....	23
2.4.4 Äänen vaimentaminen .....	23
2.5 Ilmaääneneristävyys .....	25

2.6	Laboratoriomittaus.....	28
2.7	Kenttämittaus .....	30
3	LEVYRAKENTEIDEN JA TIIVISTEMATERIAALIEN ÄÄNIOMINAISUUDET	32
3.1	Levyseinän äänieristys .....	32
3.2	Materiaalinvaihto sisäseinissä.....	32
3.3	Siirtoseinät.....	33
3.4	Tiivistemateriaali.....	34
4	ÄÄNIMITTAUSTEN TOTEUTUSTAPA JA TULOKSET .....	36
4.1	Ajankohta ja olosuhteet.....	36
4.2	Mittauksen toteutus .....	36
4.3	Mittausohjelma .....	37
4.4	Mittauskalusto .....	37
5	POHDINTA.....	40
	LÄHTEET .....	41
	LIITTEET .....	42

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Valkoinen kohina.....	19
Kuva 2. Vaaleanpunainen kohina.....	20
Kuva 3. Ilmaääneneristysluvun määrittäykäyrä.....	26
Kuva 4. Esimerkkilaskelma, keskustelu naapurihuoneessa.....	27
Kuva 5. Ilmaääneneristävyden mittaus laboratoriossa painemenetelmällä .....	28
Kuva 6. Ilmaääneneristävyys kentällä ja laboratoriossa mitattuna.....	31
Kuva 7. Sylomer vakiolaatujen kuormitettavuudet.....	35
Kuva 8. Vahvistin M700.....	38
Kuva 9. Mittausten kaiutin/ äänilähde.....	38
Kuva 10. Ultraäänimittari.....	39
Kuva 11. Mikrofonin ja ultraäänen vastaanotin.....	39
Taulukko 1. Äänitasoja rakennusten sisätiloissa.....	13
Taulukko 2. Yleiset melutasojen ohjearvot.....	16
Taulukko 3. Eri tavoin tuotetun puheen äänitasot.....	24
Taulukko 4. Ilmaääneneristävyden vertailukäyrän arvot.....	26

## Käytettyjä termejä ja lyhenteitä

<b>A-painotettu äänenpaine</b>	Yleisesti tehollisarvona, äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen.
<b>A-äänitaso</b>	SFS 2877/IEC 651 -standardin mukaisella A-suodattimella taajuuspainotettu äänenpainetaso.
<b>Meluemissio</b>	Melulähteen melupäästö.
<b>Meluumissio</b>	Melutaso tarkasteltavalla paikalla.
<b>Äänen taipuminen</b>	Äänisäteiden kaartuminen esimerkiksi pakkasen vaikutuksesta.
<b>Äänen taittuminen</b>	Äänen etenemissuunnan muuttuminen äänen edetessä rajapinnan lävitse.
<b>Äänitaso (LPA)</b>	A-taajuuspainotettu äänenpainetaso, jonka yksikkönä toimii dB.
<b>Enimmäisäänitaso</b>	(A-painotettu) LA, msx on tarkasteluajanjaksona esiintynyt voimakkuudeltaan korkein äänitaso määritetyllä aikapainotuksella. Ellei aikapainotusta erikseen mainita, tarkoitetaan aikapainotusta F (fast). Yksikkö on dB.
<b>Ilmaääneneristysluku</b>	$R_w$ tai $R'_{w}$ on numeroarvo, joka kuvaa kahden huoneen tai muun tilan välistä ilmaääneneristävyyttä.

## JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on levyrakenteiden ja tiivistemateriaalien äänimittaus. Rakennusteollisuudessa pyritään kaiken aikaa tehokkaampiin ääneneristysratkaisuihin samalla, kun säädökset ääneneristystä kohtaan kiristyvät. Jos rakenteiden ääneneristävyys ei ole riittävä, ratkaisuja on muutamia: joko rakenteista tehdään paksumpia, rakennejärjestystä saatetaan muuttaa, tai niitä vaihdetaan kokonaan uusiin parempiin ratkaisuihin. Työn tavoite on löytää optimaaliset materiaalit siirtoseinien levyrakenteille. Jos mittauksissa testattavat uudet rakenteet osoittautuvat vanhoja rakenteita tehokkaammiksi, voidaan ne parhaassa tapauksessa ottaa tuotantoon.

Työ on tehty Kurikan Interiööri Oy:lle, joiden valmistamien tilanjakajaseinien yksi oleellisimmista ominaisuuksista on kahden erillisen tilan ääneneristävyys. Heidän pääasiallisina tuotesortimentteinaan toimivat taiteövet, siirtoseinät ja seinäverhoukset (Kurikan Interiööri Oy, i.a.). Markkina-alueena toimii koko Suomi ja yrityksen liikevaihto vuonna 2020 oli 1,8 miljoonaa euroa sekä heidän henkilöstöluokkansa oli 10–19 henkilöä (Finder, i.a.).

Opinnäytetyössä käydään läpi äänen teoriaa, äänimittauksen toteutusta ja tutkitaan erilaisten ääneneristeiden tehokkuuksia ja heikkouksia.



# 1 AKUSTIIKAN KÄSITTEITÄ

## 1.1 Ääni

**Ääni** on kappaleen värinästä tai värinästä aiheutuvaa ilman aaltoliikettä (Rasa, 2009). Värinä saa ilmamolekyylit liikkumaan edestakaisin, mikä aiheuttaa ketjureaktion ja näin ääni kulkee ilmassa eteenpäin.

**Ilmaääni** on ilmassa etenevää aaltoliikettä eli ilmanpaineen vaihtelua (Siikanen, 2014, s. 136). Ilmaäänen tuottamiseen kuluu vähemmän energiaa kuin minkään muun äänen tuottamiseen. Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen. Esimerkiksi tyhjiössä ääni ei voi edetä.

## 1.2 Värähdysliike

Kappale on värähdysliikkeessä, kun se suorittaa edestakaista liikettä tasapainoasemansa ympärillä (Siikanen, 2014, s. 136). Liike siirtyy kappaleesta ympäröivään kimmoisaan väliaineeseen (esimerkiksi veteen) ja etenee siinä aaltoliikkeenä. Aaltoliikkeessä siirtyvä energia ilmenee sekä massaan liittyvänä liike-energiana, että kimmoisuuteen liittyvänä potentiaalienergiana. Ääni on energianmuoto, joka voi muuttua lämmöksi absorption (esim. ääntä imevän verhouksen) vaikutuksesta.

### 1.3 Ääniaallot

Ääniaallot ovat kimmoisia, eli elastisia aaltoja (Siikanen, 2014, s. 136). Niissä värähdysliike etenee joko pitkittäis- eli tiheysaaltoina tai poikittais- eli taivutusaaltoina.

**Pitkittäisaallossa** eli tihennysaallossa hiukkaset värähtelevät aallon etenemissuuntaan nähden joko täysin tai melkein kohtisuorassa. Siikasen (2014) mukaan pitkittäisaallossa syntyy väliaineessa tihentymiä ja harventumia, jotka seuraavat toisiaan. Pitkittäisaallot voivat edetä kaasuissa (esim. ilmassa), nesteissä ja kiinteissä aineissa.

**Poikittaisaaltoille** eli taivutusaalloille on normaalia, että värähtely tapahtuu etenemissuuntaa vastaan kohtisuorassa tasossa (Siikanen, 2014, s. 137). Poikittaisaaltoja esiintyy tavallisesti vain kiinteissä aineissa. Esimerkkinä poikittaisaalloista ovat muun muassa ohuiden seinien taivutusvärähtelyt. Pitkittäisaaltoja esiintyy suhteellisen vähän kiinteissä rakenteissa. Paljon suurempi vaikutus on taivutusaalloilla. Ohuissa levyissä, tangoissa ja köysissä, kuten rakennusten seinissä, välipohjissa, palkeissa, ja pilareissa, syntyy poikittaisaallon johdosta myös kappaleiden muodonmuutoksia, taipumia. Sen takia aaltoliikettä kutsutaankin juuri taivutusaalloksi. Taivutusaallon etenemisnopeus riippuu värähtelyn taajuudesta, se on samaa suuruusluokkaa kuin ilmassa etenevän äänen eli siis huomattavasti hitaampi kuin aineessa etenevän pitkittäisaallon. Koinssidenssitaajuudeksi kutsutaan taajuutta, jolla taivutusvärähtelyn etenemisnopeus on sama kuin ilmassa etenevän äänen nopeus. ( $f_c$ ).

**Aallonpituus** ( $\lambda$ ) on aaltoliikkeessä kahden samassa liikevaiheessa olevan hiukkasen välinen matka eli kahden toisiaan seuraavan aallonhuipun tai -laakson välinen etäisyys (Siikanen, 2014, s. 136–138). Pitkittäisaallossa se on esimerkiksi kahden tihentymän tai harventuman väli. Äänen aallonpituus ( $\lambda$ ) voidaan laskea jakamalla äänennopeus (340 m/s ilmassa) sen taajuudella. Siikasen esimerkissä 100 Hz:n ääniaalto on noin 3,4 metrin mittainen.

Aallonpituus voidaan siis laskea seuraavasti:

$$\lambda = \text{Äänen etenemisnopeus} / \text{taajuus} = c/f \quad (1)$$

## 1.4 Taajuus eli jaksoluku

Äänenkorkeuden aistimus johtuu äänen taajuudesta ( $f$ ) eli värähtelyjen lukumäärästä sekunnissa (Siikanen, 2014, s. 137). Taajuus ilmaisee hiukkasten täysien edestakaisten heilahdusten lukumäärän sekunnissa. Kuuloaistimus taas syntyy, kun ilmanpaineenvaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään. Pienitaajuiset värähtelyt käsitetään matalina ääнинä. Jos värähtely on tiheää, ääni koetaan korkeaksi. Oktaavi on äänialue, jonka ylimmän ja alimman taajuuden suhde on. Taajuuden yksikkö on  $1/s$  ja yksikkö hertsi (Hz).

**Äänen etenemisnopeus** ääni etenee eri nopeuksilla eri materiaaleissa (Siikanen, 2014, s. 138). Äänen etenemisnopeus ( $c$ ) riippuu väliaineen materiaalin lisäksi äänen etenemistavasta, äänen taajuudesta ja väliaineen lämpötilasta. Äänen etenemisnopeus ilmassa ( $c$ ) pystytään laskemaan normaali-ilmanpaineessa likimäärin seuraavanlaisesti kaavalla.  $c = 331,4 + 0,6 t$  (m/s), jossa  $t =$  lämpötila ( $^{\circ}C$ ). Kaasuissa ja nesteissä äänen etenemisnopeus on taajuudesta riippumaton, niin kuin myös kiinteissä aineissa etenevillä pitkittäisaalloilla.

## 1.5 Ilmaäänien etenemistavat

Äänen eteneminen äänilähteestä ympäristöön tapahtuu palloaaltona, tasoaaltona tai sylinteriaaltona (Siikanen 2014, s. 138).

**Palloaalto** esiintyy, kun äänilähde on pienehkö, pallomainen ja sen pinta värähtelee sinimuotoisesti, äänienergia jakautuu tasaisesti joka suuntaan (Siikanen, 2014, s. 138–139). Aaltorintama edustaa tietyllä hetkellä äänilähteestä lähtenyttä ääntä, jonka värähtely on samassa vaiheessa. Palloaallossa äänentaso alenee 6 dB etäisyyden kaksikertaistuessa, kun ollaan tarpeeksi kaukana äänilähteestä.

**Tasoaalto** esiintyy kun, peräkkäiset tihentymät muodostuvat pitkittäisaalloissa tasoista (Siikanen, 2014, s. 139). Etäällä äänilähteestä aaltorintamien kaarevuus pienenee ja ne lähenevät muodoltaan tasopintaa. Tässä tapauksessa puhutaan tasoaallosta. Käytännössä tasoaalto esiintyy aina kaukana äänilähteestä. Tasoaalto on siis aaltotyyppi, jossa peräkkäiset tihentymät muodostuvat tasoista.

**Sylinteriaalto** esiintyy, kun äänilähteenä on pitkä suljettu putki, jonka pituus pysyy muuttumattomana mutta säde muuttuu sinimuotoisesti, jolloin putken ympärille muodostuu sylinteri-

aalto. Sylinteriaallossa äänentaso alenee 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa, kun ollaan kaukokentässä. 6 dB:n ja 3 dB:n vaimenemissäännöt pätevät oltaessa kaukokentässä, eli kun äänilähteen välimatkat ovat pienemmät kuin etäisyysäänilähteestä.

**Äänen taipuminen:** kaikki aaltoliikkeet käyttäytyvät periaatteessa samalla tavoin (Siikanen, 2014, s. 139). Jos aallon tielle osuu este, joka on pienempi kuin aallon pituus, este ei vaikuta sanottavasti aallon etenemiseen. Jos taas este on aallonpituutta suurempi, aallon eteneminen muuttuu huomattavasti. Esimerkkinä tästä mm. vedessä oleva oksa, joka ei vaikuta mitenkään aallon etenemiseen. Sen sijaan aallonmurtajan kärjen kohdalla aalto taipuu jonkin verran kärjen ympäri, mutta kauempana kärjestä aaltoliike vaimenee verrattain kokonaan. Tässä tapahtuu aallon taipumista. Periaatteessa ääniaallot käyttäytyvät myös samalla tavoin. Aallonpituudella on oleellinen vaikutus äänen taipumiseen eli diffraktioilmiöön.

## 1.6 Ääniteho ja aaltovastus

Ääniteho ( $P$ ) eli akustinen säteilyteho on äänilähteestä ääniaallon mukana ympäristöön siirtyvää energiaa (Siikanen, 2014, s. 140). Yksikkö on watti ( $W$ ). Äänitehot ovat yleisesti pieniä. Esimerkiksi ihmisen puheen voimakkuus on  $10 \mu W$  eli 70 dB ja heavykonsertin  $100 \mu W$  eli 140 dB. Hyötysuhde on huono äänentuotossa johtuen suuresta aaltovastuserosta ilman ja värähtelevän pinnan välillä. Aaltovastus on kullekin kimmoisalle väliaineelle ominainen suure. Väliaineen akustinen ominaisimpedanssi ( $z$ ) kertoo väliaineen tuottamasta vastuksesta äänen etenemiselle. Se määritellään äänenpaineen ja hiukkassopeuden suhteesta vastaavasti, kun sähköopissa impedanssi määritellään jännitteen ja virran suhteesta. Akustinen ominaisimpedanssi selviää yhtälöstä.

$$z = p/v = \rho c,$$

(2)

jossa

$\rho$  = väliaineen tiheys

$c$  = ääniaallon etenemisnopeus

$v$  = hiukkassopeus

$p$  = äänenpaine

## 1.7 Äänenpaine ja intensiteetti

Äänenpaine ( $p$ ) on hetkellisen paineen ja staattisen eli ympäröivän ilmanpaineen välinen ero (Siikanen, 2014, s. 140). Staattinen paine muuttuu säätilan mukaan. Äänen voimakkuuden ilmaisee äänenpaine. Yksikkö on pascal (Pa). Äänenpaine on äänen kuulumisen kannalta merkittävä suure, sillä ympäröivän ilman staattisesta paineesta poikkeava äänenpaineen vaihtelu panee korvan tärykalvon värähtelemään ja saa aikaan kuuloaistimuksen. Äänenpaineen aiheuttama poikkeama staattisesta ilmanpaineesta on todella pieni. Esimerkiksi puheäänen äänenpaine on vain noin miljoonaosa staattisesta ilmanpaineesta. Paine-eron tulee olla vähintään  $0,00002 \text{ Pa}$  ( $=2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ), jotta äänen voi kuulla. Tätä rajaa sanotaan kuulokynnykseksi. Kuulokynnys kasvaa ihmisen vanhetessa. Äänitekniikassa käytetään aina ensimmäisen äänenpaineen sijasta tehollista äänenpainetta, jolla tarkoitetaan paineen neliömaista keskiarvoa, ellei erikseen toisin mainita. Äänenpainetaso ( $L_p$ ) on äänenpaineen ja vertailuäänenpaineen  $p_0$  ( $=20 \text{ pPa}$ ) suhteen kaksikymmenkertainen kymmenlogaritmi  $20 \lg (P/P_0)$ , yksikkö on dB.

Äänenpainetaso $L_p$	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto yöaikaan
35 dB	Toimistohuoneen taustamelu
45 dB	Pankkisalin taustamelu
55 dB	Toimisto, jossa kuuluu puhetta
65 dB	Normaali puheääni 1 metrin päässä
75 dB	Voimakas puheääni 1 metrin päässä
85 dB	Suurtalouskeittiössä koneiden käydessä
95 dB	Sinfoniaorkesterin voimakkaimmat äänet
105 dB	Kovaäänisen rock-konsertin aikana

**Taulukko 1.** Äänitasoja rakennusten sisätiloissa. (RIL 243-1-2007, 37).

Normaalisti äänen voimakkuuden mittana käytetään yhden neliömetrin pinta-alalle kohdistuvaa äänitehoa eli äänen intensiteettiä ( $I$ ) (Siikanen, 2014, s. 141). Kuulokynnystä vastaava äänen intensiteetti on yksi pikowatti eli  $0,000000000001 \text{ W/m}^2 (=10^{-12}\text{W/m}^2)$ . Ihmiskorva kuulee parhaiten 2000–4000 Hz:n taajuusalueella olevat äänet. Pintayksikön kautta aikayksikössä kulkenutta äänienergian määrä kutsutaan äänen intensiteetiksi. Yksikkö on  $\text{W/m}^2$ . Intensiteetin suuruus riippuu äänen tulokulmasta (= tulokulman kosini). Äänen osuessa kohtisuoraan pinnalle on intensiteetti.

$$I = p^2/z \quad (3)$$

jossa

$p$  = äänenpaine

$z$  = aaltovastus

Äänen intensiteetti on verrannollinen äänenpaineen neliöön (Siikanen, 2014, s. 141). Kyseinen suhde on voimassa tasoaallossa sekä sylinteri- ja palloaallossa, joissa käyryys on pieni. Äänen intensiteetin ja äänen paineen välinen riippuvuus on:

$$I = pv = p^2/z = v^2z, \text{ kun } z = p/v \quad (4)$$

## 1.8 Desibeli

Äänen voimakkuus ilmoitetaan yleensä suhteellisella (logaritmisella) asteikolla desibeleissä (dB) (Siikanen, 2014, s. 141). Sana desibeli on johdettu puhelimen keksijästä Bellistä – desibell – desibeli. Lähtökohtana on ollut intensiteettiasteikko. Intensiteettiasteikkoon päästään siten, että äänen intensiteettitasoa katsotaan kasvavan 1 "bel-yksikköä" eli 10 desibeliä, kun intensiteetti kasvaa kymmenkertaiseksi. Näin saadaan kahden äänen, joiden intensiteetit ovat  $I_1$  ja  $I_2$ , intensiteettitasoerolle  $D$  seuraava lauseke:

$$D_1 = \lg(I_1/I_2) \quad (\text{B}) = (\text{beli})$$

$$D_1 = 10 \lg(I_1/I_2) \quad (\text{dB}) = (\text{desibeli})$$

Ensimmäinen lauseke antaa tasoeron beleinä, jälkimmäinen desibeleinä (Siikanen, 2014, s. 141). Äänenpaineen, -intensiteetin ja äänitehon suuruus ilmoitetaan usein desibeliyksikköinä. Desibeliyksikköä käytettäessä puhutaan tasoissa eli äänenpainetaso (LP), äänen tehotaso ( $L_W$ ) ja äänen intensiteettitaso ( $L_I$ ). Logaritmisuuden takia kertolaskut muuttuvat yhteenlaskuiksi, se on desibeliyksikön merkittävin etu. Desibeliarvoja ei kuitenkaan aina ole yksiker- taista laskea yhteen, sillä esimerkiksi äänenpaineen suuruudesta huolimatta sen kaksinker- taistuminen merkitsee 6 dB:n painetaso- lisäystä ja kymmenkertaistuminen 20 dB:n lisäystä. Äänitehon tai intensiteetin kaksinkertaistuminen taas johtaa 3 dB:n ja kymmenkertaistuminen 10 dB:n lisäystä. 10 dB:n lisäys äänentasossa vastaa suunnilleen äänenvoimakkuusaisti- muksen kaksinkertaistumista.

Äänen kuuluvuus (foni) on koetun äänen voimakkuuden eli äänentason yksikkö (Siikanen, 2014, s. 141). Äänekkyystaso foneina 1000 Hz:n taajuudella on sama kuin äänenpainetaso dB:nä. Korva on herkin taajuusalueella 1000–4000 Hz. Herkkyys laskee siirtyessä tätä aluet- ta pienempiin tai suurempiin taajuuksiin.

Äänen kuultavuus (soni) on äänen elämyksellisen voimakkuuden eli äänekkyuden yksikkö (Siikanen, 2014, s. 143). Korvan kuulokyky ei täsmällisesti noudata logaritmistä asteikkoa. Soniasteikko on lineaarinen, joten sitä voidaan käyttää äänenvoimakkuuksien yhteenlaskus- sa apuna, ja se antaa myös paremman kuvan kuulokyvystä.

Kuultavuuden ja äänen voimakkuuden välinen riippuvuus.

1 soni = 40 fonia

2 sonia = 49 fonia

3 sonia = 54 fonia

4 sonia = 58 fonia jne.

## Melutasot

Valtioneuvoston antamien melutasopäätöksien (993/1992) mukaiset enimmäismelutasot. Keskiäänitason yhteydessä ilmoitetaan myös käytetty taajuuspainotus, tavallisesti A, sekä kyseessä oleva aikajakso. Esimerkiksi päivä- ja yöajan A-painotettu keskiäänitaso ilmaistaan seuraavilla lyhenteillä:

$$L_{Aeq\ 07-22\ h}, L_{Aeq\ 22-07\ h}.$$

**Taulukko 2.** Yleiset melutasojen ohjearvot (Pietikäinen, 1992).

Ohjearvot	$L_{Aeq\ 07-22\ h}$	$L_{Aeq\ 22-07\ h}$
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä sekä hoito- ja oppilaitoksia palvelevat alueet	55 dB	50 dB
Uudet edellä mainitut alueet	55 dB	45 dB
Loma-asumiseen tarkoitettut alueet, leirintäalueet, taajamien ulkopuolella olevat virkistysalueet ja luonnonsuojelualueet	45 dB	40 dB
Asuin-, potilas- ja majoitusalueet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoontumistilat	35 dB	35 dB
Liike- ja toimistohuoneet	45 dB	45 dB



## 2 RAKENTEIDEN JA MITTAUSTEN ÄÄNITEORIAA

### 2.1 Äänen voimakkuuden mittaaminen

Korvan luoma kuulotajunta on vaihteleva matalilla, keskikorkeilla ja korkeilla äänillä (Siikanen, 2014, s. 143). Lisäksi siihen vaikuttaa äänen voimakkuus eli intensiteetti ( $I$ ). Mitattaessa kuuloaistimusta foniasteikolla on ihmisen kuulo vastaanottavimmillaan 3000–4000 Hz:n välillä. Äänenpaine tai -paineitaso pystytään mitata laitteistolla, johon perinteisesti kuuluu voimakkuuksia osoittava mittari, mikrofoni, joka muuttaa äänenpaineen vastaavaksi jännitteen värähtelyksi. Se voidaan kalibroida näyttämään äänenpainetta desibeleinä. Jos laitteiston herkkyys eri taajuuksilla on vakio, sillä voidaan mitata äänen kokonaispaineitaso.

#### 2.1.1 Intensiteettimenetelmä

Intensiteettiä mitataan rakenteen lähellä 100–500 mm olevasta pisteistöstä esimerkiksi 200 mm:n välein, jolloin saadaan ns. ääneneristävyyskartta vakituisen eristävyysluvun ( $R$ ) lisäksi (Siikanen, 2014, s. 147). Kartan avulla pystytään paikallistamaan mahdolliset rakenteen vuotokohdat ja vuotavat taajuudet.

Intensiteettimenetelmällä (SFS-EN 9614-1) pystytään mittamaan suoraan äänitehoa rakenteen pinnalta (Siikanen, 2014, s. 146). Tavanomaisesti ääniteho on aina laskettu äänenpaineen välityksellä. Intensiteettimenetelmässä mitataan lähetyshuoneen äänenpaineitaso  $L_p$  ja sitten rakenteen läpi tuleva intensiteettitaso  $L_I$ , jolloin ääneneristävyys on:

$$R = L_p - 6 \text{ dB} - L_I$$

#### 2.1.2 Absorptiokerroin

Absorptiokerroin ( $\alpha$ ) on pinnasta heijastumatta jääneen ja siihen kohdistuneen äänienergian suhde (Siikanen, 2014, s. 170). Huoneen seinämiin osuneesta äänestä osa läpäisee seinä-

män, osa imeytyy eli absorboituu pintaan ja osa heijastuu takaisin huoneeseen. Heijastus on sitä voimakkaampi, mitä kovempi pinta on. Äänen täysin heijastavan pinnan absorptiokerroin on 0 ja seinämässä olevan aukon 1.

$\alpha$  = Absorptiokerroin

$\alpha = (W - W_1) / W$

### 2.1.3 Absorptioala

Absorptioalalla tarkoitetaan kokonaisabsorptiota muutettuna pinta-alaksi, jonka absorptiokerroin on yksi (Siikanen, 2014, s. 171). Esimerkiksi 2 m<sup>2</sup>:n mineraalivillan absorptioala on 1 m<sup>2</sup>, jos absorptiokerroin on 0,5. Absorptioala pystytään arvioida Sabine'n laskukaavan avulla. Amerikkalainen W.C.Sabine tutki viime vuosisadan vaihteessa korvakuulolla, sekuntikellolla ja urkupilleillä jälkikaiunta-aikaa kirkossa. Kokemusperäisesti Sabine sai jälkikaiunta-ajalle, huoneen tilavuudelle huoneessa olevalle absorptioalalle eli ääntä imevien pintojen määrälle seuraavan riippuvuuden. Perinteisesti äänen vaimenemista ja akustiikkaa tilassa edistetään huokoisilla materiaaleilla ja resonaattorirakenteilla. Kokonaisabsorptio huoneesta saadaan laskemalla yhteen huonetilan kaikkien pintojen absorptiot.

$$T = 0,163 V/A \tag{5}$$

jossa

T = jälkikaiunta-aika (s)

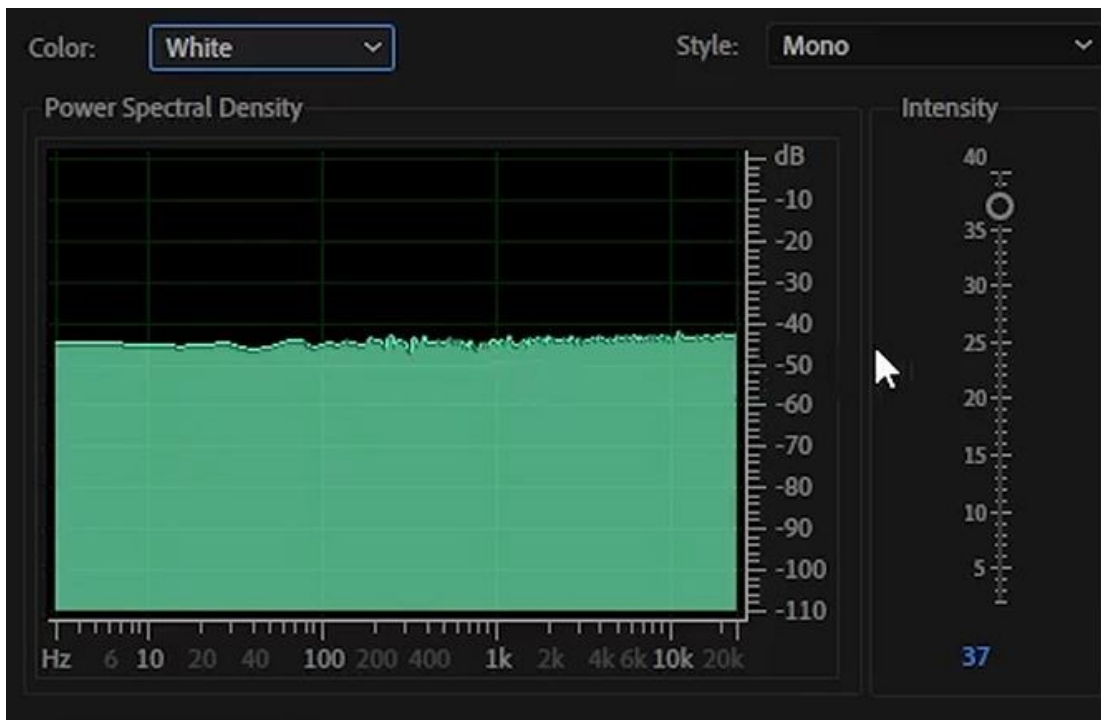
V = huoneen tilavuus (m<sup>3</sup>)

A = kokonaisabsorptio (m<sup>2</sup>)

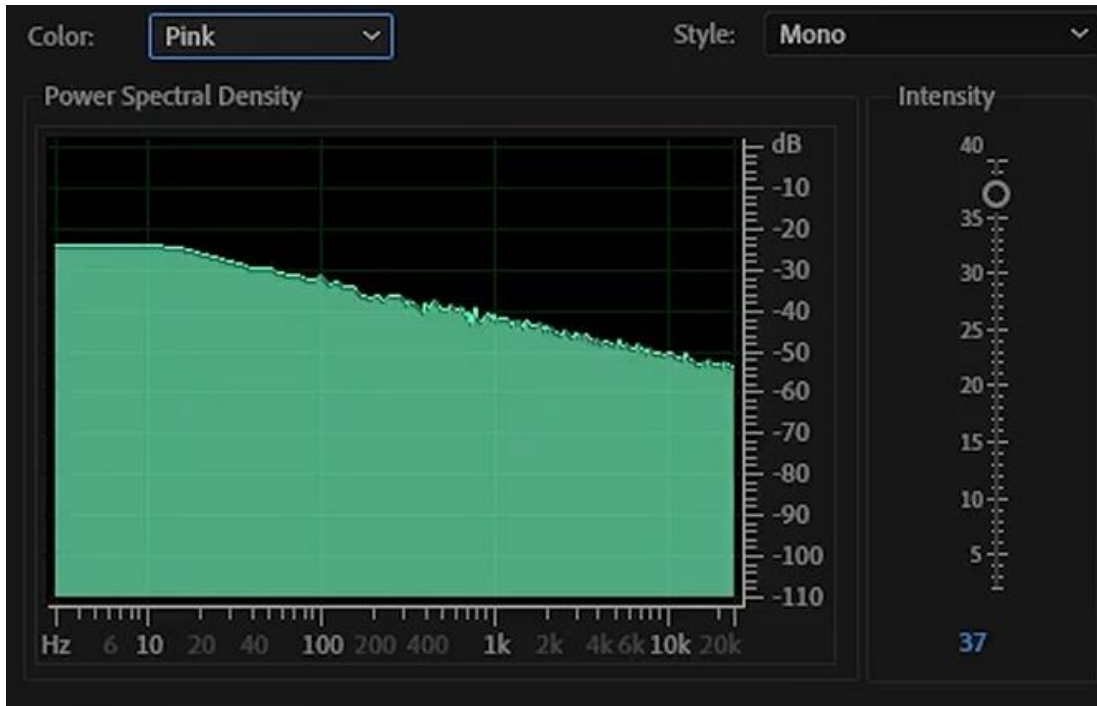
## 2.2 Kohina

Valkoinen ja vaaleanpunainen kohina, äänitekniikassa on usein käytössä nämä termit eri tavalla tuotetusta kohinasta (Mathias, 2021). Niiden erona valkoinen kohina koostuu yhtä suuresta energiasta taajuutta kohti ja vaaleanpunainen kohina koostuu yhtä suuresta energiasta oktaavia kohti. Tämä johtaa siihen, että vaaleanpunainen kohina kuulostaa hieman tummemmalta kuin valkoinen kohina, koska vaaleanpunaisen kohinan alemmille taajuuksille kohdennetaan enemmän energiaa, kun taas valkoisen melun korkeammille taajuuksille kohdennetaan enemmän energiaa.

Oktaavi välillä 1 kHz ja 2 kHz on 1000 Hz leveä, kun taas 8 kHz:n ja 16 kHz:n välinen oktaavi on 8000 Hz leveä (Mathias, 2021). Tämä tarkoittaa sitä, että jos energia jakautuisi tasaisesti kaikille taajuuksille, korkeammat oktaavit sisältäisivät enemmän energiaa kuin alemmat oktaavit.



**Kuva 1.** Valkoinen kohina, joka muodostaa suora viivan, mikä osoittaa, että jokaisella taajuudella on sama energiataso (Mathias, 2021).



**Kuva 2.** Vaaleanpunainen kohina, puolestaan muodostaa kaltevan viivan, jossa on enemmän energiaa, joka kohdistuu alemmille taajuuksille (Mathias, 2021).

### 2.3 Resonanssi-ilmiö

Rakennusosien, lattioiden tai seinien ilmaääneneristävyys on heikko, kun rakennusosien ja äänien värähtelyt ovat resonanssissa keskenään toisiaan vahvistaen (Siikanen, 2014, s. 140). Sen takia rakennusosien ominaistaajuus (resonanssitaajuus) ei saa olla yleisellä äänen taajuusvälillä (125–3000 Hz). Yksinkertainen seinärakenne toimii jousen lailla. Ominaistaajuus (resonanssitaajuus) määräytyy tiheyden, jännemitan, paksuuden, kiinnitystyylin, tiheyden ja kimmomoduulin mukaan. Tällä taajuusalueella seinän ääneneristysarvo heikkenee. Esimerkkinä 13 mm:n kipsilevyn resonanssitaajuus riippuu koolausvälistä seuraavasti:

- 400 mm	130 Hz
- 600 mm	60 Hz
- 900 mm	25 Hz
- 1200 mm	15 Hz

Tästä voimme päätellä, että resonanssitaajuus jää yleisimmin äänialueen ulkopuolelle, koolausvälin ollessa vähintään 600 mm.

Kaksinkertaisen seinärakenteen ääneneristysarvo nousee nopeasti resonanssitaajuusalueen yläpuolella, mutta resonanssitaajuusalueella kaksinkertaisen seinärakenteen ääneneristävyys on yleisesti heikempi kuin massaltaan vastaavan yksinkertaisen seinärakenteen (Lahtela, 2004). tästä voidaan päätellä, että kaksinkertaisen seinän alimman resonanssitaajuuden tulisi olla mahdollisimman matala. Kaksoisrunkoseinän, jonka runkopuoliskojen levytykset ovat samanpainoiset, alimman resonanssitaajuuden laskenta pystytään likimääräisesti tehdä kaavalla:

$$f_0 = \frac{85}{\sqrt{md}} \quad (6)$$

Kun runkopuoliskot ovat eripainoiset, käytetään kaavaa:

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}} \quad (7)$$

Jossa:

$f_0$  = seinärakenteen matalin resonanssitaajuus (Hz)

$m$  = yksittäisen puolen levyn/levyjen paino ( $\text{kg/m}^2$ )

$m_1$  = puolen 1 levyn/levyjen paino ( $\text{kg/m}^2$ )

$m_2$  = puolen 2 levyn/levyjen paino ( $\text{kg/m}^2$ )

$d$  = ilmatilan koko (m)

## 2.4 Ääneneristäminen

Ääneneristuksen tavoitteena on estää äänen siirtyminen tilasta toiseen (Siikanen, 2014, s. 144). Rakennusten suunnittelussa ja rakenteiden ja -tarvikkeiden valinnassa tulee ottaa lähes aina huomioon seinämien riittävä ilmanääneneristävyys, runko- ja askeleristävyys sekä huone-tilan kelvollinen jälkikaiunta. Ilmaääneneristysluku  $R_w$  tai  $R'_w$  on kahden huoneen tai muun tilan välistä ilmaääneneristävyyttä kuvaava lukuarvo, joka saadaan vertaamalla taajuuskais-toittain mitattua ilmaääneneristävyyttä standardisoituun vertailukäyrään. Ilmaääneneristysluku merkitään lyhenteellä  $R_w$  (dB), kun kyseessä on mittaus rakennuksessa (dB), ja kun kyseessä on eristävän rakenteen laboratoriomittaus lyhenteellä  $R'_w$  (dB). Sen yksikkö on dB.

### 2.4.1 Ilmaääneneristäminen

Rakenteen ilmaääneneristävyyteen vaikuttavia asioita ovat rakennusosan tiiviys, kerroksellisuus, reiät, reiät, kytkennät rakenteiden sisäpuolella ja liittäminen toisiin rakenteisiin. Yksinkertaisen rakenteen ääneneristävyysarvo riippuu yleensä rakenteiden m<sup>2</sup>-massoista ja tiiviyksistä, toisin kuin monikerroksissa rakenteissa on merkityksellistä myös keskinäisellä etäisyydellä, kerrosten jäykkyydellä, kytkennöillä ja väliaineella (Siikanen, 2014, s. 147).

Äänen eristykseen on käytössä toimintatavoiltaan erityyppisiä rakenne vaihtoehtoja:

- pelkistetyt massiiviset rakenteet tai niiden tavoin toimivia rakenteita
- jykevät rakenteet, joihin lisätty mukaan äänensäteilyä pienentävä rakenne
- kaksinkertaiset tai useampikertaiset rakenteet

### 2.4.2 Askelääneneristäminen

Askelääni on runkoääni, joka kuuluu muihin tiloihin, jonka aiheuttaa esimerkiksi lattialla tai portaissa kulkeminen (Kyyrönen, 2011, s. 171). Askelääneneristämistä tilojen välillä kuvataan askelääneneristävyydellä  $L'_{n,w}$  tai  $L_{n,w}$  (dB). Tärkeimmät askelääneneristävyyteen vaikuttavat rakenteen ominaisuudet ovat:

- rakenteen massa
- levyresonanssit, vältetään saman paksuisia ja -painoisia levyrakenteita
- lattiapäällysteet
- kattoverhoukset
- sivutiesiirtymät.

Sivutiesiirtymiä ovat

- ääneneristyminen sivuavaa rakennetta pitkin
- ääneneristyminen IV-kanavaa pitkin
- ääneneristyminen alakaton kautta

- äänien siirtyminen ikkunoiden kautta
- äänien siirtyminen putkistojen kautta.

Askelääneneristävyys ilmoitetaan 500 Hz:n kohdalla niin kuin ilmaäänieristyksessäkin (Kyyrönen, 2011, s. 171). Kevyet rakenteet läpäisevät matalia ääniä, joita askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  määrittämisessä ei huomioida. Nämä äänet kuuluvat häiritsevänä kuminana. Askeläänentasa merkitään  $L_{n,w}$  (dB), kun on kysymyksessä laboratoriomittaus ja  $L'_{n,w}$  (dB), kun kysymyksessä on rakennuksessa tapahtuva mittaus.

### 2.4.3 Runkoäänien eristäminen

Runkoääniä syntyy rakennukseen erilaisten kojeistojen käyntiäänistä siten, että kojeen värinä johtuu rakennusrunkoon (Kyyrönen, 2011, s. 176). Useimmiten myös kojeen käynnistä syntyy ilmaääntä, jonka eristäminen on myös otettava huomioon. Myös ilma- ja askelääni muuttuvat osittain runkoääneksi ja aiheuttavat sivutiesiirtymäilmiön, joka voidaan kuitenkin estää oikein tehtyjen seinä- ja välipohjaliittyvien avulla.

### 2.4.4 Äänen vaimentaminen

Äänen vaimentamisella tarkoitetaan äänentason alentamiseen tähtääviä toimia (Kyyrönen, 2011, s. 183). Askeläänien eristyksessä tämä saavutetaan peittämällä lattian pinta pehmeillä matoilla, jolloin runkoäänien syntyminen estetään. Ilmaäänien yhteydessä äänen vaimennus saadaan aikaan asettamalla huoneen sisäpintoihin ääntä absorboivia eli ääntä vaimentavia materiaaleja. Tätä kutsutaan huoneakustoinniksi. Akustoinnilla pystytään vaikuttamaan osittain myös ilmaäänien eristeiden määrään, koska niiden avulla voidaan vähentää rakenteiden läpi tunkevan äänenpaineen tehoa. Yleisimmin huoneakustoinnilla pyritään kumminkin huonetilassa puhutun äänen kuultavuuden ja ymmärrettävyyden parantamiseen. Huoneakustiikka perustuu äänen heijastusilmiön hallitsemiseen. Se on hyvin tärkeää julkisten huoneiden sisäverhouksia suunniteltaessa ja tehtäessä. Ääniaaltojen saapumisaikojen ero aiheuttaa epäselvää kuulemistä. Akustoinnilla estetään haitallisen eron muodostuminen minimoimalla äänen heijastumista.

Tilan akustisia ominaisuuksia kuvataan ns. jälkikaiunta-ajalla, joka ilmoittaa sen ajan, jonka kuluessa tilassa äänenpainetaso laskee 60 dB, siis esimerkiksi 100 dB:stä 40 dB:iin. Jälki-

kaiunta-aika yleensä kasvaa huone tilavuuden kasvaessa (Kyyrönen, 2011, s. 183).

**Taulukko 3.** Eri tavoin tuotetun puheen äänitasot yhden metrin päässä puhujasta kaiuttomassa tilassa (Rakennusinsinööriliitto (RIL), 243-1-2007, s. 55).

Hz	normaali dB	korotettu dB	voimakas dB
250	57,2	61,5	64,0
500	59,8	65,6	70,3
1k	53,5	62,3	70,6
2k	48,8	56,8	65,9
4k	43,8	51,3	59,9
8k	38,6	42,6	48,9
A	<b>59,5</b>	66,5	73,7
Lin	62,6	68,7	74,7

Äänitaso [dB]

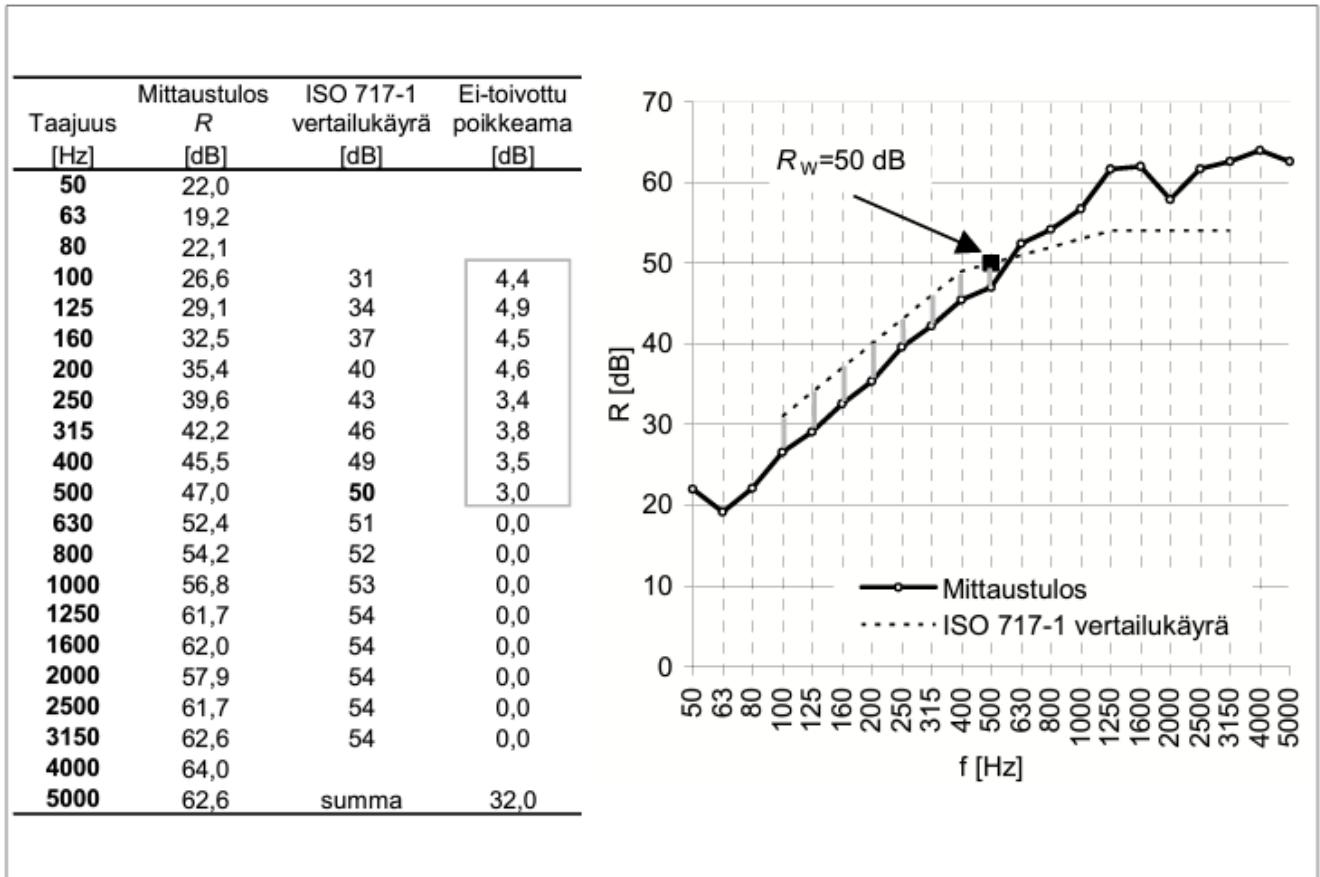
Taajuus [Hz]



## 2.5 Ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristävyys riippuu taajuudesta (RIL 243-1-2007, s. 59–60). Testitulokset esitetään normaalisti vähintään taajuuksilla 100–3150 Hz. Edellisellä tavalla saadaan siis kolmasosa-oktaavikaistan mittausarvoja. Tässä muodossa ilmaääneneristävyysarvoja on hankala käyttää. Siksi tarvitaan jokin pelkistävä yksinumeroinen esitystapa. Tätä varten on luotu ilmaääneneristysluku  $R_w$ , joka määritetään ISO 717-1 (42) mukaan. Vastaavasti kenttäolosuhteissa käytetään  $R'_w$ . Rakentamismääräykset ja suositukset esitetään  $R'_w$ :n arvolle. Ilmaääneneristysluku ei ole ilmaääneneristävyysarvojen keskiarvo, vaan eräänlainen painotettu keskiarvo. ISO 717-1 esittää erityisen vertailukäyrän, jonka muoto perustuu puheäänien taajuusjakaumaan ja toisaalta korvan herkkyyteen (kuva 3). Lähtökohtaisesti ilmaääneneristysluku on kehitetty pelkistämään kysymystä siitä, miten hyvin asuinhuoneistojen välillä olevat rakenteet eristävät puheääntä. Kuitenkin on otettu huomioon korvan herkkyys äänille, mikä taas liittyy A-painotukseen. Näiden johtuen optimaalinen ääneneristävyys velvoittaa korkeampia ääneneristysarvoja suurilla taajuuksilla kuin pienillä taajuuksilla. Pienten elementtien yksikköilmaääneneristysluku  $D_{n,e,w}$  määritetään samalla menetelmällä.

Ilmaääneneristysluku pystytään laskea kolmannesoktaavikaistoittain määritetyistä ilmaääneneristävyksistä (RIL 243-1-2007, s. 59–60). Ilmaääneneristävyksiä verrataan kuvan 3 mukaiseen vertailukäyrään. Vertailukäyrää siirretään 1 dB:n askelin sellaiseen asemaan, että ilmaääneneristävyksien ei-toivottujen poikkeamien summa vertailukäyrän arvoihin on enintään 32 dB. Ei-toivottu poikkeama tarkoittaa sitä, että ilmaääneneristävyys on pienempi kuin vertailukäyrän arvo. Kun vertailukäyrä on saatu sijoitetuksi korkeimpaan mahdolliseen asemaan, jossa edellä kuvattu ehto täyttyy, ilmaääneneristävyysluku  $R_w$  luetaan vertailukäyrältä 500 Hz:n kohdalta. Suomen rakentamismääräykset perustuvat ilmaääneneristyslukujen mittauksiin kolmasosa-oktaavikaistoittain.



**Kuva 3.** Ilmaääneneristysluvun määrittämiseksi katkoviivalla esitettyä vakimuotoista käyrää siirretään 1 dB:n portain ylimpään mahdolliseen asentoon, jossa ei-toivottujen poikkeamien summa ei ylitä arvoa 32,0 dB. Tässä asennossa  $R_W$ :n lukuarvo poimitaan katkoviivalta 500 Hz:n taajuudella. Ei-toivottu poikkeama tapahtuu, kun mittaustulos on vertailukäyrän alapuolella. (RIL 243-1-2007, s. 60).

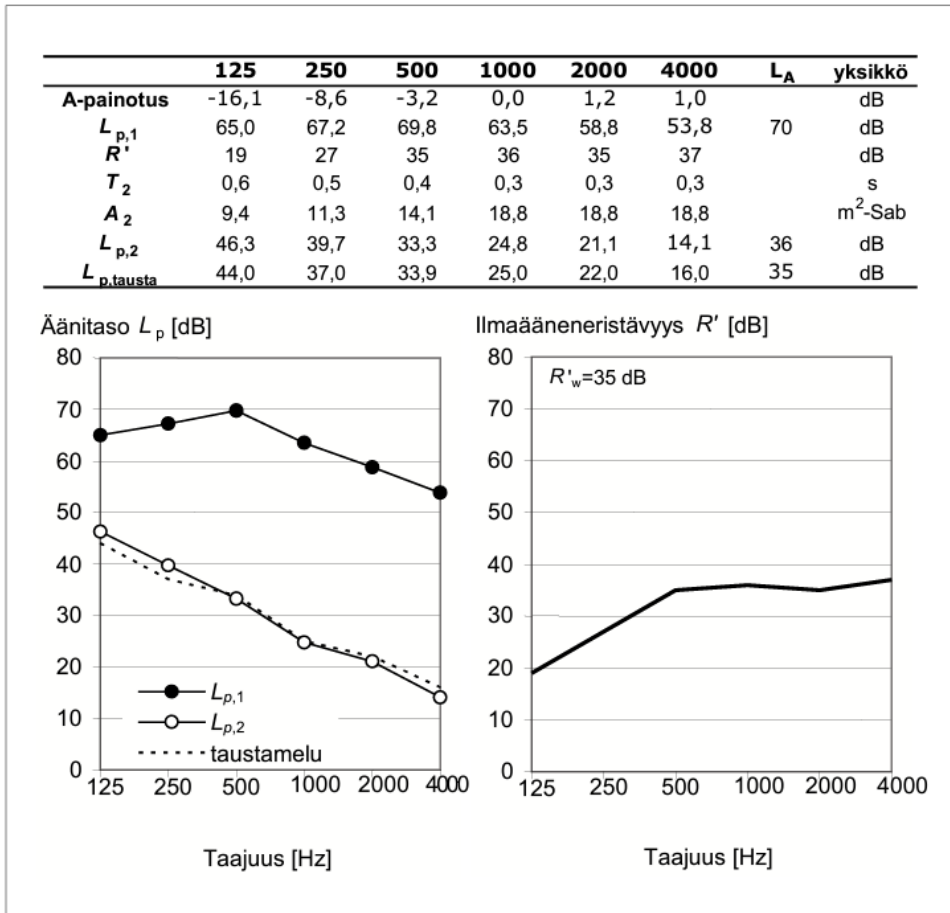
**Taulukko 4.** Ilmaääneneristävyyden vertailukäyrän arvot oktaavikaistoittain, kun ilmaääneneristysluvun arvo on 55 dB.

Keskitaajuus [Hz]	125	250	500	1 000	2 000
Vertailukäyrän arvo [dB]	39	48	55	58	59

Kun tiedetään tilojen välinen ilmaääneneristävyys  $R$ , voidaan arvioida, miten voimakkaana jokin tunnettu ääni kuuluu naapuritilaan yhtälöllä:

$$L_{p,2} = L_{p,1} - R + 10 \log_{10} S/A_2 \quad (8)$$

Kuvassa 4. on esimerkkilaskelma, miten normaali toimistohuoneessa käytävä keskustelu kuullaan naapurihuoneessa, kun tilojen välinen ilmaääneneristysluku on seuraavanlainen:

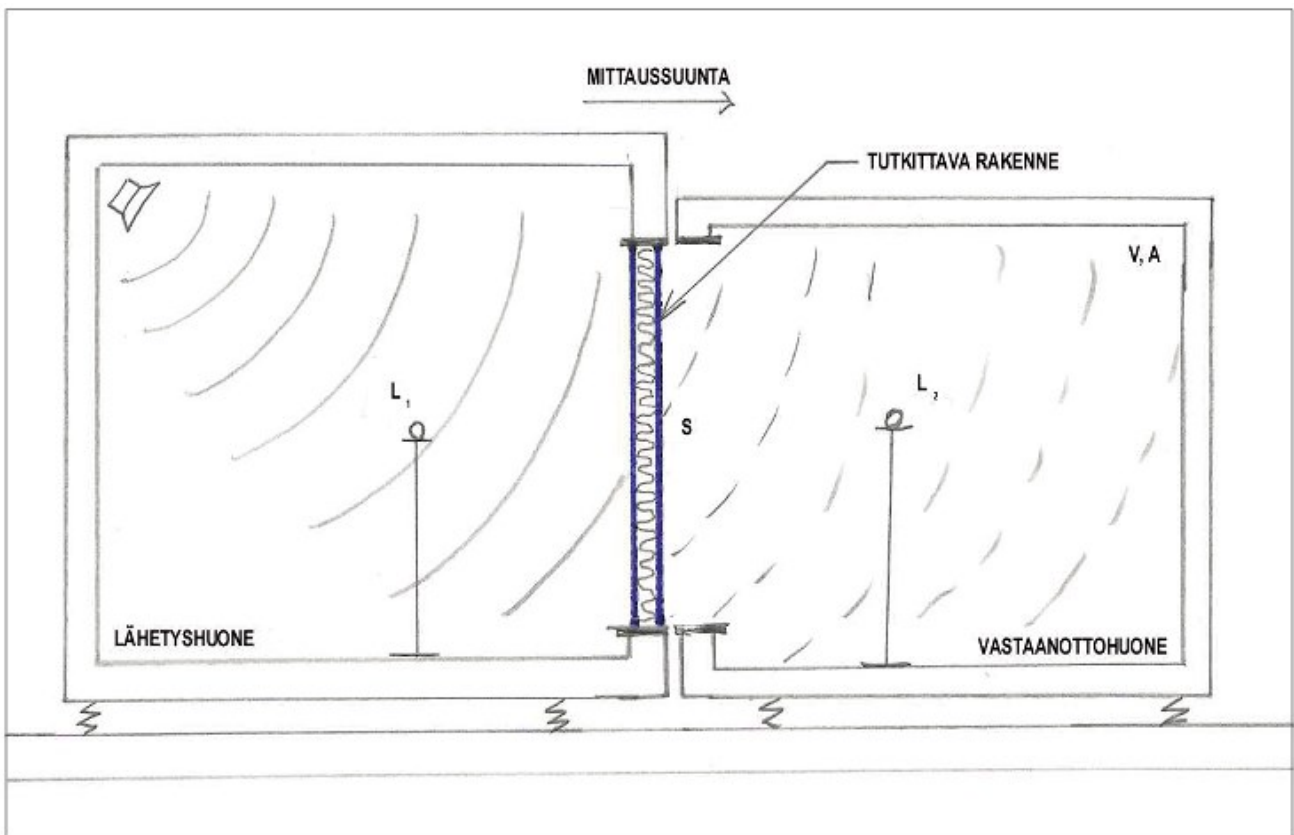


**Kuva 4.** Esimerkkilaskelma siitä, miten perinteinen keskustelu käytävässä ( $L_{p,1}$ ) kuuluu naapuritilaan ( $L_{p,2}$ ), kun tilojen välinen ilmaääneneristysluku on 35 dB. Vastaanottohuoneen tilavuus on  $V_2 = 35 \text{ m}^3$  ja erottavan seinän pinta-ala  $S = 10 \text{ m}^2$ .  $R'_w = 35$  dB. Puheen äänitaso  $L_{p,1}$  on saatu **taulukosta 2** korottamalla normaalin puheäänien äänitasoja 10 dB:llä.

## 2.6 Laboriomittaus

Laboriomittauksen tavoitteena on määrittää tietyn rakennusosan ilmaääneneristävyys luotettavasti (RIL 243-1-2007, s. 58). Laboratorio käsittää kaksi vierekkäistä huonetilaa, joiden välisessä väliseinässä on aukko tutkittavaa rakennusosaa varten (Kuva 5). Tutkittaessa välipohjia huoneet ovat päällekkäin. Jos näyte on aukkoa pienempi, aukkoa kavennetaan erityisellä täyteseinällä, jonka rakenteelle ja ääneneristykselle on omat vaatimuksensa.

Laboratoriojärjestelyn tavoite on saavuttaa tilanne, jossa voidaan luotettavasti mitata erityisesti sitä ääntä, joka siirtyy lähetyshuoneesta vastaanottohuoneeseen tutkittavan näytteen välityksellä (RIL 243-1-2007, s. 58). Sen vuoksi sivutiesiirtymät huoneiden välillä on estetty mahdollisimman hyvin. Mittaushuoneet ovat usein massiivisia ja toisistaan runkoääneneristettyjä, eikä huoneiden välisissä rakenteissa ole äänivuotoja. Tämän takia laboratorioarvoja ei voida saavuttaa rakennuksessa kuin ainoastaan tilanteissa, jossa sivutiesiirtymät ovat vähäisiä ja äänivuotoja ei ole lainkaan.



**Kuva 5.** Ilmaääneneristävyys mittaus laboratoriossa painemenetelmällä (ISO 140-3). Poikkileikkaus (RIL 243-1-2007, s. 58).

Yleensä rakennusosan ilmanäänieristävyys  $R(\text{dB})$  määritellään laboratorio-olosuhteissa äänenpainetason mittauksiin perustuvalla menetelmällä ISO 140-3 (31) seuraavasti kaavalla:

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log_{10} S/A_2 \quad (9)$$

$$A_2 = 0,16 V_2/T_2$$

Missä  $L_{p,1}$  on lähetyshuoneen äänenpainetaso (dB),  $L_{p,2}$  on taas vastaanottohuoneen äänenpainetaso (dB) ja  $S$  on tilojen erottavan rakennusosan pinta-ala ( $\text{m}^2$ ) (RIL 243-1-2007, s. 59).  $A_2$  on vastaanottohuoneen absorptioala ( $\text{m}^2\text{-Sab}$ ), joka lasketaan alemman kaavan mukaan, kun huoneen jälkikaiunta-aika  $T_2$  (s) ja tilavuus  $V_2$  ( $\text{m}^3$ ) tiedetään. Kaikki akustiset suureet määritetään useiden mittauspisteiden keskiarvoina tai logaritmisina keskiarvoina.

Rakenteet laboratoriohuoneissa täytyy olla toteutettu siten, että niiden kautta kantautuva äänitehotaso on vähintään 6 dB alempi kuin tutkittavan rakennusosan välittämä äänitehotaso (RIL 243-1-2007, s. 59). Jokaisella laboratorionäytteenottohuoneella on niin sanottu maksimiääneneristävyysarvo, jota suurempia ääneneristävyysarvoja ei pystytä enää luotettavasti mitata. Jos näytteen ääneneristävyysarvo on korkeampi kuin maksimiääneneristävyys, saadaan tuloksesta esittää vain alalikiarvo näytteen todellisesta arvosta.

## 2.7 Kenttämittaus

Kenttämittauksissa ja rakennuksissa käytetään samaa ilmaääneneristävyyden suuretta ja laskentakaavaa kuin laboratorioissakin, kuitenkin sillä erotuksella, että käytetään pilkkua,  $R'$  (RIL, 243-1-2007, s. 63-65). Pilkun tarkoitus on tehdä selkeä ero laboratoriomittaukseen.

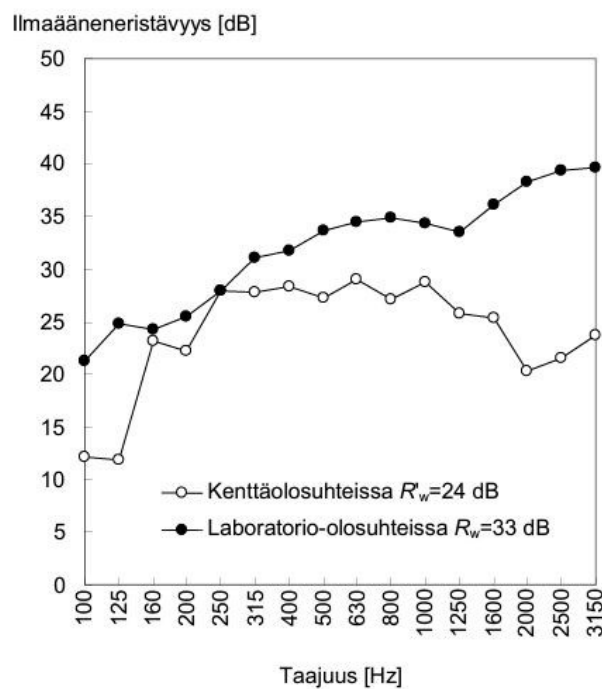
Rakennuksessa ääni ei siirry tilasta toiseen pelkästään tilojen erottavan rakennusosan välityksellä, vaan lukuisia erilaisia reittejä. Sen takia määräykset ja suositukset tilojen välisestä ilmaääneneristävyydestä annetaan ilmaääneneristyslukuina  $R'_w$ . Uusien rakennejärjestelmien ja rakennusosien liitosten kelpoisuutta tutkitaan usein kenttämittauksin. Kenttämittauksia suoritetaan haluttaessa tarkistaa tilojen väliselle ilmaääneneristysluvulle asetettujen vaatimusten täytyminen esimerkiksi rakennusten vastaanottomittauksen yhteydessä tai käyttäjävalituksen vuoksi.

Ilmaääneneristävyydlukuja  $R'_w$  koskevia määräyksiä on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (osa C1) ja suositusarvoja standardissa SFS 5907 (RIL, 243-1-2007, s. 63-65). Arvot on asetettu aina tilojen väliselle ilmaääneneristysluvulle, ei huoneita erottavalle nimenomaiselle rakennusosalle, kuten seinälle tai ovelle, vaikka huoneita erottaisikin vain yksittäinen rakennusosa. Rakennuksessa ääneneristävyys kertoo huoneiden välisen ääneneristävyyden, mutta ei sitä, mitä reittejä pitkin ääni kulkee. Rakennuksessa ääni etenee tilojen välillä lukuisia reittejä pitkin, ei pelkästään tiloja erottavan rakenteen kautta. Lisäksi rakennusosissa voi olla vuotoja, jotka johtuvat asennus- tai tuotevirheistä.

Monessa lähteessä kerrotaan, että kenttäolosuhteiden arvot ovat 3-6 dB laboratorioarvoja matalampia (RIL, 243-1-2007, s. 63-65). Näin ei saa kuitenkaan yleistää. Väärin suunnitellut sivuavat rakenteet aiheuttavat jopa 5-10 dB:n eroja  $R'_w$ :n ja  $R_w$ :n välille. Kun rakenteessa on vuotoja, ero voi olla jopa yli 20 dB.

Kuvassa 6. on esitetty esimerkki ovesta, joka on ensin mitattu laboratoriossa ja tämän jälkeen kenttäolosuhteissa todellisessa rakennuksessa. Esimerkkiä ei voi yleistää kaikille oville, mutta se osoittaa, että ovien asennus vaikuttaa huomattavasti mittaustulokseen.

Yksittäisten komponenttien tehot eivät heikkene, kun ne tuodaan kentälle, jos ne asennetaan samalla tavoin kuin laboratorio-olosuhteissa (RIL, 243–1–2007, s. 63–65). Rakentamismääräykset koskevat kuitenkin kaikkien äänen kulkureittien yhdessä tuottamaa ääneneristystä rakennuksessa esimerkiksi huoneistojen välillä.



**Kuva 6.** Kaksinkertaisen puuväliovien ilmaääneneristävyyden kentällä ja laboratoriossa mitattuna. Laboratorion ja kentän välinen ero on 9 dB. Ero johtuu pääosin tiivisteiden huonosta asennuksesta kohteessa (RIL, 243–1-2007, s. 63–65).

### 3 LEVYRAKENTEIDEN JA TIIVISTEMATERIAALIEN ÄÄNIOMINAISUUDET

#### 3.1 Levyseinien ääneneristävyys

Levyseinien ääneneristävyys riippuu seinärakenteiden kummallakin puolella olevien levyjen määrästä, tukirakenteiden mitoista, ja siitä onko käytössä yksin- vai kaksinkertaiset tukirungot sekä siitä mikä on tyhjän tilan eristävyys (Knauf Oy, i.a.). Mitä painavampia ja mitä enemmän levyjä käytetään, sen parempi on eristysteho. Tukirunkojen suurempi paksuus lisää ääneneristystä eritoten kaksinkertaisten tukirakenteiden yhteydessä. Seinissä, joiden ääneneristävyydet ovat erittäin hyviä, on kipsilevyt sijoitettu kaksinkertaisen runkorakenteen molemmille puolille, ja runkorakenteen tyhjä tila on eristetty mineraalivillalla.

#### 3.2 Materiaalinvaihto sisäseinissä

Kaksikerroksisella kipsilevyllä tehdyn seinän sisempi levy vaihdetaan vaneriin, seurauksena ääneneristävyys on minimaalinen, noin 1 dB, heikontuminen (Knauf, i.a.). Kaksikerroksisella kipsilevyllä tehdyn seinän sisäkerrokset vaihdetaan seinän molemmilta puolilta, ääneneristävyys tulee huonontumaan hieman enemmän, noin 3dB.

Tämän takia on kannattavaa parannella seinän ääneneristysarvoja, jos aikeissa on, käyttää vaneria seinän molemmilla puolin (Knauf, i.a.). Tämä tarkoittaa juuri sitä, että seinätyypissä QE 95/95 202 M45, eli seinässä, jossa on 45 mm:n mineraalivillaeristys, tulee eristeiden määrää nostaa 95 mm:iin. Näin seinän laboratorioarvoa saadaan nostettua 54:stä 57 dB:iin, eli 3 dB, joka korvaa seinän äänieristyksen odotetun heikentymisen vaihtaessa kipsilevyt seinän molemmille puolille. Tällä tavoin varmuusmarginaali tavoiteltavalle seinän ääneneristysominaisuudet saadaan säilytettyä samana.



### 3.3 Siirtoseinät

Siirtoseiniä rakennetaan sellaisten tilojen väliin, mitkä halutaan yhdistää nopeasti suureksi tilaksi (RIL 243-1-2007, s. 95). Tällaisia kohteita ovat muun muassa urheiluhallit, kokoustilat, kongressikeskukset, auditoriot, opetustilat, ja erilaiset monitoimisalit.

Siirtoseinät ovat yleensä 600–1200 mm leveistä ja lähes huoneen korkuisista seinäelementeistä, jotka roikkuvat kiskojen varassa (RIL, 243–1–2007, s. 95). Elementtien saumoissa on tiivisteet, jotka painautuvat tiiviiksi, kun elementti kiristetään paikoilleen. Kun siirtoseinä avataan, elementit työnnetään kiskoja pitkin seinän toiseen päähän säilöön. Elementtejä voidaan helposti liikuttaa ihmisvoimin kiskoja pitkin. Siirtoseinän sivuille ja yläpuolelle joudutaan rakentamaan kehysrakenteet, joita vasten rakennetaan kiskot ja muut siirtoseinien asennuksessa käytettävät urat.

Itse siirtoseinäelementin rakenteellinen ääneneristävyyden voidaan mitoittaa hyvinkin korkeaksi, jopa yli 50 dB (RIL, 243–1–2007, s. 95). Käytännössä on kuitenkin havaittu, että siirtoseinillä erotettujen huoneiden välillä ei päästä useinkaan yli  $R'_w = 40$  dB tason. Ääneneristysongelmat eivät liity aina itse siirtoseinään, vaan ongelma on sen ympärillä olevissa rakenteissa. Siirtoseinällä erotettujen huoneiden ääneneristävyyden voi olla vajavainen muun muassa seuraavista syistä johtuen:

- siirtoseinän yläkiskot vuotavat ääntä
- sivuavia seinärakenteita pitkin kantautuu ääniä
- siirtoseinässä on ovi, joka ei vastaa ääneneristävyyden vaatimuksia
- siirtoseinille rakennetut kehysrungot eristävät ääntä huonosti
- saumoista vuotava ääni, koska elementit eivät ole tarpeeksi tiivisti toisissaan kiinni
- tilojen välissä on ääneneristämätön ilmanvaihtokanava
- epätasaiset lattiat ja seinäpinnat, jolloin siirtoseinän tiivisteet eivät tiivisty niitä vasten.

Yleensä siirtoseiniä suunnitellaan jakamaan tilaa jälkeensä käyttäjän toivomuksesta (RIL, 243–1–2007, s. 96). Siirtoseinä rakennutetaan, että tilojen käyttö olisi monipuolista ja teho-

kasta. Tilojen välille ei läheskään aina ole rakennussuunnitelmissa asetettu ääneneristävyysvaatimusta. Tämä on haasteellinen tilanne, esimerkiksi seinärakenteet ja ilmavaihtojärjestelmä voivat aiheuttaa suuria sivutiesiirtymiä.

### 3.4 Tiivistemateriaali

Pääasiallisena tiivistemateriaalina tämänkertaisissa rakennemittauksissa oli **sylomer-eriste** (Rakennustieto, 2019). Tutkimme siis, kuinka hyvin se pärjasi suhteessa muihin tiivistemateriaaleihin.

Sylomer soveltuu erinomaisesti rakennuksen alle estämään liikenteen aiheuttamaa tärinää tai runkomelua (RT, 2019). Lisäksi eristettä voidaan käyttää esim. välipohjassa, lattioissa tai portaissa askelääneneristykseen. Se sopii myös erinomaisesti kevyisiin rakenteisiin, kuten puukerrostalojen tai ullakkohuoneistojen askel- ja runkoäänenvaimennukseen.

Materiaalina sylomer on solumaisesta polyuretaanista valmistettu elastinen matto (RT, 2019). Sylomerin staattinen kuormitettavuus on noin  $0,00005 \text{ N/cm}^2 - 0,06 \text{ N/cm}^2$  ( $0,5 \text{ kg/cm}^2 - 600 \text{ kg/cm}^2$ ) materiaalityypistä riippuen. Materiaalille on todettu pitkä elinkaari yli sata vuotta. Eristeet kestävät öljyä, rasvoja, laimeita happoja sekä lipeää. Materiaaleja on helppo työstää, asentaa ja liimata. Elastisuus säilyy myös hyvin alhaisissa lämpötiloissa.

### Sylomer- ja Sylodyn-vakiolaatujen kuormitettavuus

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

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

**Kuva 7.** Sylomer vakiolaatujen kuormitettavuudet (RT, 2019).

## 4 ÄÄNIMITTAUSTEN TOTEUTUSTAPA JA TULOKSET

### 4.1 Ajankohta ja olosuhteet

Siirtoseinien levyrakenteille ja palkeille toteutettiin äänimittaukset marraskuulla 2021. Mittausolosuhteet olivat jokseenkin haastavat lämpötila pyöri  $-15^{\circ}\text{C}$  tietämällä. Mittauspaikkana toimi Frami F vieressä sijaitseva merikontti, johon aikaisempina vuosina oli rakennettu äänimittauksetilat. Mittauksien ajaksi merikontin mittaushuoneet piti saada  $22^{\circ}\text{C}$  asteeseen, se kuvaa normaalia huonelämpöä, ja siten mittauksista saatiin luotettavampia. Merikonttiin kytkettiin lämmitys kaksi päivää ennen mittauksen aloittamista. Ääniolosuhteet olivat hyvät. Muutama kerran mittaukset jouduttiin toistamaan hetkellisen korkeaäänisen taustamelun takia. Se johtui siitä, että laboratorion parkkipaikka sijaitsi mittauskontin vieressä.

### 4.2 Mittauksen toteutus

Levyrakenteiden ja tiivistemateriaalien mittaus toteutettiin siten, että aluksi mitattava rakenne kiinnitettiin mittauskokoon kaikki raot reunoilta, tiivistettiin ja teipattiin umpeen, jolla seinästä saatiin yhtenäinen rakenne. Tarkistimme vielä mahdolliset vuotokohdat seinästä ultraäänimittarilla, jolla sai paikannettua hyvin tarkasti seinässä olevien vuotokohtien sijainnin.

Mikrofonille valittiin kolme eri sijaintia. Nämä merkittiin vastaanottohuoneen lattiaan, jolloin päästiin mahdollisimman luotettaviin mittaustuloksiin. Kaiuttimelle kaksi eri sijaintia ne merkittiin lähetyshuoneen lattiaan. Mikrofonin ja kaiuttimen asettelussa käytettiin standardin SFS EN ISO 16283-1: 2014:n (2014) mukaisia etäisyyksiä. Standardin määräämät vähimmäisetäisyydet mikrofonille oli 500 mm seinistä, katosta ja lattiasta. Kaiuttimen ja mikrofonin välinen vähimmäisetäisyys oli 1000 mm. Mikrofonin mittauspaiikkojen vähimmäisetäisyydet toisistaan on standardissa määrätty 700 mm. Tähän ei aivan päästy johtuen vastaanottohuoneen vähäisistä neliöistä. Mikrofonin ja kaiutin asetettiin 1200 mm korkeudelle lattiasta standardin mukaisesti.

### 4.3 Mittausohjelma

Mittaukset suoritettiin ilmaäänemittausohjelmalla dBATI32. ilmaäänemittauksessa suoritettiin seuraavat yksittäiset mittaukset:

- Background noise eli taustäänitaso
- Emission eli äänilähteen äänenvoimakkuus
- Airborne noise reception level eli ilmamelun vastaanottotaso
- Reverberation time eli jälkikaiunta-aika

jokainen edellä mainittu mittaus suoritettiin kuudesti, ja näistä insulation ohjelmisto laski painotetut keskiarvotiedostot. Siten kyseinen ohjelma pystyi laskemaan lopullisen mittaustuloksen mitattavan rakenteen ääneneristyksestä. Näin huoneistojen väliset ilmaääneneristävyyssmittaukset saatiin suoritettua SFS-EN ISO 140-4 ja ilmaääneneristävyyssluvun määrittämiseksi standardin SFS-EN ISO 717-7 mukaisesti 1/3 oktaavikaistoittain.

### 4.4 Mittauskalusto

Mittauksessa oli käytössä Seamkin rakennuslaboratorion äänenmittauslaitteisto, johon kuuluivat seuraavat laitteet: 01 dB - stelli desibelimittari, vahvistin M700, kaiutin, mikrofoni Harmonie 4210, ultraääni mittari SDT Flex.Us ja kannettava tietokone, jossa oli mittausohjelma dBATI32.



**Kuva 8.** Mittauksissa käytetty vahvistin M700.



**Kuva 9.** Mittausten Kaiutin/ äänilähde.



**Kuva 10.** Ultraäänimittari ja mitattava levyrakenteen.



**Kuva 11.** Mikrofonin ja ultraäänen vastaanotin mikkitelineeseen kytkettynä.

## 5 POHDINTA

Äänimittauksilla saatiin selville kuinka eri materiaalit parantavat tai heikentävät ilmaääneneristävyyttä tietyillä taajuuksilla levy- ja palkkimittauksissa. Vaikka mittaukset eivät olleet sertifioituja laboratoriomittauksia, ne antavat selvän kuvan siitä, mitkä materiaalit toimivat hyvin ilmaääntä eristävinä ja mitkä taas ovat huonoja siihen käyttötarkoitukseen. Ilmaääneneristävyyttä ei pysty parantamaan määräänsä enempää pitämällä seinärakennetta saman paksuisena.

Haasteellisinta tuotekehityksessä on tasapainotella edullisuuden, tuotantokelpoisuuden ja estetiikan välillä. Esimerkiksi jokin suhteellisen monimutkainen rakenne voisi olla teknisesti parempi, mutta liian iso askel tuotantoon vietäväksi, koska linjaston uudelleen rakentaminen ei ehkä kannata.

Oleellisin tapa taata tasainen laatu ääneneristyksessä on tarkka tiivisteiden asennus ultraäänimittarin avulla. Mittari osoittautui myös mittauksissa hyvin tärkeäksi. Sillä sai selville välittömästi selvät vuotokohdat rakenteissa. Ultraäänimittari sopisi hyvin mukaan työkohteisiin asentajien arsenaaliin.



## LÄHTEET

Finder. (i.a.). *Kurikan Interiööri Oy.*

<https://www.finder.fi/Puusep%C3%A4nliike+puusepp%C3%A4/Kurikan+Interi%C3%B6%C3%B6ri+Oy/Kurikka/yhteystiedot/150095>

Knauf Oy. (i.a.). *Rakenteet ja ääni.* <https://knauf.fi/suunnittelijoille/akustiikka/rakenteet-ja-aaeni>

Kurikan Interiööri Oy. (i.a.). *Kurikan Interiööri.* <http://www.kurikan.com/>

Kyyrönen, K. (2011). *Talon rakennus 2.* Jyväskylä: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Lahtela, T. (2004). Ääneneristys puutalossa. Wood Focus Oy. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/%C3%84%C3%A4neneristys-puutalossa-web.pdf>

Mathias, K. (2021). *White noise Vs Pink noise.* Audio University. <https://audiouniversityonline.com/white-noise-vs-pink-noise/>

Mattila, P. (2014). *Maanmittauslaitoksen melusanasto.*

Pietikäinen, S. (1992). *Yleiset melutasojen ohjeavot.* Helsinki: Ympäristöministeriö.

Rakennusinsinöörien liitto (RIL). 243–1-2007. (2007). *Rakennusten akustinen suunnittelu: Akustiikan perusteet.* Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Rakennustieto (RT). (1.9.2019). *Sylomer- ja Sylodyn-täriäeristeet.* [https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/58083\\_103116.pdf](https://www.rttuotetieto.fi/pub/media/resources/58083_103116.pdf)

Rasa, J. (2009). Esteetön kuunteluympäristö. KLV ry. <https://www.kuuloavain.fi/info/kuulo-ja-kuulovammat/mita-aani-on/>

Siikanen, U. (2014). *Rakennusfysiikka - perusteet ja sovelluksia.* Rakennustieto. (Alkuperäinen teos julkaistu 1996).

## LIITTEET

Liite 1. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 1

Liite 2. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 2

Liite 3. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 3

Liite 4. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 4

Liite 5. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 5

Liite 6. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 6

Liite 7. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 7

Liite 8. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 8

Liite 9. Kenttämittausraportti LEVYRAKENNE 9

Liite 10. Kenttämittausraportti PALKKIRAKENNE 1

Liite 11. Kenttämittausraportti PALKKIRAKENNE 2

Seuraavat sivut sisältävät yrityssalaisuudeksi luokiteltua materiaalia, joten niitä ei julkaista.

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 1.****RAKENNUSTEKNIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R':n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 2.****RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 3.****RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sup>n</sup> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 4.****RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI**

Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 5.****RAKENNUSTEKNIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 6.****RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sup>n</sup> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus



**Mittausraportti LEVYRAKENNE 7.****RAKENNUSTEKNIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	23.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 8.****RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI**

Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sup>n</sup> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	29.11.2021
<b>Mittajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti LEVYRAKENNE 9.** (Mittaus 4 rakenne toisella puolella mittausaukkoa)**RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI****Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain**

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>w</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	29.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

**Mittausraportti PALKKIRAKENNE 1.****RAKENNUSTEKNIKAN LABORATORIO**

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

**KENTTÄMITTAUSRAPORTTI**

Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>w</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	30.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus

## Mittausraportti PALKKIRAKENNE 2.



### RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO

Käyntiosoite: Juhonkatu 5, Seinäjoki

gsm 040 830 4159

### KENTTÄMITTAUSRAPORTTI

#### Ilmaääneneristävyyden määrittäminen 1/3-oktaavikaistoittain

<b>Tehtävä:</b>	Huoneistojen välisen rakenteen ilmaääneneristävyyden määrittäminen
<b>Menetelmät:</b>	ISO 140-4: 1998 (mittaus) ja ISO 717-1 (R <sub>n</sub> :n määrittäminen)
<b>Mittauskohde:</b>	Juhonkatu 5, Seinäjoki
<b>Mittauspvm:</b>	30.11.2021
<b>Mittaajat:</b>	Tomi Saukkosaari ja Juha Rossinen
<b>Lähetyshuone:</b>	Kammio 3,5m x 1,8m x 1,93m
<b>Vastaanottohuone:</b>	Kammio 1,35m x 1,8m x 1,93m
<b>Kuvaus rakenteista:</b>	Yrityssalaisuus
<b>Vastaanottohuoneen tilavuus:</b>	4,7 m <sup>3</sup>
<b>Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala S:</b>	1,5 m <sup>2</sup>
<b>Laitteisto:</b>	01dB-Stell, Harmonie 4210

Yrityssalaisuus