

Anna Rasilainen

Järjestelmäseinien ääneneristävyys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennusinsinööri

Insinööriyö

Tekijä(t) Otsikko	Anna Rasilainen Järjestelmäseinien ääneneristävyys
Sivumäärä Aika	51 sivua + 3 liitettä 17.3.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja(t)	Lehtori Anne Pietilä Myyntipäällikkö Harri Havukainen
<p>Tämän insinööri työn aiheena oli järjestelmäseinien ääneneristävyys. Työssä tutkittiin helposti asennettavien kevyiden väliseinärakenteiden ominaisuuksia ja niiden vaikutusta seinän ääneneristävyyteen. Työ tehtiin Inlook Oy:lle ja tarkastelun kohteena olivat yksinkertaiset lasiseinärakenteet ja kaksinkertaiset umpiseinärakenteet. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman luotettavia ja helppokäyttöisiä tapoja arvioida väliseinärakenteen ääneneristävyyttä.</p> <p>Työssä käytettiin ääneneristykseen arviointiin yksinkertaisen ja kaksinkertaisen levyrakenteen laskennallisia malleja, joita sovellettiin Inlook Oy:n väliseinärakenteille. Laskennassa saatuja arvoja verrattiin aiemmin saatuihin mittaustuloksiin, jotta voitiin selvittää niiden luotettavuus. Lisäksi tehtiin kenttämittaus Inlook Oy:n toimistolla sijaitsevissa lasiseinistä ja niiden ääneneristävyydestä, ja arvioitiin mittauksissa saatuja tuloksia laskennallisiin arvoihin.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin laskentamalli lasiseinien ja niihin liittyvien rakenteiden, kuten ovien, yhteisääneneristävyyden laskentaan. Laskentamallilla voidaan jatkossa arvioida väliseinärakenteiden ääneneristävyyttä jo seinän suunnitteluvaiheessa, ja näin ollen valita seinän materiaalit ääneneristysarvojen perusteella. Kaksinkertaisten rakenteiden eli umpiseinien ääneneristävyydestä ei saatu aikaiseksi toimivaa laskentamallia.</p>	
Avainsanat	ääneneristys, järjestelmäseinät, akustiikka, toimistorakentaminen

Author(s) Title	Anna Rasilainen Airborne sound insulation of partition walls
Number of Pages Date	51 pages + 3 appendices 10 March 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Construction Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Anne Pietilä, Lecturer Harri Havukainen, Sales Manager
<p>The subject of this bachelor's thesis is the airborne sound insulation of partition walls. Easy to assemble and lightweight partition wall structures and their sound insulating properties were studied. This thesis was made for Inlook Oy whose partition wall models were the main objects of consideration. The aim of this thesis was to find and create reliable and user-friendly methods to estimate the sound insulation of partition walls.</p> <p>Calculation models of single and double plate structures were used for evaluating the sound insulation properties of Inlook Oy's partition wall models. Both glass and solid walls were calculated with the calculation models. The calculations were compared to earlier measured sound insulation values to ensure their reliability. Field measurements of two ready installed glass walls were made at the Inlook Oy office. The results of these measurements were then compared to calculation values of the same structure.</p> <p>As a result of this thesis, calculation models to calculate the overall sound insulation values for glass wall structures with joined structures such as doors were produced. With this calculation model it is possible to estimate the sound insulation values of a glass wall structure at an early planning stage of the structures and to select the wall materials by these values. The calculation models of the double plate walls were not as successfully created and because of that they can not yet be used for sound insulation value evaluations.</p>	
Keywords	sound insulation, partition walls, acoustics, offices

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tavoite ja toteutustapa	1
1.2	Työn rajaus	2
2	Ääneneristys	3
2.1	Ääni	3
2.2	Huoneakustiikka	5
2.3	Ilmaääneneristys	7
2.3.1	Rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttavat tekijät	8
2.3.2	Lasirakenteen ääneneristävyys	10
2.3.3	Ovi- ja sähköpielirakenteiden ääneneristävyys	12
2.4	Ääneneristävyyden määrittäminen	13
2.4.1	Ääneneristävyyden mittaaminen	14
2.4.2	Ääneneristävyyden laskeminen	18
2.5	Toimistotilojen ääneneristävyysvaatimukset	26
3	Inlook Oy:n järjestelmäseinät	28
3.1	Lasiseinät	29
3.2	Umpiseinät	32
4	Ääneneristävyyslaskelmat	33
4.1	Inlook Glazy ja Slidy dB	34
4.2	Inlook Woody	38
4.3	Inlook Handy dB ja Flexy dB	40
5	Ääneneristävyysmittaukset	43
5.1	Mittauksen kulku	44
5.2	Mittau tulokset	46
6	Yhteenveto	49
	Lähteet	51

Liitteet

Liite 1. Ääneneristävyysslaskelmat

Liite 2. VTT:n mittaustulokset Glazy ja Flexy dB

Liite 3. Akukon Oy:n mittauspöytäkirja

Käsitteet

Järjestelmäseinä	Järjestelmäseinä on helposti asennettava ja purettava väli-seinäratkaisu.
Karkaistu lasi	Karkaistu lasi on lämpökäsiteltyä lasia, joka rikkoutuessaan hajoaa pieniin murusiin, jotka eivät ole teräviä.
Kimmoduuli	Kimmoduuli eli kimmokerroin kertoo rakenneosaan kohdistuvan jännityksen suhteen sen aiheuttamaan muodonmuutokseen.
Laminoitu lasi	Kaksi ohutta lasikerrosta on kiinnitetty toisiinsa läpinäkyvällä liima-ainekerroksella. Yleisimmin käytetty polyvinyylibutyräali (PVB).
Oktaavi	Oktaavi on sävelkorkeuden intervalli, jonka aikana taajuus kaksinkertaistuu.
R	Käytetään tässä työssä laskennallisesti saatujen ääneneristysarvojen merkinä.
Resonanssi	Resonanssi on myötävärähtelyä eli esimerkiksi rakenne värähtelee samassa tahdissa kuin siihen osuva ääni.
R' _w	Kenttämittauksen tuloksena saatu ilmaääneneristysluku.
R _w	Laboratoriomittauksen tuloksena saatu ilmaääneneristysluku.
Ääneneristävyys	Rakenteen ääneneristävyys kuvaa sen kykyä vaimentaa ääntä.

1 Johdanto

Toimistotilojen viihtyvyys on tärkeä tekijä työhyvinvoinnin edistämisessä. Viihtyvyyteen vaikuttaa suuresti toimiston melutaso ja sitä kautta toimistotilojen akustiset ominaisuudet. Tilojen akustiset ominaisuudet ovat riippuvaisia niihin valituista rakenneratkaisuista ja näiden ääniteknisistä ominaisuuksista. Ääntä eristävillä väliseinillä voidaan toimistotiloihin luoda rauhallisia työ- ja neuvotteluhuoneita.

Tämän työn aiheena on järjestelmäseinien ääneneristävyys. Työssä tutkitaan erilaisten toimistoväliseinäratkaisujen ääneneristysominaisuuksia. Järjestelmäseinät ovat kevyitä ja helposti asennettavissa olevia väliseiniä, joita käytetään lähinnä toimitiloissa, mutta myös asuinrakennuksissa. Järjestelmäseinien ääneneristävyys ei ole yksinkertaisesti arvioitavissa pelkästään materiaalien ja niiden ominaisuuksien perusteella, koska ääneneristävyys perustuu rakenteen kokonaisuuteen ja ennen kaikkea sen tiiveyteen.

1.1 Tavoite ja toteutustapa

Työn tavoitteena on kartoittaa ääneneristykseen vaikuttavia tekijöitä ja mahdollisuuksia ääneneristyksen parantamiseen. Työssä halutaan selvittää erilaisten väliseinärakenteiden ominaisuuksia ja niiden vaikutusta ääneneristävyyteen, sekä sitä miten osista koostuva väliseinärakenteen osat vaikuttavat ääneneristykseen. Tavoitteena on saada selkeää ja luotettavaa tietoa ääneneristyksen arvioimisesta laskennallisin keinoin ja mittaamalla. Tulokseksi halutaan saada luotettavia ja helposti käytettävissä olevia menetelmiä arvioida rakenteen ääneneristävyyttä, ja tätä kautta helpottaa tuotteiden markkinoimista.

Työ tehdään Inlook Oy:lle, joka on vuonna 1967 perustettu rakennusalan yritys, jonka päätoimialoja ovat sisäkatto- ja väliseinäurakointi, sekä näiden materiaalien markkinointi. Järjestelmäseinät ovat osa Inlook Oy:n tuotevalikoimaa, ja niiden tutkittu ääneneristävyys on erittäin tärkeä ominaisuus nykymarkkinoilla. Työssä keskitytään Inlook Oy:n olemassa olevien seinämällien ja niiden ääneneristävyyden tarkasteluun, laskelmien ja aikaisemmin mitattujen ääneneristävyyssarvojen avulla. Lisäksi työhön kuuluu Inlook Oy:n toimistolla sijaitsevien lasiseinien ääneneristyksen kenttämittaus.

1.2 Työn rajaus

Työssä keskitytään ilmaääneneristykseen ja siihen vaikuttaviin tekijöihin yksin- ja kaksinkertaisissa levyrakenneseinissä. Ääneneristysarvo mallinnetaan laskennallisoin keinoin ja mallit perustuvat yksinkertaisiin laskentakaavoihin. Aikaisemmat Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen (VTT) tekemät mittaukset rakenteiden ääneneristysarvoista ja uudet työssä tehdyt mittaukset ovat vertailupohjana laskelmille. Tutkimus perustuu Rakennusmääräyskokoelman rakenteille antamiin ohjearvoihin, sekä Rakennusinsinööriliiton ja Työterveyslaitoksen laskentamateriaaleihin. Ääneneristävyksien laskennassa ja mittauksissa on otettu huomioon SFS ISO -standardit 140-4, sekä 717-1.

2 Ääneneristys

2.1 Ääni

Ääni on aaltoliikkeenä liikkuvaa ilmanpaineen vaihtelua. Äänen lähde tuottaa ympäristöönsä ilman tihentymiä ja harventumia, jolloin tämä liike saa ympäristön ilmahiukkaset liikkeelle ja ääni pääsee etenemään. Ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään ja synnyttää näin kuuloaistimuksen. Värähtelyn tiheys vaikuttaa äänen koettuun korkeuteen, tiheä ääni koetaan korkeaksi ja pienitaajuinen ääni matalaksi. (1, s. 35; 2, s. 9.)

Äänentaajuudet

Äänentaajuus kertoo äänen korkeuden, eli se kuvaa värähtelyn määrää jaettuna ajalla jonka aikana se on havaittu. Taajuus on siis värähtelyjen määrä sekunnissa. Äänentaajuuden yksikkö on hertsi eli Hz (1/s). Ihminen kykenee kuulemaan 20 - 20 000 hertsin taajuuksia. Tätä alemmat äänet ovat infraääniä, jotka ihminen aistii lähinnä tärinänä. Ihmisen kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuuksien mukaan. (1, s. 35; 2, s. 9.)

Äänen eteneminen

Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen. Tällaisia väliaineita ovat esimerkiksi ilma ja erilaiset rakenteet. Äänen nopeus on riippuvainen lämpötilasta. Äänen nopeutta kuvataankin arvolla c . Eli kun ilman lämpötilan oletetaan olevan 20°C, on äänen nopeus ilmassa tällöin 343 m/s. (1, s. 35; 2, s. 9, 14.)

$$c = 331 + 0,6t \left[\frac{m}{s} \right] \quad (1)$$

Äänenpaine ja äänenpainetasot

Ihminen aistii äänen ilmanpaineen vaihteluna, tätä kutsutaan äänenpaineeksi p . Äänenpaineet välillä 20 μPa – 20 Pa ovat aistittavissa äänenä, tätä korkeammat äänenpaineet muuttuvat kipuaistimuksiksi. Äänenvoimakkuutta voidaan kuvata äänenpainetasona L_p . Äänitaso kuvaa fyysikaalisen äänenpaineen voimakkuutta. Äänenpaineen alin kuultava taso on 0 dB ja kipukynnyksen äänenpainetaso 120 dB. Kuuloaisti on herkimmillään taajuusalueella 2000 – 5000 Hz, jonka molemmin puolin herkkyys pienenee. Tämä edellä mainittu kuuloastin herkkyys voidaan ottaa huomioon A-painotuksella (L_A), joka lisätään keskitaajuuksittain äänenpainetasoihin. Äänenpainetasoja rakennuksen sisällä on esitetty taulukossa 1. (1, s. 36-39.)

Taulukko 1. Äänenpainetasoja toimistorakennuksen sisällä. (1, s. 37)

Äänenpainetaso L_p	Äänilähde
35 dB	Toimistohuoneen taustamelu
55 dB	Toimisto, jossa kuuluu puhetta
65 dB	Normaali puheääni 1 metrin päässä
75 dB	Voimakas puheääni 1 metrin päässä

2.2 Huoneakustiikka

Äänenkulkeutumiseen ja havaittuun äänentasaan huoneen sisäpuolella vaikuttavat sekä jälkikaiunta-aika että äänen absorptio. Myös rakenteelliset sivutiesiirtymät on otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa. (1, s. 50; 3, s. 20-21.)

Jälkikaiunta-aika

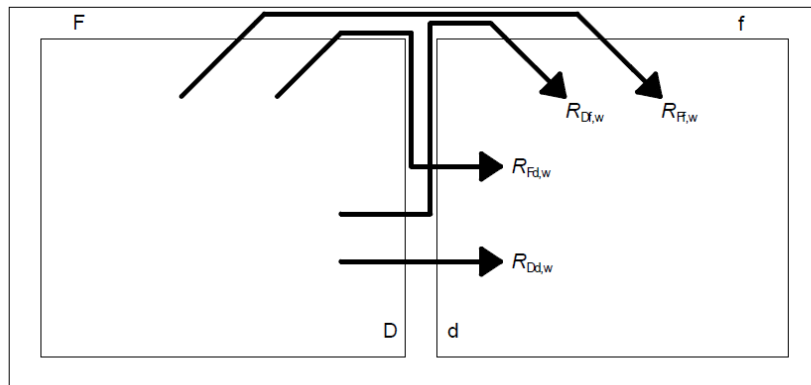
Jälkikaiunta-aika kuvaa äänen tilaan synnyttämän äänen äänenpainetason laskuun menevä aikaa, sen jälkeen kun äänilähde sammutetaan. Jälkikaiunta-aika vaikuttaa suurilta osiin huonetilassa käytäviin keskusteluihin. Jos jälkikaiunta-aika on pitkä puheen selkeys heikkenee, siksi esimerkiksi neuvotteluhuoneissa jälkikaiunta-aika on hyvä ottaa huomioon. Näissä tiloissa on tärkeää myös, ettei huoneen absorptioala ole liian suuri, eli sen äänenpainetaso ei laske liian alhaiseksi, jolloin ääni ei erotu muun äänen joukosta. (1, s. 50; 3, s. 20-21.)

Absorptio ja absorptioala

Absorptio on rakenteen pintamateriaalin ominaisuus. Se vaimentaa huonetilan sisällä syntyviä ääniä, eli vaikuttaa huoneen sisäiseen akustiikkaan, kun taas ääneneristys estää äänen kulkeutumista viereiseen huoneeseen. Jos materiaalilla on suuri absorptiosuhde, se ei heijasta ääntä juurikaan takaisin huoneeseen. Absorptiosuhde sijoittuu välille 0–1. Absorptioala kertoo huoneessa olevan absorptiomateriaalin määrän neliömetreinä. (1,s. 46, 49; 3, s. 18, 20.)

Sivutiesiirtymä

Ääni ei kulje rakennuksessa vain tiloja erottavan rakenteen läpi, vaan myös tiloja ympäröivien rakenteiden ja LVIS-järjestelmien kautta. Tällaista äänen kulkeutumista kutsutaan sivutiesiirtymäksi. Rakenteellisia sivutiesiirtymiä ovat sellaiset äänen kulkeutumisreitit, joihin osallistuu vähintään yksi tilaa ympäröivä rakenne. Tilassa oleva äänilähde saa kaikki tilaa ympäröivät pinnat värähtelemään, ja siksi ääni siirtyy myös muita reittejä pitkin huoneesta toiseen. Rakenteellisia sivutiesiirtymiä syntyy rakennuksissa täysin poikkeuksetta, ja niitä on hyvin vaikea estää. LVIS-järjestelmien kanavien, putkien ja johtojen kautta kulkeutuva sivutiesiirtymä on mahdollista estää eristämällä ääntä kuljettavat kanavat hyvin. Kuvassa 1 on esitetty mahdollisia äänenkulkeutumisreittejä rakennuksen eri osia pitkin. (1, s. 106; 3, s. 87.)



Kuva 1. Sivutiesiirtymä: Äänen kulkeutumisreitit (3, s. 90)

2.3 Ilmaääneneristys

Ääneneristuksen tarkoitus on estää äänen kulkeutuminen tilasta toiseen. Ilmaääneneristys on siis ilmassa kulkevan äänen eristämistä. Ääneneristystä parantamalla voidaan saada toimistotiloista paremmat esimerkiksi työviihtyvyyden kannalta. Ääneneristyksessä äänen energia voi, joko muuttua lämmöksi, jos rakenteen sisällä on absorptiomateriaalia tai heijastua takaisin huoneeseen. Äänen eristyksessä on tärkeää huomioida myös koetun ääneneristuksen vaikutus. Jos ääneneristystä lähdetään parantamaan, on tärkeää huomioida, onko ääneneristuksen parantaminen todella kustannustehokasta. Ääneneristuksen parantaminen parilla desibelillä ei tuo juurikaan lisää koettua ääneneristävyttä. Taulukossa 2 on esitetty ääneneristuksen parantamisen vaikutus koettuun ääneneristykseen. (1, s. 39; 3, s. 16; 4, s. 3.)

Taulukko 2. Ääneneristuksen muutoksen vaikutus havaittuun ääneneristykseen. (2, s. 13)

Muutos	Havainto
1-2 dB	Tuskin havaittava
3-4 dB	Havaittava, melko pieni
5-6 dB	Selvästi havaittava, oleellinen muutos
7-8 dB	Suuri muutos
yli 10 dB	Hyvin suuri muutos

Rakenteen ääneneristävyttä tutkittaessa, on tärkeää tietää melulähde, jolta tilaa aiotaan suojella. Tässä tutkimuksessa keskitytään toimistotilojen ääneneristykseen, eli tutkittava melulähde on puheääni. Ääneneristävyttä tarkastellaan puheäänen taajuusalueella. Puheäänen taajuuspainotuksessa käytetään Suomessa A-painotusta. A-painotuksella otetaan huomioon kuulon herkkyys, sillä ihmisen kuuloaisti ei ole yhtä herkkä kaikilla taajuuksilla. Kuulo on herkimmillään 2000-5000 Hz taajuusalueella, jonka molemmilla puolilla herkkyys vähenee. A-painotus vähentää näiden vähemmän herkkien alueiden vaikutusta äänenpainetason mittauksessa. (1, s. 39; 3, s. 16; 4, s. 3.)

Yleisimmin ilmaääneneristävyttä arvioidessa käytetään C- ja Ctr-painotuksia. Molempia käytetään lähinnä voimakkaan melun yhteydessä, eikä niitä siksi ole tässä työssä huomioitu rakenteiden laskennassa. (3, s. 16.)

2.3.1 Rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttavat tekijät

Rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttavat tilan akustisten ominaisuuksien lisäksi rakenteen tiiveys ja sen liitokset muihin rakenteisiin. Jos rakenne on kiinnitetty muihin rakenteisiin joustavin liitoksin, se ei pääse resonoimaan yhtäläillä, kuin jos liitokset olisi tehty täysin jäykiksi. Rakenteen tiiveyteen vaikuttavat siinä olevat raot ja niiden tilkitseminen. Rakojen vaikutus ilmaääneneristävyyteen on merkittävä lähinnä korkean ääneneristävyyden omaavilla rakenteilla. Raon vaikutus riippuu myös itse raon ääneneristävyydestä. Jos rako on kovaseinäinen, voidaan sen ääneneristävyydeksi arvioida 0 dB. Rako vaikuttaa rakenteen ääneneristävyyteen joka tapauksessa heikentävästi. (1, s. 86.)

Näiden ominaisuuksien lisäksi rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttaa rakenteen koostumuksesta johtuen erilaisia seikkoja. Näitä seikkoja erilaisille kevyille rakenteille on lueteltu taulukossa 3.

Taulukko 3. Rakenteeseen vaikuttavat tekijät.

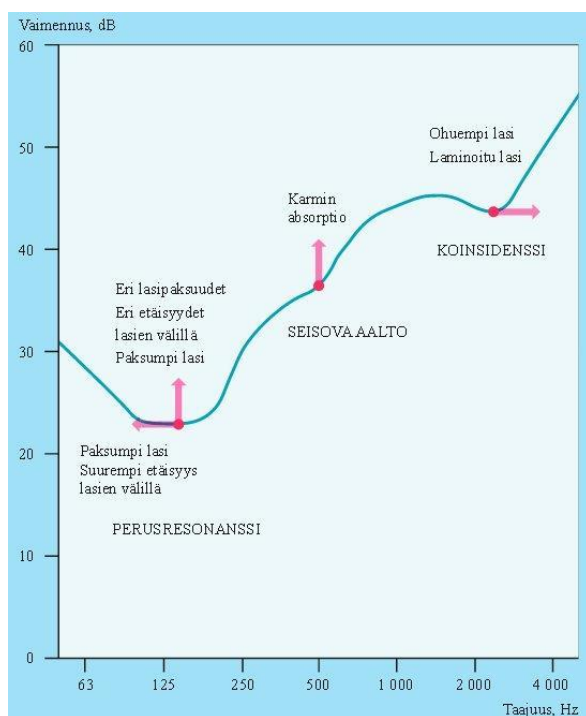
Rakenne	Vaikuttavat tekijät
Yksinkertainen levyrakenne esim. lasi	Massa Jäykkyys
Kytkemätön kaksinkertainen levyrakenne	Massa Ilmavälin paksuus Absorptiomateriaali
Kytetty kaksinkertainen levyrakenne	Kytkentöjen määrä Kytkentöjen jäykkyys

Rakenteisiin vaikuttavia tekijöitä yksinkertaisessa rakenteessa ovat massa ja jäykkyys. Massan aiheuttama vaikutus näkyy massalaissa, kun taas jäykkyys on merkittävä tekijä ylemmillä taajuuksilla, eli koinsidenssitaajuuden yläpuolella. Massalaki pätee vain koinsidenssin rajataajuuden puolikkaaseen asti. Massalaksi kutsutaan sitä, kun ääneneristävyys pienillä taajuuksilla kasvaa 6 dB taajuuden tai massan kaksinkertaistuessa. Massalaki määrää ohuessa yksinkertaisessa rakenteessa ääneneristävyyden pienillä ja keskisuurilla taajuuksilla. (1, s. 70-73; 3, s. 35-36, 47-49; 5, s. 21.)

Koinsidenssi-ilmiössä rakennuslevyn pintaan osuvan ääniaallon jättämä jälki ja levyssä oleva äänen aiheuttama taivutusaalto etenevät samalla nopeudella, jolloin ääneneritys heikkenee. Tällöin levyyn syntyy resonanssi, kun sekä ääni että levy värähtelevät samalla taajuudella. Ohuen levyn ääneneristys paranee, kun sen pintamassa kasvaa ja jäykkyys pienenee. Jos levy on jäykkä, sen koinsidenssin rajataajuus on alhaalla. Ääneneristävyyden kannalta olisi hyvä, jos rakennusmateriaalin koinsidenssin rajataajuus olisi yli 2500 Hz. (1, s. 70-73; 3, s. 35-36, 47-49; 5, s. 21.)

2.3.2 Lasirakenteen ääneneristävyys

Lasin ääneneristävyys on riippuvainen sen massasta, tiheydestä ja jäykkyydestä, ja näin ollen se on verrannollinen lasin paksuuteen. Paksumman lasin massa on suurempi, joten ääniaaltojen on vaikeampaa saada se liikkeelle. Käytännössä tämä tarkoittaa massalain mukaisesti sitä, että jos lasin paksuus kaksinkertaistetaan niin periaatteessa sen ääneneristävyys nousee 6 dB verran matalilla äänentaajuuksilla. Paksummalla lasilla saadaan siis rakenteen resonanssia siirrettyä alemmille taajuuksille ja parannettua ääneneristystä matalilla taajuuksilla. Kuvassa 2 on esitetty lasin ääneneristävyysvaikutteiden vaikuttavia tekijöitä. (1, s. 97-99; 6, s. 8-9; 7, s. 38-39.)



Kuva 2. Lasin ääneneristyskäyrä ja siihen vaikuttavat tekijät (7, s. 38)

Paksu lasi vaikuttaa kuitenkin rakenteen koinsidenssitajuuden sijoittumiseen. Mitä paksumpi ja jäykempi rakenne, sitä merkittävimmille taajuuksille koinsidenssin rajataajuus sijoittuu. Jos koinsidenssin rajataajuus halutaan siirtää pois merkittävillä äänentaajuuksialueilta, täytyy valita joko ohuempi lasi tai vaihtoehtoisesti laminoitu lasi.

(1, s. 97-99; 6, s. 8-9; 7, s. 38-39.)

Laminoidun lasin jäykkyys on pienempi kuin esimerkiksi saman paksuisen pelkästään karkaistun lasilevyn jäykkyys. Laminointikalvo tekee lasirakenteesta joustavamman ja estää värähtelyn siirtymistä suoraan lasista toiseen. Kalvon paksuus vaikuttaa laminoidun lasin ääneneristyskykyyn. Laminointikalvolla voidaan parantaa lasin ääneneristävyttä jopa 5 dB karkaistuun lasiin verrattuna. Myös ääneneristyskalvoja on mahdollista laminoida lasien väliin. (1, s. 97-99; 6, s. 8-9; 7, s. 38-39.)

Lasirakenteen ääneneristävyttä on mahdollista parantaa myös valitsemalla rakenteeseen eripaksuiset lasit. Tästä on hyötyä varsinkin rakenteessa jossa on kaksi lasia, joiden välissä on ilmarako. Tällaisessa rakenteessa ääneneristävyden kannalta tärkeä ilmiö on resonanssi. Resonanssissa rakenteen värähtely voimistuu, koska sitä kohtaavan ilmaäänien taajuus on sama kuin rakenteen ominaistaajuus, eli taajuus, jolla rakenne itsessään värähtelee. Resonanssitaajuusalue olisi hyvä saada kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen alapuolelle, eli alle 100 Hz:ä. Kahden eripaksuisen lasin vaikutus perustuu siihen, että äänen aiheuttama värähtely lasirakenteessa ei jatku tasaisena, kun toinen lasi ei värähtelekkään samaan tahtiin ensimmäisen lasin kanssa, joten ääni vaimenee. (6, s. 8-9; 7, s. 38-39.)

Myös yksinkertaisessa rakenteessa eripaksuisista lasista voi olla hyötyä, jos valitaan laminoitu lasi, jossa laminoidut lasit ovat eri paksuisia. Kustannussyistä useimmiten valitaan kuitenkin laminoitu lasi, jossa molemmat lasit ovat yhtä paksuja, sillä tällaisen lasin valmistaminen on helpompaa. (6, s. 8-9; 7, s. 38-39.)

2.3.3 Ovi- ja sähköpielirakenteiden ääneneristävyys

Ovi- ja sähköpielirakenteet ovat tärkeässä osassa toimistotilojen suunnittelua. Ovi osoittautuu useimmiten toimistohuoneen heikoimmaksi kohdaksi ääneneristävyyden kannalta. Ovi voi olla joko jo pelkästään rakenteeltaan niin kevyt, ettei sen ääneneristävyys nouse kovinkaan suureksi tai se voi olla huonosti tiivistetty. Oven huono ääneneristävyys voi heikentää koko rakenteen ääneneristävyyttä useammalla desibelillä. Oven vuoksi toimistoväliseinien ääneneristysvaatimus käytävän ja toimiston välille onkin vain 25 dB. Huonosti tiivistetty ovi ei käytännössä koskaan saavuta yli 25 dB:n ääneneristysarvoja. Ovien valinnassa on myös huomioitava siihen liittyvät sähköpielet ja oven yläosat. Näiden rakenteiden tulee olla ääneneristävyydeltään oven ääneneristävyyttä vastaavia. Jos ääni pääsee läpi sähköpielestä (kojeiden läpiviennit yms.) tai oven yläosasta, on suuremman ääniluokan oven valinta turha. (8, s. 12-13; 9, s. 8.)

Ovien ääneneristävyyden yhteydessä puhutaan usein ääniluokista. Oven ääniluokkaa ei kuitenkaan saa sekoittaa oven R_w -arvoon. Jos oven ääniluokka on 25 dB, on sen R_w -arvo 30 dB. Jos taas ovi on ääniluokkaa 30, sen R_w -arvo on 37 dB. Ääniluokka kuvaa oven keskimääräistä ääneneristävyyttä, ja R_w -arvo on ovelle laboratoriomittauksissa saatu ääneneristysarvo. (8, s. 12-13; 9, s. 8.)

2.4 Ääneneristävyyden määrittäminen

Rakenne ja sen ääneneristävyys vaikuttavat suurelta osin siihen miten ääneneristys koetaan toimivaksi. Ne eivät ole kuitenkaan ainoat tekijät, vaan koettuun ääneneristävyyteen vaikuttaa myös kuuntelijan puolella huoneessa vallitseva taustäänitaso. Jos taustäänäntä on vähän äänet erottuvat toisesta huoneesta paremmin kuuntelijan puolelle, kuin jos taustäänäntä olisi enemmän. Taustäänänet ovat ilmanvaihdon tai esimerkiksi liikenteen aiheuttamaa tasaisena jatkuvaa ääntä, jotka ovat luonnollisena osana kuuntelijan puolen huoneen akustisia ominaisuuksia. Jos rakenne mitoitetaan siten, että puheen äänitaso vaimenee yli 20 dB taustamelutason alapuolelle, on mahdollista, ettei puheääni kuulu huoneesta toiseen ollenkaan. Käytännössä useimmiten ääneneristykellä saadaan aikaiseksi se, että puhe kuuluu seinän läpi, mutta tavuerotettavuus on huono, eli sanoista ei saa selvää. Taulukossa 4 on esitetty ääneneristyksen vaikutusta puheen kuuluvuuteen seinän läpi. (1, s. 67-69; 3, s. 68.)

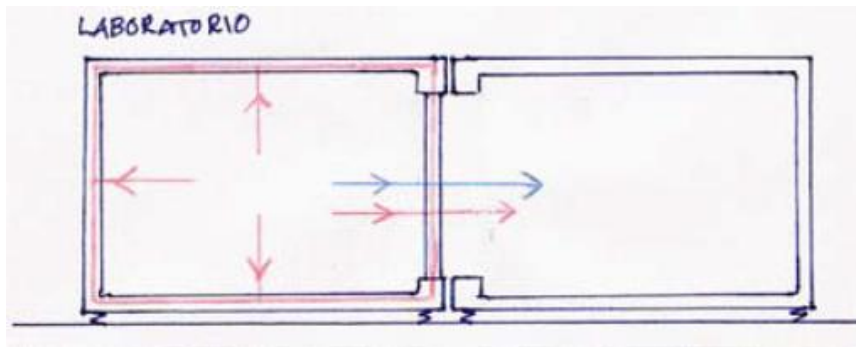
Taulukko 4. Ääneneristyksen vaikutus puheen kuulumiseen väliseinän läpi. (2, s. 13)

R'_w	
55 dB	Voimakas puhe ei kuulu seinän läpi.
50 dB	Voimakas puhe kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää.
45 dB	Normaali puhe ei kuulu seinän läpi.
40 dB	Normaali puhe kuuluu seinän läpi, mutta sanoista ei saa selvää.
35 dB	Normaali puhe kuuluu seinän läpi, sanoista saa selvää, mutta ääni ei häiritse työkentelyä viereisessä huoneessa.
30 dB	Seinä on lähinnä näkösuoja (jos ei ole lasia).

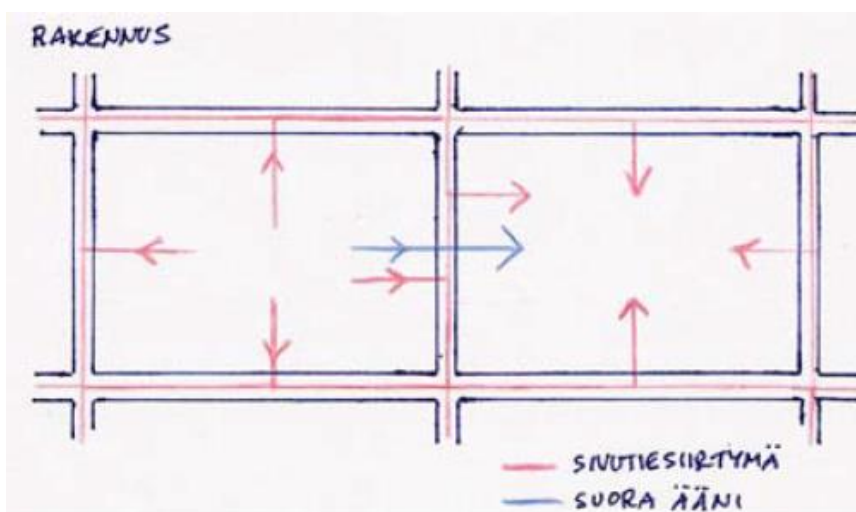
Ääneneristävyys voidaan määrittää sekä laskennallisin keinoin että mittaamalla. Laboratoriomittaus on tavoista kaikista luotettavin ja kuvaa hyvin itse rakenteen ilmaääneneristyskykyä. Kenttämittauksissa saadaan tuloksia rakenteen toiminnasta yhdistettynä sen oikeaan sijaintiin. Kenttämittauksissa saadut tulokset eivät juuri koskaan ole yhtä hyviä kuin laboratoriomittauksissa saadut arvot. Ääneneristysarvoja voidaan määrittää myös laskemalla, mutta tulosten luotettavuus ei ole yhtä suuri kuin laboratoriomittausten. (1, s. 58-59.)

2.4.1 Ääneneristävyyden mittaaminen

Ääneneristävyyttä voidaan mitata sekä laboratoriossa että esimerkiksi toimistotiloissa paikanpäällä. Laboratoriossa saatu mittaustulos on rakenteen teoreettinen ääneneristysarvo ja se kuvaa rakenteen ääneneristävyyttä parhaassa mahdollisessa tilanteessa. Tämä tarkoittaa sitä, ettei rakenteen todellinen paikanpäällä mitattu arvo juuri koskaan ole yhtä hyvä kuin laboratorioarvo. Ilmääneneristysluku R_w on siis laboratorioarvo, kenttäolosuhteissa mitattua arvoa merkitään R'_w . Paikanpäällä mitatun ääneneristävyyden ero laboratorioarvoon johtuu muun muassa sivutiesiirtymistä ja siitä, ettei rakenne ole välttämättä täysin tiivis. Testitulokset esitetään yleensä taajuuksilla 50-5000 Hz. Mittaukset tehdään, joko oktaavikaistoittain tai kolmasosaoktaavikaistoittain, eli terssi-kaistoittain. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty laboratorio- ja kenttätutkimuksen erot äänen kulkeutuksen kannalta. (1, s. 59; 3, s. 31-32.)

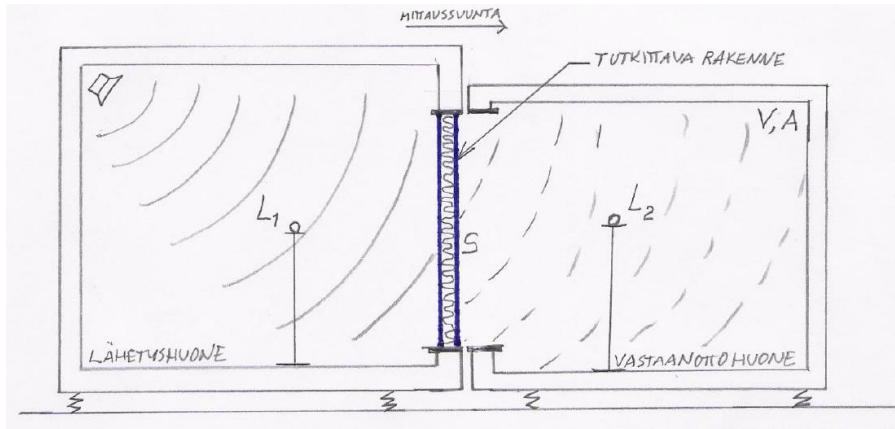


Kuva 3. Laboratoriomittauksen olosuhteet äänen kulkeutumisen kannalta (3, s. 31)



Kuva 4. Kenttämittauksen olosuhteet äänen kulkeutumisen kannalta (3, s. 31)

Laboratoriomittaus on kahdesta mittausmenetelmästä selvästi luotettavampi. Mittauslaboratorio koostuu kahdesta vierekkäisestä huoneesta, joiden välissä olevaan aukkoon on asennettu tutkittavana oleva rakenne, esimerkiksi seinä. Esimerkki tällaisesta mittauslaboratoriosta on esitetty kuvassa 5. Laboratorio-olosuhteissa huoneet on mahdollista eristää niin hyvin, että sivutiisiirtymät huoneiden välillä eivät vaikuta mittaustulokseen. Tällöin on mahdollista saavuttaa tilanne, jossa mitataan vain sitä ääntä, joka siirtyy huoneesta toiseen tutkitun rakenteen kautta. (1, s. 58; 3, s. 31-32.)



Kuva 5. Mittauslaboratorio (3, s. 29)

Ilmaääneneristävyyssarvot eri taajuuksilla voidaan määrittää kaavalla:

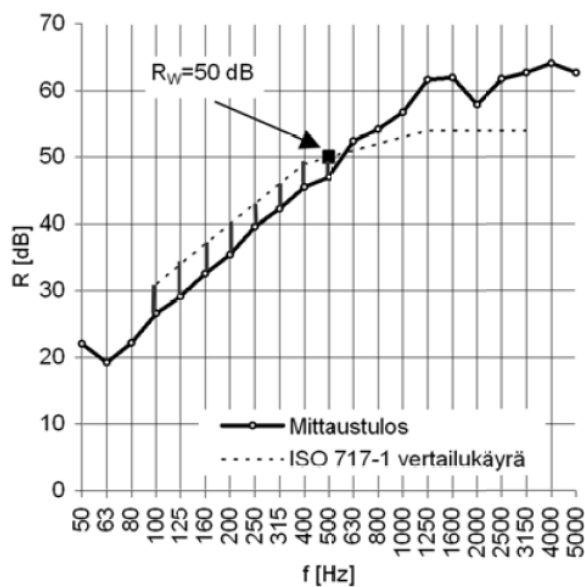
$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (2)$$

Jossa $L_{p,1}$ on lähetyshuoneen äänenpainetaso ja $L_{p,2}$ vastaanottohuoneen äänenpainetaso desibeleissä. S on tiloja erottavan rakenteen pinta-ala ja A_2 vastaanottohuoneen absorptioala, joka määräytyy huoneen jälkikaiunta-ajan T_2 ja tilavuuden V_2 perusteella, kaavan 3 mukaisesti.

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \quad (3)$$

Mittaustulos esitetään, joko taajuuksilla 100-3150 Hz, jolloin saadaan 16 kolmasosaoktaavikaistan mittausarvoa tai vaihtoehtoisesti taajuuksilla 50-5000 Hz, jolloin oktaavikaistoja on yhteensä 21. Koska mittaustulos eri taajuudella on aina eri, on ilmaääneneristysluku määritettävä ISO 717-1 standardin mukaisesti. Ilmaääneneristysluku on näiden mittauksissa saatujen ilmaääneneristysarvojen painotettu keskiarvo.

Painotuksessa on otettu huomioon puheäänien taajuusjakauma ja korvan herkkyyys. Tällöin ilmaääneneristysluku kuvaa mahdollisimman hyvin sitä, miten rakenne eristää puheäänien kulkeutumista. Jotta ääneneristävyys olisi optimaalinen, on ääneneristysarvojen oltava korkeampia suurilla taajuuksilla kuin pienillä taajuuksilla. Ilmaääneneristysarvoja verrataan ISO 717-1 mukaisesti vertailukäyrään, jota siirretään 1 dB verran sellaiseen kohtaan, jossa ei-toivottujen poikkeamien summa on enintään 32 dB. Ei-toivottu poikkeama näkyy vertailussa siten, että vertailunkäyrän arvo on tuolloin suurempi kuin ilmaääneneristysluku. Vertailukäyrä sijoitetaan tällä tavoin mahdollisimman korkealle, ja ilmaääneneristysluku R_w luetaan tämän jälkeen vertailukäyrältä 500 Hz taajuuden kohdalta. Kuvassa 6 on esitetty ISO 717-1 mukainen vertailukäyrä. (1, s. 59-60; 3, s. 32; 10, s. 4.)



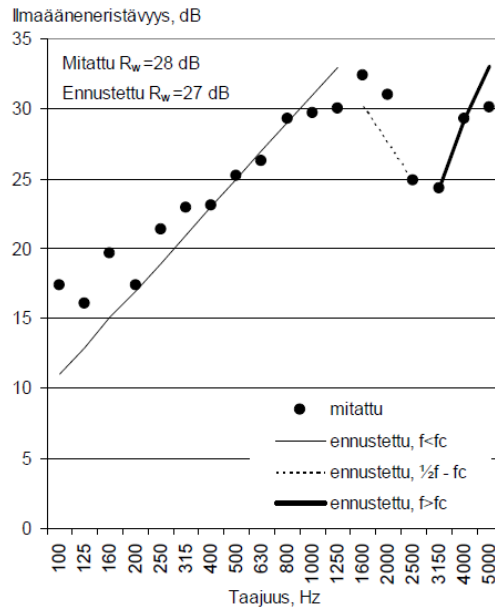
Kuva 6. ISO 717-1 mukainen vertailukäyrä (3, s. 32)

Kenttämittaukset toimivat samalla tavalla, joskin sivutiesiirtymän vaikutukset on kenttäolosuhteissa paljon vaikeampi ottaa huomioon. Rakenteita suunniteltaessa tähdätään siihen, että sivutiesiirtymän vaikutus ilmaääneneristävyyteen ei olisi kovin suuri. Usein mitoitettaessa pyritään siihen, että laboratoriossa mitatun ja kenttämittauksissa saatujen arvojen välinen ero olisi alle 3 dB. Tällöin voidaan olettaa, että suurin osa äänestä kulkee mitatun huoneita erottavan rakenteen läpi. (1, s. 66.)

Kenttämittaukset tehdään ISO 140-4 -standardin mukaisesti. Standardi antaa ohjeet äänilähteen ja mikrofonien sijainneista ja mittauksien määrästä. Tärkeä mittauksissa huomioitava asia on, että vastaanottohuoneen äänitaso täytyy mitata, jotta voidaan olla varmoja, että huoneen taustäänitaso ei ole korkeampi kuin mitatun rakenteen läpi kulkeutuvan äänen taso. Taustäänitason tulisi olla yli 10 dB alhaisempi kuin rakenteen läpi kulkeutuvan äänen taso vastaanottohuoneen puolella. Mittauksia voidaan ottaa joko useammalla äänilähteellä, tai vaihtoehtoisesti yhdellä äänilähteellä, jonka paikkaa muutetaan. Luotettavan tuloksen saamiseksi mittauksia on otettava eri pisteissä sekä lähetyksessä vastaanottohuoneessa. Lisäksi on tärkeää, ettei äänilähde ole kohdistettu suoraan mitattavaa rakenne kohti, ja ettei mikrofoni ole mittausta otettaessa äänilähteen äänikentän alueella. Mittaukset tehdään kolmasosa-oktaavikaistoittain 100-3150 Hz taajuuksilla. Taustäänitason mittauksen lisäksi tulee mitata huoneen jälkikaiunta-aika, jotta sen vaikutukset ääneneristävyyteen voidaan ottaa huomioon. (11, s. 3-12.)

2.4.2 Ääneneristävyyden laskeminen

Yksinkertaisen rakennuslevyn ääneneristävyys



Kuva 7. 13 mm kipsilevyn ennustetut ja mitatut ääneneristysarvot (3, s. 43)

Ohuen levyn ääneneristävyydessä on kaksi merkittävää taajuusaluetta: massalaki- ja jäykkyyalue. Kuvassa 7 on esitetty 13 mm kipsilevyn ennustetut ja mitatut ääneneristysarvot. Kuvassa ohut viiva kuvaa massalakialuetta ja paksu viiva jäykkyyalue. Ohuen levyn ilmaääneneristävyys voidaan laskea yhtälöllä (4). Yhtälön ensimmäinen rivi kuvaa siis massalakialuetta ja toinen jäykkyyalue.

$$R = \begin{cases} 20 \log_{10} m' f - 48 \text{ dB} & \text{kun } f < \frac{1}{2} f_c \\ 20 \log_{10} m' f + 10 \log_{10} \left[\eta \left(\frac{f}{f_c} - 1 \right) \right] - 44 \text{ dB} & \text{kun } f \geq f_c \end{cases} \quad (4)$$

Jossa m' on levyn pintamassa [kg/m^2] ja η on häviökerroin (käytetään yleensä vakioarvoa 0,02). Tässä lausekkeessa merkittävänä tekijänä on koinsidenssin rajataajuus f_c , joka voidaan laskea yhtälöstä (2).

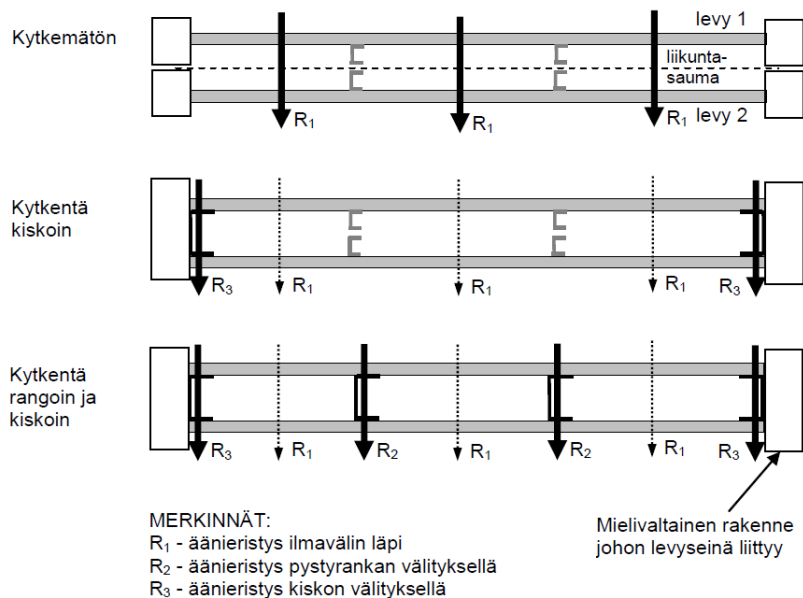
$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)m'}{Eh^3}} \quad (5)$$

E on materiaalin kimmomoduuli [Pa], h on levyn paksuus [m], μ on Poissonin suhde ja c_0 on äänennopeus ilmassa [m/s]. Poissonin suhteen arvona rakennuslevyille, betonille ja lasille käytetään yleisesti $\mu=0,25$.

Nämä tulokset käsitellään kuten mittauksissa saadut tulokset. Ääneneristysarvot R lasketaan oktaavikaistoittain, jolloin niistä voidaan piirtää käyrä, joka on verrattavissa ISO 717-1 mukaiseen vertailukäyrään. Käyrän avulla voidaan määrittää rakenteelle laskennallinen R arvo. (1, s. 70-73; 3, s. 41-43; 12, s. 2.)

Kaksinkertaisen levyseinän ääneneristävyys

Kaksinkertainen levyseinä on rakenne, joka koostuu kahdesta ohuesta kerroksesta, joiden väliin jää ilmapäli. Levyseinän levyt voivat myös koostua kahdesta erillisestä toisiinsa kiinnitetystä levystä. Tällöin tulee laskea myös kahden levyn yhdistetty ääneneristävyys. Rakenteen ilmapäliissä on usein absorptiomateriaalia, kuten mineraalivillaa ja tukirankoja. Rakenteen ääneneristävyyteen vaikuttaa suurelta osin näiden kahden ohuen kerroksen välinen kytkentä. Esimerkiksi jäykällä puisella rangalla levyseinän ääneneristävyys on heikko. Jos ranka voidaan tehdä joustavaksi, ääneneristävyys paranee. Paras vaihtoehto ääneneristävyyden kannalta olisi seinä, jossa levykerrokset ovat kytkemättöminä toisiinsa, jolloin äänellä ei ole suoraa kulkureittiä rakenteen läpi. Tällainen rakenne on kuitenkin käytännössä erittäin vaikea toteuttaa. Kuvassa 8 on esitetty äänen kulkureittejä kytkemättömissä ja kytketyissä kaksinkertaisissa levyrakenteissa. (3, s. 47-48.)



Kuva 8. Äänen kulkureitit kaksinkertaisissa levyrakenneseinissä. (3, s. 53)

Kytkemättömässä rakenteessa absorptiomateriaalilla on vaikutusta ääneneristävyyteen, mutta kytketyssä rakenteessa rangon vaikutus on niin suuri, ettei absorptiomateriaalilla ole juurikaan merkitystä. Ilmapälin absorptiomateriaalilla pyritään estämään ilmapälin kaikuminen. Kaksinkertaisen levyseinän laskenta lähtee aina olettamuksesta, että seinä olisi kytkemätön. Laskenta koostuu kahdesta vaiheesta kytkemättömän seinän laskennasta ja heikennystermin vaikutusten laskennasta. (3, s. 47-48.)

Laskenta alkaa aina ideaalitalanteen ääneneristysarvon R_{ideal} laskennasta. Ideaalitalanteen ääneneristysarvon laskenta on esitetty kaavassa 6.

$$R_{ideal} = \begin{cases} 20\log_{10}(m'_1 + m'_2)f - 48 & f < f_{mam} \\ R_1 + R_2 + 20\log_{10}fd - 29 & f_{mam} < f < f_l \\ R_1 + R_2 + 6 & f > f_l \end{cases} \quad (6)$$

R_1 ja R_2 ovat rakennuslevyjen ääneneristävyydet, tässä voidaan käyttää joko yksinkertaisen levyrakenteen laskentamallilla saatuja arvoja tai tuotevalmistajan antamia tietoja levyjen ääneneristävyydestä.

f_{mam} on massa-ilma-massa resonanssisuhde [Hz] ja f_l on rajataajuus [Hz]. f_{mam} resonanssitaajuudella, ääneneristävyys on heikoimmillaan, koska pintalevyt ja ilmapäli resonovat tällä samalla taajuudella. Resonanssitaajuuden jälkeen ääneneristävyys lähtee kasvamaan. Rajataajuuden f_l jälkeen pintalevyt alkavat olla riippumattomia toisistaan. Rajataajuuden yläpuolella ääneneristävyyden kasvu hidastuu. Resonanssisuhde ja rajataajuus voidaan laskea kaavoilla 7 ja 8.

$$f_{mam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,8\rho_0 c_0^2 (m'_1 + m'_2)}{d m'_1 m'_2}} = 80 \sqrt{\frac{(m'_1 + m'_2)}{d m'_1 m'_2}} \quad (7)$$

$$f_l = \frac{c_0}{6d} \quad (8)$$

Kaavoissa d kuvaa rakenteen ilmapälin paksuutta [m], ρ_0 on ilman tiheys (1,18 kg/m³), c_0 on äänennopeus ilmassa (343 m/s) ja m'_1 ja m'_2 ovat pintalevyjen pintamassat [kg/m²].

Ideaalitalanteen ääneneristävyyden laskemisen jälkeen määritetään heikennystermien vaikutus ääneneristävyyteen. Kytkemättömässä levyseinässä ääneneristävyyteen vaikuttaa eniten ilmapälin absorptiomateriaali ja sen ominaisuudet. Absorptiomateriaalin vaikutukset otetaan huomioon laskettaessa todellista ääneneristysarvoa R_{real} , joka saadaan kaavasta 9.

$$R_{real} = \begin{cases} R_{ideal} & f < f_L \\ R_{ideal} + \Delta R_{abs} & f > f_L \end{cases} \quad (9)$$

R_{real} on rajataajuuden f_L alapuolella ideaalitalanteen ääneneristysarvo R_{ideal} , ja rajataajuuden f_L yläpuolella se saadaan lisäämällä ideaalitalanteen arvoon ΔR_{abs} , joka kuvaa ääneneristysarvon muutosta ideaalitalanteeseen nähden. ΔR_{abs} termillä huomioidaan ilmvälissä olevan absorptiomateriaalin ominaisuudet. Rajataajuus f_L saadaan kaavasta 10.

$$f_L = \frac{c_0}{2L} \quad (10)$$

Jossa c_0 on äänennopeus ilmassa [m/s] ja L on ilmvälin leveys [m]. ΔR_{abs} saadaan kaavasta 11.

$$\Delta R_{abs} = 10 \log_{10} \alpha_{eff} \quad (11)$$

Jossa käytetään arvoa α_{eff} , joka kuvaa ilmvälin absorptiosuhdetta. Absorptiosuhde on arvo, joka sijoittuu välille 0-1, jolloin ΔR_{abs} on negatiivinen. Jos esimerkiksi ilmväli on tyhjä, voidaan α_{eff} arvona käyttää 0,05, jolloin ΔR_{abs} on -13 dB. Jos taas ilmvälissä on mineraalivillaa, voidaan α_{eff} arvona käyttää 1, jolloin ΔR_{abs} on 0 dB. Ilmvälin absorptiosuhteella on väliä vain taajuuden f_L yläpuolisilla taajuuksilla, koska f_L alapuolisilla taajuuksilla ilmväli on niin pieni ettei ääni mahdu resonoimaan siinä.

Koska levyrakenteisen seinän levyt on lähes aina kytketty toisiinsa mekaanisesti rankojen avulla, täytyy kytketyn levyseinän laskennassa ottaa huomioon eri heikennystermit kuin kytkemättömän levyseinän laskennassa. Näitä heikennystekijöitä kytketyssä rakenteessa ovat kytkentöjen määrä ja jäykkyys.

Kytketyn seinän laskennassa lähdetään liikkeelle laskemalla seinän massalakiarvo R_M , joka saadaan kaavasta (12).

$$R_M = 20 \log_{10} [(m'_1 + m'_2)f] - 48 \quad (12)$$

Merkittävänä tekijänä kytketyn seinän laskennassa on siltataajuus f_{br} , jonka yläpuolella kytkennän ääneneristävyyttä heikentävä vaikutus alkaa. Siltataajuus saadaan laske-
malla kaavasta (13). Siltataajuuden yläpuolella kytketyn seinän ääneneristävyys on R_{br} , joka voidaan laskea kaavasta (14). ΔR_M saadaan kaavasta (15). Siltataajuuden
alapuolella ääneneristävyys on R_{real} , joka lasketaan kuten kytkemättömässä levysei-
nässä.

$$f_{br} = f_{mam} \left(\frac{\pi b f_c}{2c_0} \left(\frac{m'_1}{m'_1 + m'_2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$

$$R_{br} = R_M + \Delta R_M \quad (14)$$

$$\Delta R_M = 10 \log_{10}(b f_c) + 20 \log_{10} \left(\frac{m'_1}{m'_1 + m'_2} \right) - 18 \quad (15)$$

Joissa b on kytkentöjen välinen etäisyys [m], ja f_c molempien levyjen koinsidenssien keskiarvo.

Kytkeytyssä rakenteessa rankojen kautta kulkeva äänen vaikutus tapahtuu massa-ilma-
massaresonanssin yläpuolella. Tämän takia kytketyssä rakenteessa rankojen vaikutus
ääneneristävyyteen on määrittävä ja absorptiomateriaalin vaikutus jää pieneksi, varsin-
kin jos rangat ovat jäykkiä. Jos taas levyseinässä on joustava ranka, tilanne muuttuu.
Joustavaa rankaa käyttämällä voidaan saada ääneneristyksessä huomattavasti pa-
rempia arvoja. Rakenteen liitokset muihin rakenteisiin kuitenkin vaikuttavat tähänkin,
sillä liitokset ovat usein jäykkiä, jolloin rakenteen reuna-alueilla joustavan rangen vaiku-
tukset häviävät. Jos halutaan laskea tarkkoja arvoja joustavan rangen omaaville seinil-
le, on rankojen joustavuus otettava huomioon laskennassa. Pienet taajuudet vaikutta-
vat eniten ääneneristysarvoon, ja siksi joustavan rangen vaikutus onkin alle 10 dB pa-
rannus, jäykkään rakenteeseen verrattuna. (1, s. 74-80; 3, s. 53-57; 12, s. 3-7.)

Jos kaksinkertaisen levyseinän levypuolet koostuvat useammasta kuin yhdestä levystä, esimerkiksi kahdesta eri rakennuslevystä, joita ei ole liitetty toisiinsa liimaamalla, voidaan kahden levyn ääneneristävyys laskea kaavasta (16). Kahden levyn laskennassa täytyy ottaa huomioon myös levyjen yhteinen koinsidenssin rajataajuus, joka on levyjen koinsidenssin rajataajuuksien keskiarvo. Muuten laskennassa edetään kuten edellä on mainittu. (3, s. 43.)

$$R_N = 20 \log_{10}(10^{R_1/20} + 10^{R_2/20}) \quad (16)$$

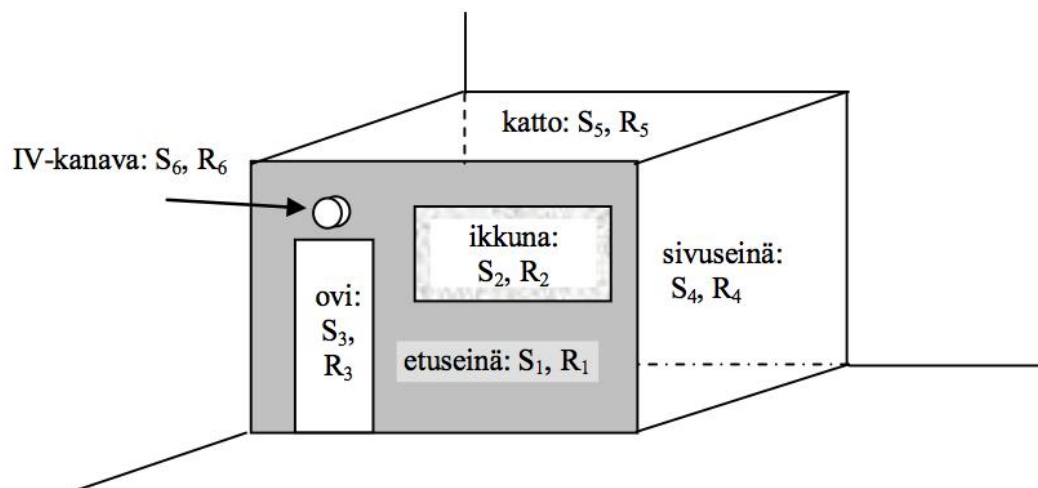
Missä R_1 ja R_2 kuvaavat levyjen ääneneristävyksiä. Ääneneristävydet on mahdollista tässä tapauksessa määrittää, joko laskemalla tai ne voidaan katsoa valmistajan antamista tuotetiedoista. Tämä kaava arvioi ääneneristävyttä kuitenkin noin 3 dB yläkanttiin, mikä on hyvä huomioida tällaista rakennetta laskiessa. (3, s. 43.)

Yhteisääneneristävyys

Jos tutkittava seinä koostuu useammasta eri rakenteesta, esimerkiksi lasiseinästä, ovesta ja sähköpielestä, voidaan koko väliseinärakenteen yhteisääneneristävyys laskea kaavasta (17). Tällöin huomioidaan eri rakenteiden ääneneristävydet ja niiden yhteistoimivuus. Jos ovella on selkeästi lasiseinärakennetta heikompi ääneneristävyys, vaikuttaa se koko väliseinärakenteen ääneneristävyteen heikentävästi.

$$R_{yhteis} = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{-R_i/10}} \right] \quad (17)$$

S_i kuvaa kyseessä olevan rakenteen, esimerkiksi oven pinta-alaa [m^2] ja R_i rakenteen ääneneristävyttä. Kuvassa 9 on selvennetty kaavan 17 käyttöä. (1, s. 102-103; 3, s. 64.)



Kuva 9. Yhteisääneneristävyys, pinta-alat ja ääneneristävydet (3, s. 65)

2.5 Toimistotilojen ääneneristävyysvaatimukset

Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa suuntaa antavat tavoitetasot toimistotilojen akustiikalle. Määräyskokoelma ei anna toimistotiloille erillisiä numeerisia vaatimuksia, vaan lähinnä viittaavia ohjearvoja. Ainoa määräys tiloille on, että akustisen suunnittelun on perustuttava tilojen käyttötarkoitukseen. Taulukossa 5 on esitetty näitä ohjearvoja toimistotilojen ilmaääneneristysluvulle. (13, s. 25.)

Taulukko 5. Pienimmät sallitut ilmaääneneristysarvot toimistotiloissa. (13, s. 27)

Yhden hengen toimistohuoneiden välillä	44 dB
Yhden hengen toimistohuoneen ja käytävän välillä	34 dB
Asiakashuone, neuvotteluhuoneet	48 dB
Neuvotteluhuoneesta käytävälle	44 dB
Luottamusta edellyttävät tilat	60 dB
Taukhuoneesta toimistotilaan	44 dB

Toimistotilan äänimaailmaa ja ääniolosuhteita voidaan arvioida sen perusteella, kuinka kauas puheäänit häiritsevät tilassa. Näiden määrittämiseksi voidaan käyttää niin sanottua STI-indeksiä, eli puheensiirtoindeksiä.

Puheensiirtoindeksi, eli STI-luku kuvaa puheensiirrossa tavuerotettavuutta. STI-luvun lukuarvo sijoittuu välille 0,00-1,00. Mitä korkeampi STI arvo, on sitä parempi puheen erotettavuus. Puhetiloissa, joissa puheesta tulisi saada hyvin selvää, tavoitellaan mahdollisimman korkeaa puheensiirtoindeksin arvoa. Tavuerotettavuus on täydellinen, jos $STI > 0,75$. Työtiloissa, kuten avotoimistossa taas pyritään siihen, että puheensiirtoindeksin arvo olisi mahdollisimman matala, jolloin työtovereiden puhe ei häiritse työntekijän työrauhaa. Tätä kutsutaan joko puheyksityisyydeksi tai puheenpeittävyudeksi. Jos taas huonetilassa on tarkoitus käydä luottamuksellisia keskusteluja, tulee STI-luvun viereiseen tilaan olla 0,00. (1, s.55-56; 3, s.122.)

Toimistoille on olemassa myös tilakohtaisia ohjeita. Tämän työn kannalta merkittäviä huonetiloja ovat henkilötyöhuoneet ja neuvottelutilat. Henkilötyöhuone on väliseinillä ja ovella muusta huoneistosta rajattu tila, joka on yleensä yhden henkilön käytössä. Neuvottelutila on taas useimmiten useamman henkilön neuvottelukäytössä ja vaatii myös mahdollisuuden häiriöttömään kommunikaatioon niin sen sisä- kuin ulkopuolellakin. (9, s. 5-6; 13, s. 33-34, 40-42.)

Henkilötyöhuoneiden välisen ilmasteneristysluvun tavoitteen kasvaessa tulee esiin helpommin ääneneristysongelmia. Seuraavassa on lueteltu toimistohuoneen toivotun ääneneristävyyden saavuttamiseen negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä.

- Ovessa ei ole kynnystä, tai se muuten huonosti tiivistetty. (Käytävän ja työhuoneen välinen taso jää noin 20-25 dB)
- Huoneessa on liukuovi, joka ei rakenteena ole tarvittavan tiivis.
- Rakenne itsessään ja sen liitokset muihin rakenteisiin eivät ole tiiviitä.
- Seinä on lasia, jonka ääneneristys on riittämätön. (Jos koko seinä on lasia, tulee lasituksen laboratorioarvon yllittää $R'w$ vaatimus 3-5 dB)
- Ääni kulkeutuu sivutiesiirtymän vuoksi huoneesta toiseen.
- Huoneen taustäänitaso on liian alhainen.

On siis huomioitava, että myös huoneen ja käytävän välinen ovirakenne vaikuttaa ääneneristävyyteen. Myös jälkikaiunta-aika on otettava huomioon toimistohuoneiden suunnittelussa, sillä se vaikuttaa huoneen sisäiseen akustiikkaan ja sitä kautta huoneen käyttömukavuuteen. (9, s. 5-6; 13, s. 33-34, 40-42.)

Neuvotteluhuoneiden suunnittelussa tärkeää on, että huoneen sisällä puheäänien erotettavuus olisi mahdollisimman lähellä täydellistä, tämä vastaa STI-indeksillä yli 0,75 arvoa jolloin lause-erotettavuus on täydellinen. Tällöin huoneen sisällä kommunikaatio on mahdollisimman helppoa, eikä puhujan ääni jää esimerkiksi taustamelun alle. (9, s. 5-6; 13, s. 33-34, 40-42.)

3 Inlook Oy:n järjestelmäseinät

Järjestelmäseinien myynti ja asennus on toinen Inlook Oy:n päätoimialoista, sisäkattojen myynnin ja asennuksen lisäksi. Toimialana järjestelmäseinien myynti on mutkikas, sillä tuotteet tehdään pääasiassa mittatilaustyönä. Tilauksen tultua tilat käydään ensin mittaamassa, jotta tuotteet olisivat mahdollisimman sopivia. Tämän jälkeen tuotteet, esimerkiksi lasit ja ovet tilataan mittojen mukaan niiden valmistajalta. Asennus tapahtuu aina Inlook Oy:n omien asentajien toimesta.

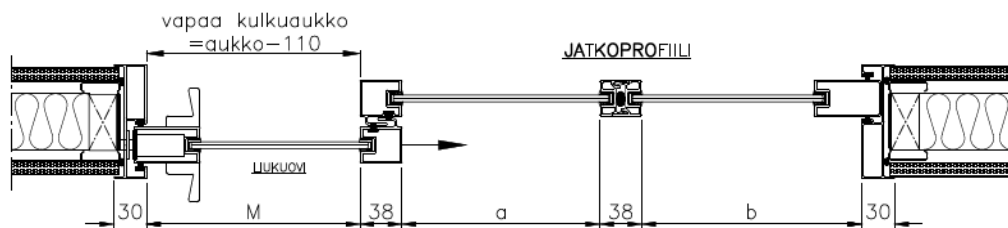
Jotta asiakkaalleen voidaan taata, että tuote on ääneneristävyydeltään määräysten mukainen, on Inlook Oy ottanut selvää tuotteidensa ääneneristysarvoista mittauttamalla seinämalleja VTT:n testilaboratoriossa. Nämä mittaustulokset antavat selkeän linjan siitä, millaisiin arvoihin milläkin seinärakenteella voidaan päästä. Tärkeää on kuitenkin huomioida, etteivät tuotteet lähes koskaan ole samanlaisia. Umpiseinät ovat yleensä, joko tupla- tai yksinkertaisilla levyillä levytettyjä, ja levyn pintamateriaali ei juurikaan vaikuta seinän ääneneristävyyteen. Lasiseinien osalta asia on jo huomattavasti mutkikkaampi, sillä lasi- ja ovivaihtoehtoja on paljon.

Pelkkä hyvin ääntä eristävän tuotteen, esimerkiksi lasin valitseminen ei riitä. Järjestelmäseinien helppo asennettavuus ja purettavuus asettaa rakenteen ääneneristävyydelle tiettyjä rajoitteita. Tiiviys ja liitokset muihin rakenteisiin eivät järjestelmäseinissä välttämättä ole ääneneristävyyden kannalta parhaat mahdolliset. Nämä seikat täytyy ottaa huomioon myös ääneneristävyyksiä laskiessa. Tärkeänä vertailupohjana ääneneristävyyksien laskennalliselle arvioinnille ovat samoista rakenteista mitatut ääneneristysarvot. Tämän vuoksi Akukon Oy oli tekemässä Inlook Oy:n toimistolla kenttämittausta lasiseinistä.

Akukon Oy on vuonna 1994 perustettu yritys, joka tarjoaa akustista suunnittelua ja konsultointia. Mittausten lisäksi Akukon Oy on ollut mukana Inlook Oy:n uusien järjestelmäseinämallien tuotekehittämisessä. Tuotekehittelyn kannalta on tärkeää osata arvioida rakenteen ja sen osien ääneneristysominaisuuksia. Näiden avulla on mahdollista selvittää millaisilla muutoksilla rakenteen ääneneristävyyttä voitaisiin mahdollisesti parantaa, ja onko ääneneristävyyden parantaminen rakenteen toimivuuden ja kustannusten kannalta kannattavaa.

3.1 Lasiseinät

Inlook Oy:n valikoimista löytyy tällä hetkellä useita erilaisia lasiseinämalleja. Kaikki lasiseinien lasit tehdään joko karkaistusta tai laminoidusta turvalasista. Lasiseiniin on saatavilla liukuovia ja saranaovia. Saranaovista on saatavilla lasiovia sekä puu- ja alumiinirakenteisia ovia. Oven valinnassa on tärkeä huomioida sen käyttötarkoitus. Liukuovi on kätevä ratkaisu tiloihin, joissa on huonosti tilaa ovien avautumiselle, mutta se ei ole ääneneristävyyden kannalta paras vaihtoehto. Liukuoviin voidaan toki valita paksumpi ja ääneneristykseltään parempi lasi, mutta paksumpi ja sitä kautta painavampi lasi tekee ovesta raskaamman ja vaikeakäyttöisen. Liukuoven suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon, että oven täytyy päästä avautumaan tarpeeksi, jotta kulkuaukko jää tarpeeksi suureksi. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että oven viereinen lasielementti on suunnilleen yhtä leveä kuin ovi. Kuvassa 11 on esitetty vaakaleikkaus Inlook Slidy -lasiseinästä, jossa näkyy rakenteen peruseriaate ja liukuoven avautuminen. Saranaovilla ääneneristävyys on mahdollista saavuttaa huomattavasti helpommin.



Kuva 11. Slidy-seinän vaakaleikkaus

Inlook Slidy on alumiinirunkoinen liukulasiseinä. Slidy-seinässä alumiiniprofiili on jokaisen lasielementin ympärillä. Seinään on mahdollista asentaa saman mallin liukuovi. Slidy lasiseinä ja siihen liittyvä liukuovi näkyvät kuvassa 12. Slidy-seinästä on saatavilla myös dB-versio, jossa rakenteen ja varsinkin liukuoven tiivistykseen on kiinnitetty erityisesti huomiota.



Kuva 12. Inlook Slidy -lasiseinä

Inlook Glazy eroaa Slidy-seinästä siinä, että lasit kiinnittyvät toisiinsa silikonisaumalla. Vain lasiseinän reunoissa on kapea alumiininen U-profiili, jolla seinä kiinnitetään ympäröiviin rakenteisiin. Glazy-seinää on mahdollista asentaa myös pienempikokoisiin valmiisiin aukkoihin, pelkillä silikonisaumauksilla, jolloin alumiiniprofiili on vain ylä- ja alapäässä. Silikonisaumauksen avulla lasiseinästä saadaan jatkuvamman näköinen. Glazy-seinään yhdistetään usein alumiinisaranaovi tai puuovi, mutta seinään voi yhdistää myös Slidy-seinän liukuoven. Kuvassa 13 on esitetty Inlook Glazy -lasiseinä.



Kuva 13. Inlook Glazy -lasiseinä

Inlook Woody on puurunkoinen lasiseinä, jossa jokaisen lasielementin ympärillä on puinen profiili. Woody-seinään on mahdollista yhdistää sekä liuku- että saranaovia. Runko voidaan tehdä viilupintaiseksi tai maalata haluttuun sävyyn. Woody-seinä sopii hyvin yhteen viilupintaisten puuvien kanssa. Kuvassa 14 on esitetty viilupintainen Woody-seinä saranaovella.



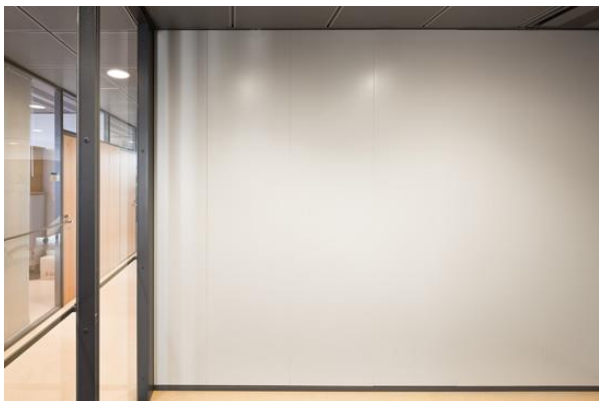
Kuva 14. Inlook Woody -lasiseinä

3.2 Umpiseinät

Handy ja Flexy ovat Inlook Oy:n umpiseinämällejä, joita käytetään lähinnä toimistokohteissa huoneiden välisinä seininä. Seinät ovat pääpiirteittäin samanlaiset, Handy-seinässä pintalevyt on kiinnitetty toisiinsa hattulistoilla ja Flexy-seinässä puskusaumoilla. Pintalevyn materiaalina molemmissa seinissä on yleensä tapetoitu kipsilevy, mutta myös muita vaihtoehtoja löytyy. Molemmista seinistä on saatavilla dB-versio, jossa pintalevyjen alla on normaalit kipsilevyt aluslevyinä. Seinissä on teleskoopilla varustettu teräsrunko, joka puristetaan lattian ja katon väliin. Seinän sisällä on lisäksi mineraalivilla vaimentamassa ääntä. Handy-seinän hattulistoihin on mahdollista kiinnittää kalusteita, kuten hyllyjä. Handy-seinä on esitetty kuvassa 15 ja Flexy-seinä kuvassa 16.



Kuva 15. Inlook Handy -seinä



Kuva 16. Inlook Flexy -seinä

4 Ääneneristävyyslaskelmat

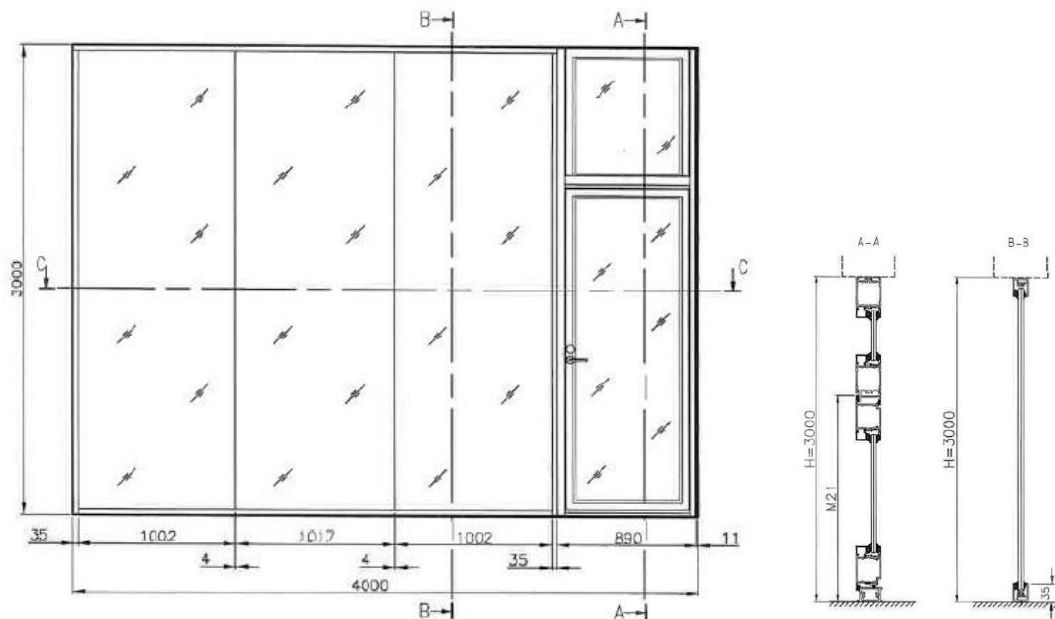
Tarkasteltaviksi rakenteiksi on laskennan ja mittaustulosten vertailun helpottamiseksi valittu jo aiemmin VTT:n tutkimuksessa mitatut rakenteet. Tässä työssä on laskettu Slidy dB, Glazy, Woody, Flexy dB ja Handy dB -seinien ääneneristävyysarvoja. Esimerkit VTT:n tutkimuksen tutkimusraporteista löytyvät työn liitteistä. Sekä mittaukset että laskelmat on tehty terssikaistoittain, jotta ne ovat vertailukelpoisia keskenään. Seinistä tehdyt laskelmat on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteessä 1 ja esimerkit VTT:n mittausraporteista (Glazy ja Flexy dB) on esitetty liitteessä 2.

Mitatut rakenteet on asennettu VTT:n tutkimuslaitoksella 12 neliömetrin aukkoon, joka on kolme metriä korkea ja neljä metriä leveä. Rakenteet on asentamisen yhteydessä tiivistetty niin hyvin, kuin se on niiden toimivuuden kannalta mahdollista. On syytä mainita, että ääneneristävyuden laskennallinen arviointi ei missään nimessä ole tarkkaa tai anna välttämättä todellisuutta täysin kuvaavia tuloksia. Laskennassa on otettu huomioon ± 3 dB toleranssi. Toleranssi tarkoittaa sitä, että samasta rakenteesta laboratoriossa mitattu tulos on 3 dB sisällä lasketusta arvosta. Todellinen paikanpäällä mitattu seinän ääneneristävyys voi myös olla huomattavasti vähemmänkuin laskemalla arvioitu arvo. Huomioitavaan ääneneristykseen laskennassa onkin, että laskennalliset ääneneristysarvot tulee pyöristää aina alaspäin.

Järjestelmäseinän ääneneristävyuden laskeminen lähtee liikkeelle rakenteen valinnalla, jolloin voidaan päättää esimerkiksi lasiseinän lasin paksuus ja siihen liittyvät profiilit. Lasiseinien ääneneristävyttä ennustettaessa voidaan itse lasin ääneneristysarvo katsoa valmistajan ohjeesta. Ohjeet ovat melko hyvin paikkansa pitäviä. Yksikertaisen lasilevyn ääneneristävyuden laskeminen ei itsessään ole vaikea asia, mutta jos lasi on esimerkiksi laminoitu, voi laminointikalvon ääneneristysvaikutuksen arviointi laskennallisesti olla hankalaa. Lasiseinän profiilin vaikutuksen arviointi ei olekaan ihan yksinkertainen asia, joten tässä työssä on ollut selvästi apua valmiista mittaustuloksista.

Yksinkertaisen rakenteen laskenta on laskennan helpoin osuus, sillä laskennassa on aina osattava arvioida myös muiden osien vaikutus koko rakenteen ääneneristävyteen. Tämän takia tuloksetkaan eivät ole millään tapaa totaalisia, vaan suuntaa antavia arvioita. Yleisesti voidaan kuitenkin olettaa, että jos koko rakenteelle halutaan saada 35 dB ääneneristysarvo, täytyy sen jokaisen yksittäisen osan ääneneristysarvon ylittää 35 dB.

4.1 Inlook Glazy ja Slidy dB



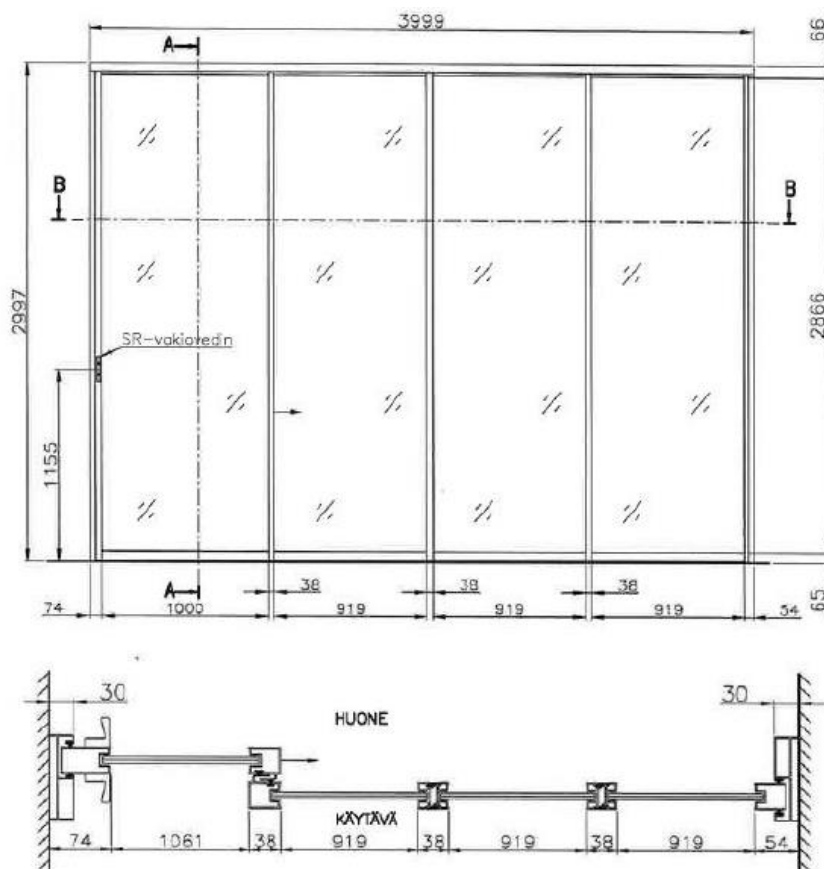
Kuva 17. VTT:n mittauksissa käytetty Inlook Glazy -lasiseinä

Kuvassa (13) on esitetty VTT:n tutkimuslaitoksella mitatun Inlook Glazy -lasiseinän naamakuva. Seinä koostuu kolmesta lasielementistä, jotka on kiinnitetty alumiinisilla U-profiileilla aukkoon. Lasielementtien välit on saumattu lasitus-silikonilla. Lasielementtien lisäksi seinään sisältyy alumiininen saranaovi. Ovi koostuu Nokian R12-profiileista. Lasielementtien ja oven lasi on 4+4 mm laminoitu lasi, jossa on välissä kaksi 0,38 mm ääneneristyskalvoa. Lasin ääneneristävyyden mukaan R_w 37 dB.

Laskennassa on lähdetty liikkeelle oletuksesta, että lasi on ääneneristysarvoltaan 37 dB. Alumiiniprofiiliovella ei ole dB luokitusta, joten sitä ei voi suoraan laittaa 30 dB ääniluokkaan. Tämä on otettu huomioon arvioimalla oven ääneneristysarvoksi 35 dB. Näiden lisäksi on otettu huomioon, että lasiseinän alumiiniprofiili ei eristä yhtä hyvin ääntä kuin kiinteä lasi. Näin ollen on laskettu arvio profiilin ääneneristävyydestä. Arvio on laskettu yksinkertaisen levyseinän mallilla, eli on laskettu, kuinka hyvin 2 mm paksuinen alumiinilevy eristäisi ääntä. Tämän jälkeen näiden kaikkien arvojen perusteella on laskettu yhteisääneneristävyyden kaavalla (luvussa 2.4.2 kaavalla 17) koko rakenteen ääneneristävyys.

Laskelmassa alumiiniprofiilille on saatu R-arvo 25 dB. Koska mallinnus antaa yleisesti arviot ääneneristävydestä noin 3 dB toleranssilla, on kokonaisääneneristävyys laskettu käyttämällä alumiiniprofiilille arvoa 22 dB. Saamaa arvoa on käytetty myöskin Slidy dB-seinän laskennassa. 22 dB arvoa profiileille käyttämällä, päästin molemmissa laskelmissa samoihin arvoihin kuin VTT:n mittauksissa.

Slidy dB-seinän ääneneristävyys on laskettu käyttäen samaa 22 dB arvoa alumiiniprofiilille, joka jo Glazy-seinän laskennassa arvioitiin. Laskennassa käytetty Slidy dB-seinä on esitetty kuvassa 18. Slidy dB-seinässä on käytetty 4+4 laminoitua lasia, jossa on kaksi laminointikalvoa. Slidy dB-seinä eroaa Glazy-seinästä, sillä että jokaisen lasielementin ympärillä on alumiiniprofiili, joka on hieman suurempi kuin Glazy-seinän U-profiili. Lisäksi Slidy dB-seinässä on saranaoven tilalla liukuovi, jossa on sama lasi ja yhtenevät profiilit, kuin muussa seinässä. Slidy dB-seinän ääneneristävyys jää Glazy-seinää heikommaksi, koska alumiiniprofiilia, joka on ääneneristävyydeltään lasia heikompaa, on huomattavasti enemmän.



Kuva 18. Slidy dB-seinä

Taulukossa 6 on esitetty lasin ja oven vaihtamisen vaikutus kyseiseen Glazy-rakenteisiin. Taulukossa on esitetty eri lasien ääneneristysarvot 8 ja 10 mm karkaistuille lasille ja eri paksuisille laminoiduille laseille. Laminoitujen lasien merkinnässä kaksi ensimmäistä numeroa kuvaa lasien paksuutta ja pisteen jälkeinen numero laminoitikalvojen määrää. 44.2 on siis 4+4 mm laminoitu lasi, jossa on kaksi laminoitikalvoa välissä. Alumiiniovien lasit ovat karkaistuilla laseilla lasketuissa seinissä 44.2 laminoitua lasia, ja paremman ääneneristyksen omaavia laseja käytettäessä on oletettu oven lasin olevan 55.2 laminoitua lasia. Lisäksi taulukkoon on vertailun vuoksi laskettu saman rakenteen ääneneristävyys puuovella. Puuovetaovent alle 37 dB lasin seinissä ääniluokkaa 30 dB (Rw 37 dB) ja yli 37 dB lasin seinissä ääniluokan 35 dB (Rw 42 dB) ovia. Tässä luvussa esitetyt taulukot (6, 7 ja 8) perustuvat laskelmissa saatuihin arvoihin.

Taulukko 6. Glazy- seinän ääneneristävyys eri laseilla.

Ääneneristävyys	Glazy+alumiiniovi	Glazy+puuovi
Pelkkä lasi dB	dB	dB
8 mm kark. 32	30	31
10 mm kark. 33	31	32
44.2 37	34	34
55.2 38	35	35
66.2 39	35	36
66.3 40	35	36

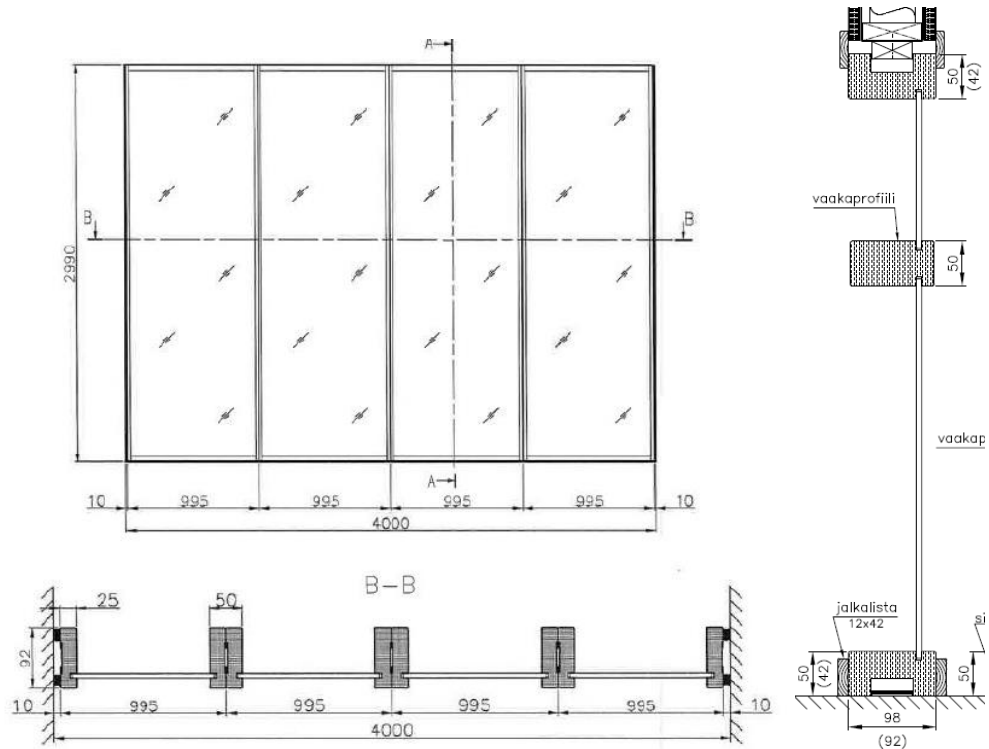
Taulukko antaa kuvan siitä, millainen lasi rakenteeseen kannattaa valita. Jos kuitenkin halutaan 35 dB seinärakenne on syytä valita vähintään 35 dB ääntä eristävä ovi. On syytä huomata, että vaikka lasin vaihtaisi 1 dB paremman ääneneristysarvon omaavaan lasiin, ei kokonaisääneneristävyys välttämättä nouse yhtä paljon. Puuovilla saadaan helpommin parempia ääneneristävyys arvoja, kuin alumiiniovilla. Puuovella varustetun Glazy-seinän ääneneristävyysarvot ovat käytännössä korkeampia kuin taulukossa esitetyt laskennalliset arvot.

Taulukossa 7 on esitetty kyseisen Slidy dB-seinärakenteen ääneneristävyyksiä eri lasilla. Taulukosta ilmenee, että jos Slidy dB-seinän haluaa saavuttavan 30 dB ääneneristävyyden on syytä valita vähintään 44.2 laminoitu lasi. Ääneneristävyys ei juurikaan nouse lasia vaihdettaessa. Laskennassa on oletettu liukuoven lasin olevan samaa lasia, kuin muun lasiseinän. Käytännössä Slidy-seinät toteutetaan usein niin, että liukuovessa on ohuempi lasi, kuin muussa seinässä, jotta siitä saataisiin kevyempi. Paksumpi kuin 55.2 laminoitu lasi ei mahdu Slidy-seinän profiiliin, joten paksumman lasin laskeminen ei ole kannattavaa. On syytä mainita, että arvot ovat laskennallisia arvioita näiden rakenteiden ääneneristävyydestä, eivätkä ne välttämättä päde eri kooiselle rakenteelle. Näitä arvoja ei myöskään voi pitää absoluuttisen oikeina, vaan niitä voi käyttää lähinnä ääneneristävyyksiä arvioidessa.

Taulukko 7. Slidy dB-seinän ääneneristävyys eri lasilla.

Ääneneristävyys	Slidy dB liukuovella
Lasi	dB
6 mm kark.	28
10 mm kark.	29
44.2	30
55.2	31

4.2 Inlook Woody



Kuva 19. Inlook Woody -lasiseinä

Woody lasiseinässä on maalattu puurunko. Mitattu ja laskettu Woody-seinä on esitetty kuvassa 19. VTT:llä mitatussa Woody-seinässä ei ole ovea, vaan se koostuu neljästä lasielementistä, joissa on ympärillä puuprofiilit. Lasi on 5+5 mm laminoitu lasi, jossa on kaksi 0,38 mm ääneneristyskalvaa. Koska puuprofiilin ääneneristävyyden on erittäin vaikea määrittää, on se tässä tapauksessa arvioitu VTT-tutkimustuloksen perusteella käyttämällä yhteisääneneristävyyden kaavaa. Koska tiedetään lasin ääneneristävyydeksi 38 dB ja VTT-mittauksen tulokseksi 36 dB, lisätään nämä lasin ja profiilin pintaalojen kanssa yhteisääneneristävyyden kaavaan (17).

$$R_{yhteis} = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i 10^{-R_i/10}} \right]$$

$$\Rightarrow R_{profiili} = 10 \log_{10} \left(- \frac{S_{profiili} * 10^{\left(\frac{R_{yhteis}}{10} + \frac{R_{lasi}}{10}\right)}}{S_{yhteis} * (-10)^{\frac{R_{lasi}}{10}} + S_{lasi} * 10^{\frac{R_{yhteis}}{10}}} \right)$$

$$\Rightarrow R_{\text{profiili}} = 10 \log_{10} \left(- \frac{0,94 \text{ m}^2 * 10^{\left(\frac{36 \text{ dB}}{10} + \frac{38 \text{ dB}}{10}\right)}}{12 \text{ m}^2 * (-10)^{\frac{38 \text{ dB}}{10}} + 11,06 \text{ m}^2 * 10^{\frac{36 \text{ dB}}{10}}} \right) = 29 \text{ dB}$$

Näin laskettuna ääneneristysarvoksi puuprofiilille saadaan 29 dB. Tämän tuloksen avulla voidaan arvioida, miten samanlainen seinä toimisi eri paksuisilla lasilla. Eri paksuisen lasin vaikutus Woody-seinään, jossa ei ole ovea, on kuvattu taulukossa 8.

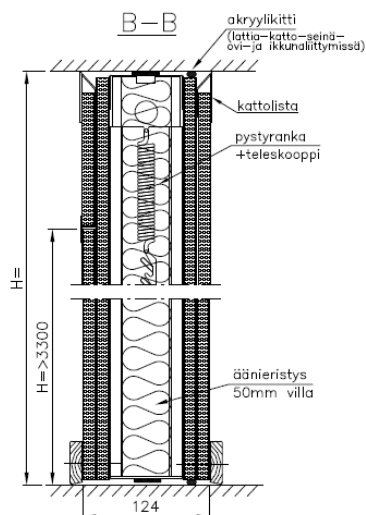
Taulukko 8. Woody-seinärakenteen ääneneristävyys eri lasilla.

Woody	dB
6 mm karkaistu	29
33.2	31
44.2	35
55.2	36
66.2	36

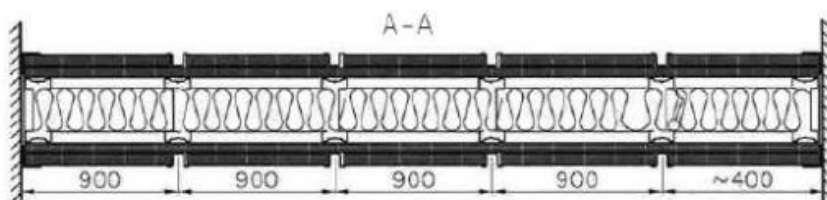
Taulukosta on nähtävissä, että ääneneristävyys on melko sama rakenteilla, joissa lasin ääneneristävyys on lähellä profiilin ääneneristävyyttä, kun taas suuremman ääneneristysarvon omaavilla lasilla rakenteen kokonaisääneneristävyys on lasin ääneneristävyyteen nähden selvästi heikompi. Tulokset ovat kuitenkin vastaavia, kuin Glazy-seinälle saadut arvot, joten ei voida sanoa, että jompikumpi näistä lasiseinistä olisi ääneneristysarvoiltaan toista parempi.

4.3 Inlook Handy dB ja Flexy dB

Laskentaan valittiin umpiseinistä dB-versiot. Molemmissa seinissä pintalevyinä on tapetoidut Knaufin 13 mm kipsilevyt, jotka on Handy dB-seinässä kiinnitetty toisiinsa hattulistoilla, ja Flexy dB-seinässä puskusaumoilla. Pintalevyjen kiinnitys onkin seinien suurin eroavaisuus, ja se vaikuttaa Handy dB-seinän ääneneristysarvoon, sillä pintalevyjen väliin jää rako hattulistalle. Pintalevyn alla molemmissa seinissä on aluslevyinä Gyproc GN-13 kipsilevyt. Seinissä on tuplalevytys näillä samoilla levyillä molemmilla puolilla ja niiden välissä on 30x70x0,7 teräsranka k900 ja 50 mm paroc extra eristysvilla. Kuvassa 20 on esitetty molempien seinien rakenteellinen poikkileikkaus ja kuvassa 21 Handy dB-seinän vaakaleikkaus, jossa näkyvissä pintalevyjen kiinnitys toisiinsa hattulistoilla.



Kuva 20. Handy dB- ja Flexy dB-seinien rakenteellinen poikkileikkaus.



Kuva 21. Handy dB-seinän vaakapoikkileikkaus.

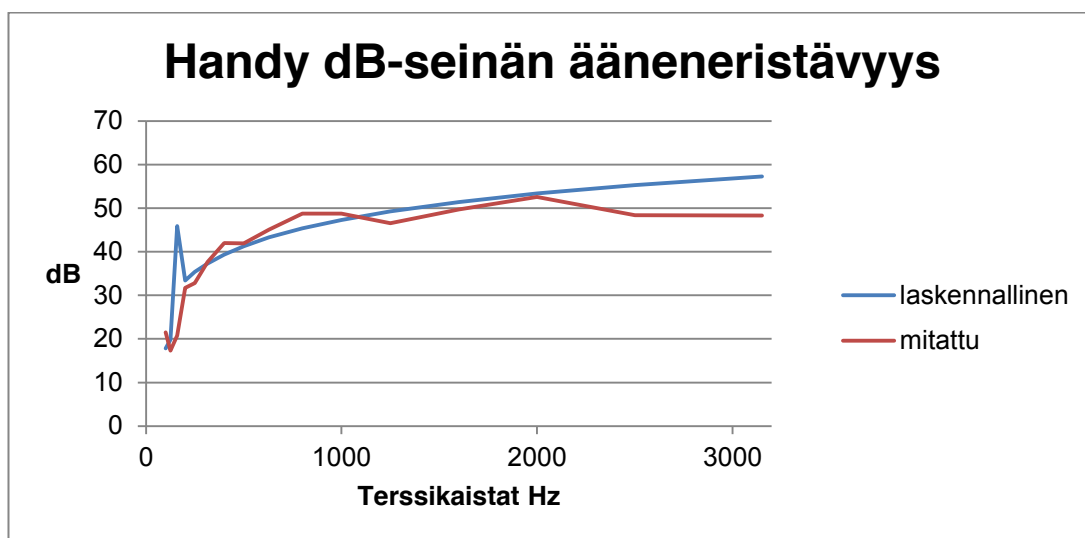
Flexy dB- ja Handy dB-seinien laskenta tapahtuu pääpiirteittäin samalla tavalla. Molempien seinien laskenta aloitettiin laskemalla kahden pintalevyn yksittäiset ääneneristävyydet, sekä niiden yhteinen ääneneristävyys. Laskelmalla saatu päällekkäisten levyjen ääneneristysarvon on todettu antavan noin 3 dB verran optimistisia ääneneristysarvoja, joten päällekkäisten levyjen ääneneristävydestä on otetta 3 dB pois.

Aluksi kaksinkertaisen rakenteen laskennassa lähdetään olettamuksesta, että seinän rankoja ei ole kytketty toisiinsa kiinni. Handy dB-seinälle saadaan tässä laskentavaiheessa arvo 51 dB ja Flexy dB-seinälle sama 51 dB. Vaikka Handy dB-seinän pintalevyjen ääneneristävyys on heikompi kuin Flexy dB-seinän, saadaan sama arvo, sillä ääneneristävyys määräytyy levyjen pintamassojen mukaisesti, jotka ovat molemmissa seinissä samat. Tässä muodostuukin ongelmaksi se, ettei pintamassoissa ole huomioitu hattulistoja Handy dB-seinän pintalevyjen välissä.

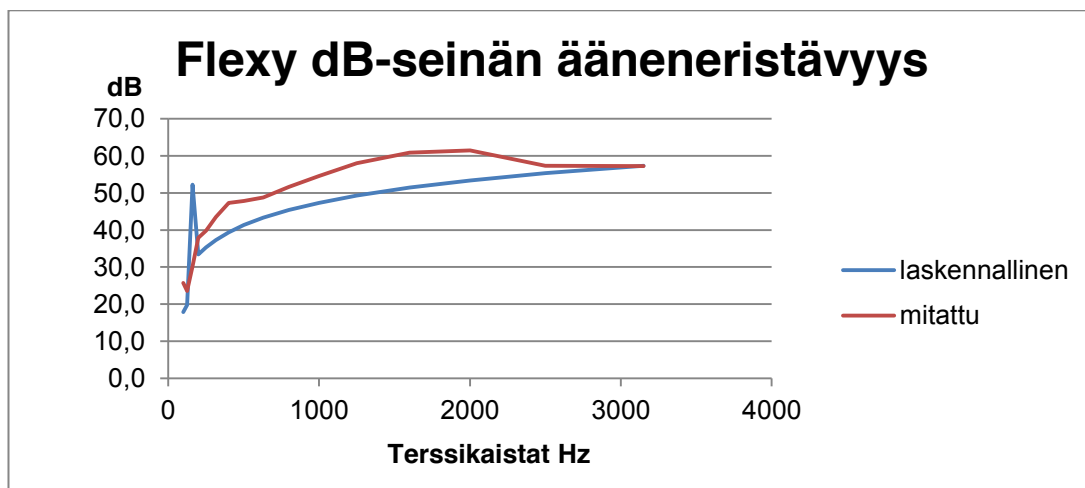
Rakenteen ääneneristävyttä arvioidaan tämän jälkeen laskemalla ääneneristävyys olettaen, että rakenteen ranka on täysin jäykkä. Laskennassa saatiin Handy dB-seinälle tulokseksi 44 dB ja Flexy dB-seinälle 43 dB. VTT:n mittauksen tuloksena Handy dB-seinälle saatiin ääneneristävyysarvo 43 dB ja Flexy dB-seinälle 49 dB. Laskennalliset tulokset ovat siis täysin päinvastaiset. Tuloksiin vaikuttaa varmasti se, että kyseinen teräsranka ei ole täysin jäykkä, kuten esimerkiksi puinen ranka olisi. Joustavan rangon laskenta toisi molemmille seinillä paremmat laskennalliset ääneneristysarvot, kuin jäykällä rangalla laskenta, mutta vielä pitäisi osata huomioida Handy dB-seinän hattulistojen vaikutus laskennallisoin keinoin.

Joustava ranka voi teoriassa antaa, jopa 8 dB korkeampia arvoja, kuin jäykkä ranka, joten mittaustulokseksi saatu 49 dB Flexy dB-seinälle pitää varmastikin paikkansa. Joustavan rangon laskenta on erittäin haastavaa, ja siksi laskenta jää näiden kahden seinän osalta jäykän rangon vaikutuksen laskentaan. Joustavan rangon vaikutus voidaan suurin piirtein arvioida jo saaduista mittaustuloksista. Jos Handy-seinälle olisi joustavan rangon ansiosta arvioitava 6 dB lisäys, täytyisi olettaa, että hattulistan vaikutus olisi myös noin 6 dB verran. Täytyy siis todeta, ettei kyseinen kaksinkertaisen levyseinän laskentamalli ole paras mahdollinen kyseisten seinien laskentaan.

Kuvassa 22 on esitetty Handy dB-seinän laskennalliset ja mitatut ääneneristysarvot terssikaistoittain. Nämä käyrät antavat laskelman onnistumisesta paremman kuvan, kuin mikä tilanne oikeasti on. Toki laskennalliset ja mitatut arvot osuivat 3 dB toleranssin sisäpuolelle. Flexy dB-seinän ääneneristyskäyrä (kuvassa 23) osoittaa laskelman olevan virheellinen, sillä lasketut arvot ovat osin lähes 10 dB pienempiä kuin mitatut arvot.



Kuva 22. Handy dB-seinän ääneneristyskäyrä



Kuva 23. Flexy dB-seinän ääneneristävyyskäyrä

5 Ääneneristävyydsmittaukset

Tätä työtä varten mitattiin Inlook Oy:n toimistolla Helsingin Herttoniemessä kahden lasisen toimistoseinän ääneneristysarvot. Mittaukset teki Akukon Oy 13.2.2014. Akukon Oy:n tekemä mittausraportti on esitetty liitteessä 3. Molemmat seinät ovat Glazy-profiilein kiinnitettyä 10 mm karkaistua lasia. Toisessa toimistoseinässä on alumiini-karminen lasiovi ja toisessa alumiinikarminen puuovi. Molemmat seinät ovat toimistohuoneen ja käytävän välisiä, joten niille voidaan oletuksena asettaa määräysten mukainen ääneneristysvaatimus 25 dB. Kuvassa 24 on esitetty mitatut lasiseinät.



Kuva 24. Mitatut huoneet

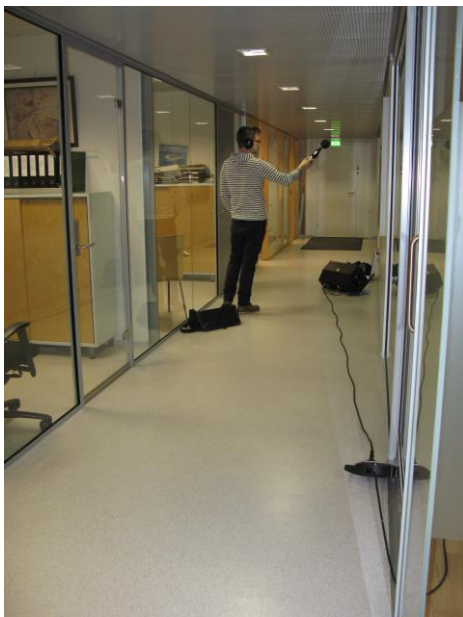
5.1 Mittauksen kulku

Mittaukset tehtiin toimistossa alkuillasta, jolloin ylimääräinen meluhäiriö oli minimissä. Lähetyshuoneena toimi tässä tilanteessa toimiston käytävä, ja vastaanottohuoneena kulloinkin mitattu toimistohuone. Mittauskalustoon sisältyivät kaiutin, sekä mikrofoni, jolla ääntä mitattiin. Mittaukset aloitettiin mittaamalla äänitasoa käytävässä kaiuttimen ollessa päällä. Äänitasoa mitatessa molempien huoneiden ovet olivat suljettuina. Ääneneristävyttä mitatessa kaiuttimen aikaansaama ääni oli tasainen ja erittäin voimakas. Ääni mitattiin mikrofonilla kolmesta eri kohdasta käytävän puolella. Mikrofonia heilutettiin ääntä mitatessa, jotta saataisiin mahdollisimman hyvä mittaustulosten keskiarvo. Kuvassa 25 on esitetty mittauksissa käytetty mikrofoni ja äänilähde.



Kuva 25. Mikrofoni ja äänilähteenä käytetty kaiutin.

Tämän jälkeen siirryttiin mittaamaan huoneen sisäpuolelle, jossa mitattiin kolmesta eri kohdasta, jolloin huoneen keskimääräinen äänitaso saatiin luotettavasti selville. Kun molemmat huoneet oli mitattu sisäpuolelta, mitattiin käytävän puolelta vielä uudelleen, kaiuttimen paikan muuttamisen jälkeen. Tämän jälkeen mitattiin vielä molemmissa huoneissa sisäpuolella uudelleen. Äänitaso mitattiin huoneen ulko- ja sisäpuolella aina kolmesta eri mittauspisteestä kaiuttimen ollessa molemmissa seinän päissä. Äänitasoa seinän ulkopuolella voidaan näin ollen verrata äänitasoon toimistohuoneen puolella, ja arvioida näin seinän ääneneristävyys. Kuvassa 26 tehdään äänitasomittauksia käytävän puolella.



Kuva 26. Äänitasomittausta käytävän puolelta

Molemmissa huoneissa mitattiin myös taustamelu ja jälkikaiunta-aika. Taustamelu mitattiin huoneen sisäpuolella, kaiuttimen ollessa suljettuna. Taustamelu tarkoitti tässä ympäristössä lähinnä ilmastointimelua. Taustamelu tarkistettiin, jotta sen vaikutus huoneen sisäiseen äänitasoon voidaan ottaa huomioon. Esimerkiksi massiivisilla ja hyvin ääntä eristävillä seinillä voi taustamelu olla suurempi kuin seinän läpi päästämä ääni, jolloin mittaustulos sekoittuu. Jälkikaiunta-aika mitattiin kaiutin huoneen sisäpuolella. Jälkikaiunta-ajan mittauksessa kaiuttimen ääni ei ollut tasainen, vaan kuului lyhyemmissä pätkissä. Kaiutin asetettiin isommassa huoneessa kahteen eri pisteeseen ja näillä molemmilla kaiutin sijainneilla mitattiin ääntä kolmessa eri kohdassa huoneen sisällä. Pienemmässä huoneessa kaiutin oli yhdessä pisteessä ja tällöin otettiin kolme eri mittausta. Tässä vaiheessa mikrofoni oli liitetty äänilähteeseen, jolloin voitiin mitata tarkasti äänen kaiunta sen toiston lopettamisen jälkeen. Kuvassa 27 tehdään jälkikaiunta-ajan mittausta huoneen sisäpuolella.



Kuva 27. Jälkikaiunta-ajan mittausta huoneen puolelta.

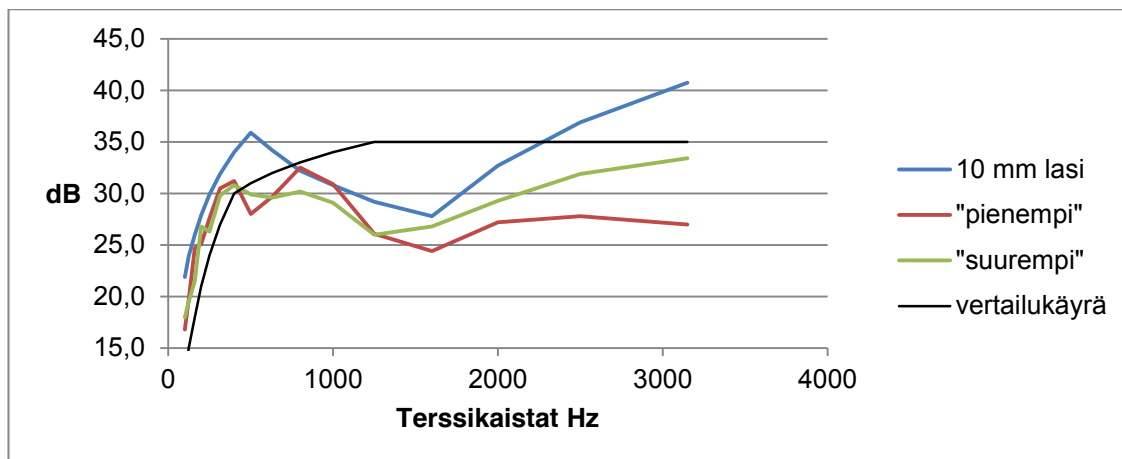
5.2 Mittaustulokset

Jo mittauksen alkuvaiheessa, äänentoiston ollessa päällä, huomattiin, että suurin osa rakenteen läpi huoneeseen tulleesta melusta tuntui tulevan oven ja otsarakenteen läpi. Nämä molemmat kohdat vaikuttavat huomattavasti koko rakenteen ääneneristävyyteen. Ovien ja niiden heikon ääneneristävyyden takia toimistohuoneen ja käytävän välinen ääneneristysvaatimus onkin paikalla mitattu $R'w$ 25 dB. Kuvassa 28 on esitetty lasiseinien yläpuolinen otsarakenne ja sen läpiviennit.



Kuva 28. Lasiseinärakenteen yläpuolinen otsarakenne LVI-läpivienteineen.

Mittauksen tuloksiksi saatiin pienemmälle lasiovelliselle toimistohuoneelle $R'w$ arvo 28 dB ja suuremmalle puuoviselle toimistohuoneelle $R'w$ arvo 30 dB. Osa tästä erosta johtuu huoneiden eroavista absorptioaloista ja erottavien rakenteiden pinta-aloista. Suhteutettuna kokoon, ääneneristysarvojen välille ei jää eroa kuin 1 dB.



Kuva 29. Toimistohuoneiden ja yksittäisen 10 mm karkaistun lasin ääneneristävyydet

Kuvassa 29 on esitetty mitattujen toimistohuoneiden ääneneristävyydsarvot ja yksittäisen 10 mm karkaistun lasin laskennalliset ääneneristysarvot, vertailukäyrä on kohdistettu siten, että se näyttää 500 Hz taajuudella 30 dB ääneneristysarvoa. Käyristä on huomattavissa toimistohuoneiden ääneneristykseen vaikuttavat tekijät eli ovi, lasiseinän profiilit ja rakenteen yläpuolinen otsa. Yksi ääneneristyksen kannalta merkittävä asia, joka käyristä selvästi näkyy, on ääneneristävyyden lasku suuremmilla taajuuksilla. Pienillä taajuuksilla käyrät pysyvät hyvin vertailukäyrän yläpuolella, kun taas suuremmat taajuudet nousevat ääneneristystä rajoittaviksi tekijöiksi.

Rakenne koostuu pääosin 10 mm karkaistusta lasista, jonka ääneneristysarvo R_w on 33 dB. Laboratorioarvo R_w on kuitenkin noin 3 dB korkeampi kuin paikanpäällä mitattu arvo $R'w$, joten eli jos lasin $R'w$ arvo olisi noin 30 dB, niin lasin ääneneristysarvo pitää koko seinän osalta yllättävän hyvin paikkansa. Yhteisääneneristävyys laskee oven takia hieman, laskennallisesti arvioiden ovella on vain noin 1 dB ääneneristystä alentava vaikutus kyseisessä tapauksessa. Muun poikkeaman täytyy johtua alumiiniprofiilista ja yläpuolisesta otsarakenteesta.

Mittauksen tulosten perusteella lasiseinän ääneneristysarvot ylittävät selvästi käytävä-lasiseinille vaaditun 25 dB ääneneristysarvon. Lasiseinä toimii siis tarpeeksi hyvin toimistohuoneen ja käytävän välisenä ääntä eristävänä elementtinä. Neuvotteluhuoneiden ääneneristävyysvaatimusten 35 dB tällä seinällä ei päästä, jos lasia ei vaihdeta selvästi järeämpään.

Aikaisemmin laskettuun Glazy-lasiseinään verrattuna tämä lasiseinä eroaa vain 1-2 dB verran, joka on tuskin havaittavissa oleva ero. Jos koko seinärakenteen ääneneristävyttä haluttaisiin nostaa, täytyisi valita suuremman ääniluokan ovi ja varmistaa yläpuolisen otsarakenteen ja siihen liittyvien läpivientien tiiveys.

6 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin väliseinärakenteiden ääneneristävyyttä. Työssä laskettiin VTT:n tutkimustulosten perusteella laskennallisia ääneneristysarvoja Inlook Oy:n seinille. Lisäksi mitattiin lasiseinien ääneneristävyyttä Inlook Oy:n toimistolla. Ääneneristävyyden laskennallinen arviointi osoittautui jo alusta asti mutkikkaaksi, sillä kaavoja oli paljon, ja niiden ymmärtämiseen vaadittiin aikaa. Yksinkertaisten levyrakenteiden laskenta onnistui hyvin, sillä rakenteeseen vaikuttavia tekijöitä oli vähän ja näin ollen myöskin laskentakaavat olivat helposti ymmärrettäviä. Kaksinkertaisten levyseinien laskenta osoittautui erittäin monimutkaiseksi, sillä seinien laskentaa hidasti kaavojen määrä ja niiden tulkinnan vaikeus. Kaavojen määrä lisääntyi rakenteen osien määrän kasvaessa, sillä jokaisen osan ominaisuudet ja niiden vaikutus on otettava huomioon laskennassa.

Laseinien ääneneristysarvoja saatiin laskettua luotettavasti ja yhteisääneneristävyys voitiin määrittää rakennekokonaisuuksille. Laseinien ja lasiseinäkokonaisuuksien ääneneristykseen arviointiin löydettiin käyttökelpoisia laskennallisia keinoja. Kaksinkertaisen levyseinän ja varsinkin sen rankojen mallintaminen osoittautui työssä erittäin haasteelliseksi. Näin ollen Inlook Oy:n umpiseinille ei saatu selkeää laskentamallia, jolla ääneneristävyyttä voitaisiin arvioida. Umpiseinien laskentamalli vaatisi lisää tutkimista ja uusien laskentakaavojen kehittämistä varsinkin pintalevyjen rakojen vaikutuksen arviointiin. Handy dB-seinän mallissa pitäisi voida arvioida levyjen välisen hattulistan vaikutus levyn ääneneristävyyteen ja pintamassaan, joka jäykän rangan laskelmissa käytännössä määrää ääneneristävyyttä. Voidaan siis todeta, etteivät työssä käytetyt laskentamallit kaksinkertaisen seinän osalta ota huomioon kaikkia tarvittavia seikkoja. Jos näiden kaksinkertaisten väliseinien ääneneristävyyttä halutaan jatkossa tutkia, tulee niille kehittää toimiva laskentamalli.

Tämän työn avulla voidaan helposti arvioida lasiseinien ja niihin liittyvien rakenteiden ääneneristävyyttä. Ääneneristävyyden arviointimenetelmiä voidaan käyttää jatkossa tuotteiden markkinoimiseen ja kustannustehokkaiden vaihtoehtojen valitsemiseen asiakkaille. Näitä arviointimenetelmiä voidaan käyttää tulevaisuudessa myös tuotekehityksessä apuna. Työtä itsessään voidaan käyttää henkilöstön koulutuksessa ja perehdytyksessä. Se toimii kattavana tietolähteenä myyntihenkilöstölle.

Inlook:n toimistolla tehdyt toimistoseinien kenttämittaustulokset osoittautuivat hyväksi, ja ääneneristysarvot olivat määräysten mukaisia. Saman rakenteen laskennallisessa arvioinnissa kävi ilmi, että yksinkertaisen levyrakenteen laskentamalli aliarvioi karkaistun lasin ääneneristävyttä 2 dB, valmistajien antamiin ääneneristysarvoihin verrattuna.

Mitattujen lasiseinien laskenta osoitti, että seinät toimivat laskennassa vastaavasti kuin aiemmin mitattu Glazy-seinä. Laskennalliset arviot lasiseinien ääneneristävydestä osoittivat lisäksi, etteivät lasiseinämallit eroa ääneneristävydeltään juurikaan toisistaan, ja seinän profiilin materiaalilla, ei ole suurta vaikutusta ääneneristävyteen. Oven ja lasiseinän lasin valinta ovat suurimmat tekijät ääneneristävyden kannalta. Profiilin valinta jää lähinnä ulkonäköseikaksi.

Lähteet

- 1 RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 2 Gyproc Oy. 1992. Gyproc Äänikirja. Helsinki: Gyproc Oy.
- 3 Hongisto, Valtteri. 2013. Meluntorjunta kurssin aineisto. Helsinki, Aalto Yliopisto.
- 4 Pilkington Oy: Ääneneristys lasin avulla
- 5 Rakenteiden ääniteknikan teoriaa: customers.evianet.fi/woodfocus/data.php/200509/026620200509021303_rakenteiden_aaniteoria.pdf luettu 1.11.2013
- 6 RT 38-10901. 2007. Rakennuslasit. Helsinki: RT-kortisto.
- 7 Pilkington Oy. 2012. Lasifakta 2012.Lahti: Pilkington Oy.
- 8 RT 42-11058. 2012. Puuovet. Helsinki: RT-kortisto.
- 9 RakMk-C1. 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Helsinki: Suomen ympäristöministeriö.
- 10 ISO EN 171-1. 2013.
- 11 ISO EN 140-4. 1998.
- 12 Hongisto, Valtteri. 2007.Levyrakenneseinien ilmaääneneristävyuden mallintaminen. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos.
- 13 RIL 243-3-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu, toimistotilat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Liite 1: Ääneneristävyyslaskelmat

Alumiiniprofiilin ääneneristävyysarviointi

Rakenteena 2 mm alumiini

h	2 mm	Rakenteen paksuus
ρ	2700 kg/m ³	Tiheys
m'	5,4 kg/m ²	Pintamassa
η	0,02	Häviökerroin
μ	0,3	Poissonin suhde
E	67000000000 kg/s ² m	Kimmokerroin
c ₀	343 m/s	Äänen nopeus ilmassa

$$f_c = (c_0^2 / 2\pi) \cdot \sqrt{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot m' / E \cdot h^3} = 6210,60882 \text{ Hz}$$

$$1/2 \cdot f_c = 3105,30441 \text{ Hz}$$

Jos	f < 0,5f _c	20log ₁₀ (m'f) - 48dB
Jos	f > f _c	20log ₁₀ m'f + 10log ₁₀ ($\eta(f/f_c - 1)$) - 44dB

	terssikaista	R	vertailuarvo	
f < 0,5f _c	100	6,6478752	6	33 -0,6478752
f < 0,5f _c	125	8,58607546	9	36 0,41392454
f < 0,5f _c	160	10,7302748	12	39 1,26972515
f < 0,5f _c	200	12,6684751	15	42 2,33152489
f < 0,5f _c	250	14,6066754	18	45 3,39332463
f < 0,5f _c	315	16,6140863	21	48 4,38591373
f < 0,5f _c	400	18,689075	24	51 5,31092498
f < 0,5f _c	500	20,6272753	25	52 4,37272472
f < 0,5f _c	630	22,6346862	26	53 3,36531381 28,8997509
f < 0,5f _c	800	24,7096749	27	54 2,29032506
f < 0,5f _c	1000	26,6478752	28	55 1,3521248
f < 0,5f _c	1250	28,5860755	29	56 0,41392454
f < 0,5f _c	1600	30,7302748	29	56 -1,7302748
f < 0,5f _c	2000	32,6684751	29	56 -3,6684751
f < 0,5f _c	2500	34,6066754	29	56 -5,6066754
f < 0,5f _c	3150	36,6140863	29	56 -7,6140863

Huomioidaan tässä vaiheessa, että mallissa on oltava noin 3 dB toleranssi.
Käytetään siis laskelmissa profiilille arvoa 22 dB.

Glazy-seinä alumiinisaranaovella:

		ALA		R/Rw	
U-pelti	S1	0,244 m ²	R1		22 dB
Ovi	S2	2,7 m ²	R2		35 dB
Lasiseinä	S3	9,056 m ²	R3		37 dB

Yhteisääneneristävyyys:

$$\text{Ryhteis} = 10 \log_{10} \left(S_1 + S_2 + S_3 / (S_1 \cdot 10^{(-R_1/10)} + S_2 \cdot 10^{(-R_2/10)} + S_3 \cdot 10^{(-R_3/10)}) \right)$$

34,55905026 dB

34 dB

Glazy rakenteen laskennallinen ääneneristävyyys

Slidy lasiseinä liukuovella:

		ALA		Rw	
Profiili	S1	1,2 m ²	R1		22 dB
Lasiseinä	S2	10,8 m ²	R2		37 dB

Yhteisääneneristävyyys:

$$\text{Ryhteis} = 10 \log_{10} \left(S_1 + S_2 / (S_1 \cdot 10^{(-R_1/10)} + S_2 \cdot 10^{(-R_2/10)}) \right)$$

30,91230396 dB

30 dB

Slidy dB rakenteen laskennallinen ääneneristävyyys

Seinät:	Handy dB	Mitattu Rw	43 dB
	Flexy dB	Mitattu Rw	49 dB

Rakenne

Tapetoitu kipsilevy Knauf 13 mm (paino 9,6 kg/m²) hattulistat/puskusaumat

Kipsilevy 13 mm Gyproc GN-13 (paino 9,9 kg/m²)

Teräsranka 30x70x0,7 k900 + villa 50 mm paroc extra (paino 1,56 kg/m²)

Kipsilevy 13 mm Gyproc GN-13 (paino 9,9 kg/m²)

Tapetoitu kipsilevy Knauf 13 mm (paino 9,6 kg/m²) hattulistat/puskusaumat

Pintalevy 1 (tapetoitu kipsilevy)

h	13 mm	Rakenteen paksuus
m'	9,6 kg/m ²	Pintamassa
η	0,02	Häviökerroin
μ	0,3	Poissonin suhde
E	3000000000 kg/s ² m	Kimmokerroin
c0	343 m/s	Äänen nopeus ilmassa

$$f_c = (c_0^2 / 2\pi) * \sqrt{12 * (1 - \mu^2) * m' / E * h^3} \quad 2361 \text{ Hz}$$

Käytetään pyöristettyä arvoa 2500 Hz

$$1/2 * f_c = \quad 1250 \text{ Hz}$$

Jos	f < 0,5f _c	20log ₁₀ (m'f) - 48dB
Jos	f > f _c	20log ₁₀ m'f + 10log ₁₀ (η(f/f _c - 1)) - 44dB

	R	käyrä		
f < 0,5f _c	100	11,6454247	8	33 -3,6454247
f < 0,5f _c	125	13,5836249	11	36 -2,5836249
f < 0,5f _c	160	15,7278243	14	39 -1,7278243
f < 0,5f _c	200	17,6660246	17	42 -0,6660246
f < 0,5f _c	250	19,6042248	20	45 0,39577517
f < 0,5f _c	315	21,6116357	23	48 1,38836426
f < 0,5f _c	400	23,6866245	26	51 2,31337551
f < 0,5f _c	500	25,6248247	27	52 1,37517525
f < 0,5f _c	630	27,6322356	28	53 0,36776435 29,2687854
f < 0,5f _c	800	29,7072244	29	54 -0,7072244
f < 0,5f _c	1000	31,6454247	30	55 -1,6454247
	1250	29,84	31	56 1,16
	1600	28,08	31	56 2,92
	2000	26,32	31	56 4,68
	2500	24,56	31	56 6,44
f > f _c	3150	22,7716692	31	56 8,22833083
f > f _c	4000	28,4784369		
f > f _c	5000	32,6351247		

Levyn ääneneristävyys 20,6305282 dB (Handy) Päällimmäisen levyn raot huomiotu

Pintalevy 2 (normaali kipsilevy)

h	13 mm	Rakenteen paksuus
m'	9,9 kg/m ²	Pintamassa
η	0,02	Häviökerroin
μ	0,3	Poissonin suhde
E	3000000000 kg/s ² m	Kimmokerroin
c0	343 m/s	Äänen nopeus ilmassa

$$f_c = (c_0^2 / 2\pi) \cdot \sqrt{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot m' / E \cdot h^3} = 2398 \text{ Hz}$$

Käytetään pyöristettyä arvoa 2500 Hz

$$1/2 \cdot f_c = 1250 \text{ Hz}$$

Jos	f < 0,5f _c	20log ₁₀ (m'f) - 48dB
Jos	f > f _c	20log ₁₀ m'f + 10log ₁₀ (η(f/f _c - 1)) - 44dB

	R	käyrä		
f < 0,5f _c	100	11,9127039	8	33 -3,9127039
f < 0,5f _c	125	13,8509042	11	36 -2,8509042
f < 0,5f _c	160	15,9951035	14	39 -1,9951035
f < 0,5f _c	200	17,9333038	17	42 -0,9333038
f < 0,5f _c	250	19,8715041	20	45 0,12849593
f < 0,5f _c	315	21,878915	23	48 1,12108503
f < 0,5f _c	400	23,9539037	26	51 2,04609628
f < 0,5f _c	500	25,892104	27	52 1,10789602
f < 0,5f _c	630	27,8995149	28	53 0,10048512
f < 0,5f _c	800	29,9745036	29	54 -0,9745036
f < 0,5f _c	1000	31,9127039	30	55 -1,9127039
	1250	30,12	31	56 0,88
	1600	28,34	31	56 2,66
	2000	26,56	31	56 4,44
	2500	24,78	31	56 6,22
f > f _c	3150	23,0389484	31	56 7,9610516
f > f _c	4000	28,7457162		
f > f _c	5000	32,9024039		

26,66511

Levyjen yhteinen pintamassa: 9,8 kg/m²

Kaksinkertaisen seinän laskenta: Handy dB

Molempien levyjen ääneneristävyyden summa:

$$RN=20\lg(10^{(R1/20)}+10^{(R2/20)}) \quad 30,2074711 \text{ dB} \quad \mathbf{27 \text{ dB}}$$

Ilmavälin paksuus d **70 mm** **m** **9,8 kg/m²**

$$f_{mam} = \frac{(1/2\pi) \cdot \text{NELIÖJUURI}((1,8 \cdot \rho_0 \cdot (c_0^2)/d) \cdot ((m_1' + m_2')/(m_1' \cdot m_2')))}{136,597555 \text{ Hz}}$$

$$f_l = c_0/6d \quad 816,666667 \text{ Hz}$$

Rideal

$$\text{Jos } f < f_{mam} \quad 20\lg(10^{(m_1' + m_2')} f) - 48$$

$$\text{Jos } f_{mam} < f < f_l \quad R_1 + R_2 + 20\lg(10^{(fd)}) - 29$$

$$\text{Jos } f > f_l \quad R_1 + R_2 + 6$$

	terssikaista R		vertailuarvo		
f < f _{mam}	80	15,9069212			
f < f _{mam}	100	17,8451214	32	33	14,1548786
f < f _{mam}	125	19,7833217	35	36	15,2166783
f _{mam} < f < f _l	160	45,9843605	38	39	-7,9843605
f _{mam} < f < f _l	200	47,9225607	41	42	-6,9225607 29,3715569
f _{mam} < f < f _l	250	49,860761	44	45	-5,860761
f _{mam} < f < f _l	315	51,8681719	47	48	-4,8681719
f _{mam} < f < f _l	400	53,9431606	50	51	-3,9431606
f _{mam} < f < f _l	500	55,8813609	51	52	-4,8813609
f _{mam} < f < f _l	630	57,8887718	52	53	-5,8887718
f _{mam} < f < f _l	800	59,9637605	53	54	-6,9637605
f > f _l	1000	60	54	55	-6
f > f _l	1250	60	55	56	-5
f > f _l	1600	60	55	56	-5
f > f _l	2000	60	55	56	-5
f > f _l	2500	60	55	56	-5
f > f _l	3150	60	55	56	-5
f > f _l	4000	60			
f > f _l	5000	60			

Jos $f < f_1$ $R_{real} = R_{ideal}$
 Jos $f > f_1$ $R_{real} = R_{ideal} + \Delta R_{abs}$

$f_1 = \frac{c_0}{2L} = 190,555556 \text{ Hz}$

$\Delta R_{abs} = 10 \log_{10}(\alpha_{eff}) = 0 \text{ dB}$ Ilmävälissä on mineraalivilla -> $\alpha_{eff} = 1$
 Ei tarvitse huomioida laskennassa!

Jos $f < f_{br}$ R_{ideal}
 Jos $f > f_{br}$ $R_{br} = RM + \Delta RM$ $RM = 20 \log_{10}((m'1 + m'2)f) - 48 \text{ dB}$

$f_{br} = f_{mam}(\pi b f c / 2 c_0 (m'1 / (m'1 + m'2))^2)^{1/4} = 173,053345 \text{ Hz}$

$\Delta RM = 10 \log_{10}(b f c) + 20 \log_{10}(m'1 / (m'1 + m'2)) - 18 = 9,50122527 \text{ dB}$

	R	vertailu	
f < fbr	100 17,8451214	25	33 7,15487857
f < fbr	125 19,7833217	28	36 8,21667831
f < fbr	160 45,9843605	31	39 -14,98436
f > fbr	200 33,3669466	34	42 0,63305339
f > fbr	250 35,3051469	37	45 1,69485313
f > fbr	315 37,3125578	40	48 2,68744223
f > fbr	400 39,3875465	43	51 3,61245348 28,9323082
f > fbr	500 41,3257468	44	52 2,67425322
f > fbr	630 43,3331577	45	53 1,66684232
f > fbr	800 45,4081464	46	54 0,59185357
f > fbr	1000 47,3463467	47	55 -0,3463467
f > fbr	1250 49,284547	48	56 -1,284547
f > fbr	1600 51,4287463	48	56 -3,4287463
f > fbr	2000 53,3669466	48	56 -5,3669466
f > fbr	2500 55,3051469	48	56 -7,3051469
f > fbr	3150 57,3125578	48	56 -9,3125578
f > fbr	4000 59,3875465		
f > fbr	5000 61,3257468		

Inlook Handy dB seinälle saatiin laskennallinen R-arvo 44 dB.

Kaksinkertaisen seinän laskenta: Flexy dB

Molempien levyjen ääneneristävyyden summa:

$$RN=20\lg(10^{(R1/10)}+10^{(R2/10)}) \quad 33,0205999 \text{ dB} \quad 30 \text{ dB}$$

$$\text{Ilmavälin paksuus } d \quad 72 \text{ mm} \quad m \quad 9,8 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{mam} = \frac{(1/2\pi) \cdot \text{NELIÖJUURI}((1,8 \cdot \rho \cdot (c_0^2)/d) \cdot ((m'1+m'1)/(m'1 \cdot m'2)))}{134,687006}$$

$$f_l = c_0/6d \quad 793,981481$$

Rideal

$$\text{Jos } f < f_{mam} \quad 20\lg 10(m'1+m'2)f-48$$

$$\text{Jos } f_{mam} < f < f_l \quad R1+R2+20\lg fd-29$$

$$\text{Jos } f > f_l \quad R1+R2+6$$

	R	vertailuarvo		
f < f _{mam}	80	15,9069212		
f < f _{mam}	100	17,8451214	32	33 14,1548786
f < f _{mam}	125	19,7833217	35	36 15,2166783
f _{mam} < f < f _l	160	52,2290496	38	39 -14,22905
f _{mam} < f < f _l	200	54,1672498	41	42 -13,16725 29,3715569
f _{mam} < f < f _l	250	56,1054501	44	45 -12,10545
f _{mam} < f < f _l	315	58,112861	47	48 -11,112861
f _{mam} < f < f _l	400	60,1878498	50	51 -10,18785
f _{mam} < f < f _l	500	62,12605	51	52 -11,12605
f _{mam} < f < f _l	630	64,1334609	52	53 -12,133461
f > f _l	800	66	53	54 -13
f > f _l	1000	66	54	55 -12
f > f _l	1250	66	55	56 -11
f > f _l	1600	66	55	56 -11
f > f _l	2000	66	55	56 -11
f > f _l	2500	66	55	56 -11
f > f _l	3150	66	55	56 -11
f > f _l	4000	66		
f > f _l	5000	66		

Jos $f < f_{br}$ Rideal
Jos $f > f_{br}$ $R_{br} = R_M + \Delta R_M$

$$f_{br} = f_{mam}(\pi b f c / 2 c_0 (m'1 / (m'1 + m'2))^2)^{1/4} \quad 170,632899 \text{ Hz}$$

$$\Delta R_M = 10 \log_{10}(b f c) + 20 \log_{10}(m'1 / (m'1 + m'2)) - 18 \quad 9,50122527 \text{ dB}$$

	R		vertailu	
f < f _{br}	100	17,8451214	25	33 7,15487857
f < f _{br}	125	19,7833217	28	36 8,21667831
f < f _{br}	160	52,2290496	31	39 -21,22905
f > f _{br}	200	33,3669466	34	42 0,63305339
f > f _{br}	250	35,3051469	37	45 1,69485313
f > f _{br}	315	37,3125578	40	48 2,68744223
f > f _{br}	400	39,3875465	43	51 3,61245348 28,9323082
f > f _{br}	500	41,3257468	44	52 2,67425322
f > f _{br}	630	43,3331577	45	53 1,66684232
f > f _{br}	800	45,4081464	46	54 0,59185357
f > f _{br}	1000	47,3463467	47	55 -0,3463467
f > f _{br}	1250	49,284547	48	56 -1,284547
f > f _{br}	1600	51,4287463	48	56 -3,4287463
f > f _{br}	2000	53,3669466	48	56 -5,3669466
f > f _{br}	2500	55,3051469	48	56 -7,3051469
f > f _{br}	3150	57,3125578	48	56 -9,3125578
f > f _{br}	4000	59,3875465		
f > f _{br}	5000	61,3257468		

Liite 2: VTT:n mittaustulokset Glazy ja Flexy dB

Tehtävä	Käyntiovellisen lasiseinän ääneneristävyyden määrittäminen														
Näyte / seinärakenne	<p>Tilaaaja asensi 16.2.2011 laboratorioon alumiinirunkoisen ja lasisella käyntiovella varustetun lasiseinän (Inlook Glazy), jonka neliöpaino oli noin 20 kg/m². Seinä koottiin valmiista lasiosista asentamalla kehän mittausaukonlaidoille ja oven yläpuolelle alumiiniset valmisrangat. Seinäosan lasiosat tiivistettiin pystysaumaliitoksissa massalla.</p> <p>Laseinän ja lasioven lasi osa oli 4/4 laminoitua lasia (laminointikerroksen paksuus 0,76 mm).</p> <p>Testatun seinän rakennekuvat ja materiaalit on esitetty liitteessä 2.</p>														
Tehtävän suoritus	<p>Ilmaääneneristävyys R mitattiin standardin <i>ISO 140-3:1995 (EN ISO 140-3:1995)</i> [1] mukaan ja ilmaääneneristysluku R_w määritettiin standardin <i>ISO 717-1:1996 (EN ISO 717-1:1996)</i> [2] mukaan.</p>														
Asennus ja mittaus	<p>Seinä koottiin tilaajan toimesta kahden kaiuntahuoneen väliseen mittausaukkoon (koko 4 m x 3 m). Seinä tiivistettiin aukkoon elastisen kitin avulla. Ilmaääneneristävyys määritettiin kaksikanavamittauksena käyttäen kahta kiinteää äänilähdettä ja pyöriviä mikrofoneja.</p> <p>Kaiuntahuoneet: Kaiuntahuoneiden betonivaipan paksuus on 0,25 m. Äänilähdehuoneen lattian mitat ovat 4,7 x 5,8 ja 3,7 m. Vastaanottohuoneen vastaavat mitat ovat 5,0 x 6,5 m ja korkeus on 4,0 m. Tilavuudet ovat 130 ja 102 m³.</p> <p>Mittausvälineet:</p> <table><tr><td>Kondensaattorimikrofonit</td><td>B&K (Brüel&Kjær) 4134</td></tr><tr><td>Mikrofoniesivahvistimet</td><td>B&K 2639</td></tr><tr><td>Kiertyvät mikrofonipuomit</td><td>B&K 3923</td></tr><tr><td>Vahvistin</td><td>Yamaha MX-1000</td></tr><tr><td>Kaiuttimet</td><td>Sinmarc V121L</td></tr><tr><td>Reaaliaika-analysointilaite</td><td>Norsonic 830</td></tr><tr><td>Mäntä-äänilähde</td><td>B&K 4228</td></tr></table>	Kondensaattorimikrofonit	B&K (Brüel&Kjær) 4134	Mikrofoniesivahvistimet	B&K 2639	Kiertyvät mikrofonipuomit	B&K 3923	Vahvistin	Yamaha MX-1000	Kaiuttimet	Sinmarc V121L	Reaaliaika-analysointilaite	Norsonic 830	Mäntä-äänilähde	B&K 4228
Kondensaattorimikrofonit	B&K (Brüel&Kjær) 4134														
Mikrofoniesivahvistimet	B&K 2639														
Kiertyvät mikrofonipuomit	B&K 3923														
Vahvistin	Yamaha MX-1000														
Kaiuttimet	Sinmarc V121L														
Reaaliaika-analysointilaite	Norsonic 830														
Mäntä-äänilähde	B&K 4228														

Olosuhteet:

- laboratorion ilma lämpötila 20 °C
- laboratorion suhteellinen ilmankosteus RH 24 %
- ilmanpaine 103 kPa

Testiaika ja -paikka

Seinän ääneneristävyys määritettiin 16.2.2011 VTT:n Tutkimushalli 1:ssä.

Tulokset

Ilmaääneneristävyys R on esitetty 1/3 oktaaveittain samoin kuin muut lasketut spektrisovitusermit liitteessä 1. Yksilukuarvoiset ilmaääneneristysluvut R_w ja $R_w + C$ on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lasiseinän ääneneristävyys.

Lasiseinä	R_w	$R_w + C$
Inlook Glazy	dB	dB
	34	33

Laboratoriomittaustulokseksi saadun yksilukuarvon toistettavuus on 1 dB [3].

Espoo, 8.3.2011



Pekka Sipari
Tutkija



Veijo Sivonen
Teknikko

VTT Expert Services Oy on ilmoitettu laitos Nro NB 0809.

Mittatekniikan keskus on akkreditoinut laboratoriomme (nro T001, FINAS akkreditointi) suorittamaan tässä testausselesteessa mainitut testit.

Viitteet

- [1] and [3] ISO 140: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3:1995 Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements. - Part 2:1991: Determination, verification and application of precision data.
- [2] ISO 717: Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1:1996: Airborne sound insulation

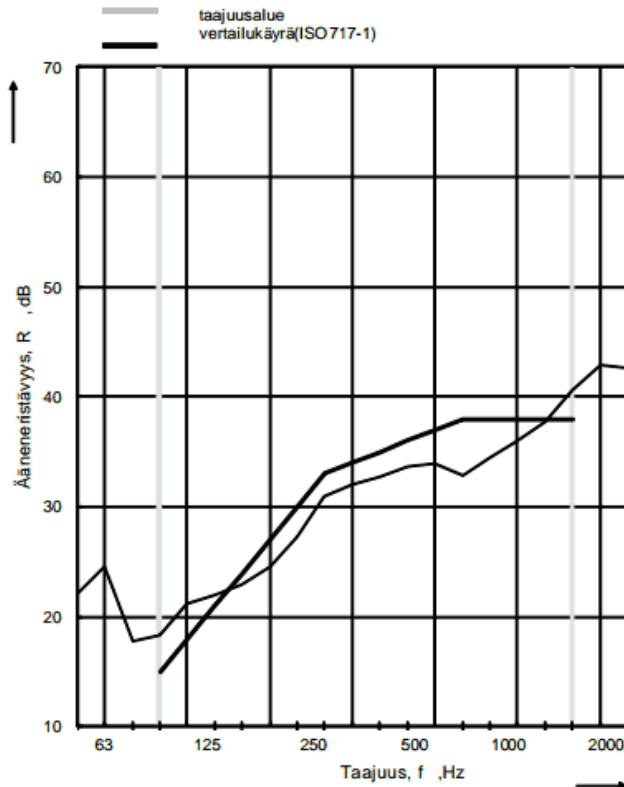
Valmistaja: Inlook Oy Tuote: Käyntioellinen lasiseinä alumiiniprofilein
Lasi ja lasiovi: 4/4lam 0,76mm

Tilaja: Inlook Oy Koehuone: Koehuone: Kaiutahuoneet 1 ja 2
Kokeen pvmt: Kokeen pvmt: 16.2.2011

Testikappaleen asensi: Inlook Oy
Sebstus välineistä, testikappaleesta ja kokeen järjestelyistä: Lasiseinä koottiin mittaahuoneiden väliseen aukkoon mitat: (4000 x 3000 mm) ja elementtien saumat tiivistettiin Ilmääneneristävyyttä määritettiin kaksikanavamittauksena käyttäen kahta kiinteää äänilähdettä ja liikkuvaa mikrofonia.

Testikappaleen pinta-ala S: 12 m²
Massa pinta-alayksikköä kohti: n. 25 kg/m²
Koehuoneiden lämpötila: 20 °C
Koehuoneiden ilmankosteus: 24 %
Lähtävän huoneen tilavuus: 102 m³
Vastaanottohuoneen tilavuus: 131 m³

taajuus f Hz	R terssi- kaistat dB
50	22,1
63	24,6
80	17,8
100	18,3
125	21,2
160	22,0
200	22,9
250	24,5
315	27,3
400	31,0
500	32,0
630	32,7
800	33,6
1000	34,0
1250	32,8
1600	34,5
2000	36,0
2500	37,7
3150	40,6
4000	42,9
5000	42,6



Luokitus ISO 717-1:n mukaan:
 $R_w(C;C_{tr}) = 34 (-1; -4) \text{ dB};$ $C_{50-3150} = -1 \text{ dB};$ $C_{50-5000} = 0 \text{ dB};$ $C_{100-5000} = 0 \text{ dB};$
 Tulokset perustuvat tarkkuusmenetelmällä
 saatuihin laboratoriomittauksisiin
 $C_{tr,50-3150} = -5 \text{ dB};$ $C_{tr,50-5000} = -5 \text{ dB};$ $C_{tr,100-5000} = -4 \text{ dB};$

Tehtävä	Kipsilevyseinän ääneneristävyyden määrittäminen
Näyte / seinärakenne	<p>Tilaaaja asensi 15.2.2011 laboratorioon teräsrankaisen molemmin puolin tupla-levytetyn kipsilevyseinän (Inlook Flexyy dB).</p> <p>Seinän rakenne oli seuraava:</p> <ul style="list-style-type: none">- tapetoitu kipsilevy 13 mm (KN-N13, Knauf, paino 9,6 kg/m²), levytys puskusaumoin/kiinnitys peltikiinnikkein- kipsilevy 13 mm (GN-13, Gyproc, paino 9,9 kg/m²), vaakalevytys, kiinnitys ruuvein ja saumaus akryylimassalla- teräsranka 30 x 72 x 0,7 (Triva DK System) k 900 ja villa 50 mm (Paroc eXtra, paino 1,5 6 kg/m²)- kipsilevy 13 mm (GN-13, Gyproc, paino 9,9 kg/m²), vaakalevytys, kiinnitys ruuvein ja saumaus akryylimassalla- tapetoitu kipsilevy 13 mm (KN-N13, Knauf, paino 9,6 kg/m²), levytys puskusaumoin/kiinnitys peltikiinnikkein <p>Testatun seinän rakennekuva on esitetty liitteessä 2.</p>
Tehtävän suoritus	<p>Ilmaääneneristävyys <i>R</i> mitattiin standardin <i>ISO 140-3:1995 (EN ISO 140-3:1995)</i> [1] mukaan ja ilmaääneneristysluku <i>R_w</i> määritettiin standardin <i>ISO 717-1:1996 (EN ISO 717-1:1996)</i> [2] mukaan.</p>
Asennus ja mittaus	<p>Seinä asennettiin tilaajan toimesta kahden kaiuntahuoneen väliseen mittausaukkoon (koko 4 m x 3 m). Seinä tiivistettiin aukkoon elastisen kitin avulla. Ilmaääneneristävyys määritettiin kaksikanavamittauksena käyttäen kahta kiinteää äänilähdettä ja pyöriviä mikrofoneja.</p> <p>Kaiuntahuoneet: Kaiuntahuoneiden betonivaipan paksuus on 0,25 m. Äänilähdehuoneen lattian mitat ovat 4,7 x 5,8 ja 3,7 m. Vastaanottohuoneen vastaavat mitat ovat 5,0 x 6,5 m ja korkeus on 4,0 m. Tilavuudet ovat 130 ja 102 m³.</p>

Mittausvälineet:

Kondensaattorimikrofonit	B&K (Brüel&Kjær) 4134
Mikrofoniesivahvistimet	B&K 2639
Kiertyvät mikrofonipuomit	B&K 3923
Vahvistin	Yamaha MX-1000
Kaiuttimet	Sinmarc V121L
Reaaliaika-analysaattori	Norsonic 830
Mäntä-äänilähde	B&K 4228

Olosuhteet:

- laboratorion ilma lämpötila	20 °C
- laboratorion suhteellinen ilmankosteus RH	24 %
- ilmanpaine	103 kPa

Testiaika ja -paikka Seinän ääneneristävyys määritettiin 15.2.2011 VTT:n Tutkimushalli 1:ssä.

Tulokset Ilmaääneneristävyys R on esitetty 1/3 oktaaveittain samoin kuin muut lasketut spektrisovitusermit liitteessä 1. Yksilukuarvoiset ilmaääneneristysluvut R_w ja $R_w + C$ on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Seinän ääneneristävyys.

Seinä	R_w	$R_w + C$
Inlook Flexy dB	dB	dB
	49	46

Laboratoriomittaustulokseksi saadun yksilukuarvon toistettavuus on 1 dB [3].

Espoo, 8.3.2011



Pekka Sipari
Tutkija



Veijo Sivonen
Teknikko

VTT Expert Services Oy on ilmoitettu laitos Nro NB 0809.

Mittatekniikan keskus on akkreditoitu laboratoriomme (nro T001, FINAS akkreditointi) suorittamaan tässä testauselosteessa mainitut testit.

Valmistaja: Inlook Oy

Tuote: Pettirankainen kipsilevyseinä: KN-N 13 + GN 13+
ranka 30x72 k900 (villa 50mm) + GN 13 + KN-N 13
Päälimmät kipsilevyt pettikinnikkein

Tilaja: Inlook Oy

Koehuone: Koehuone: Kaiutahuoneet 1 ja 2

Kokeen pvm: Kokeen pvm: 15.2.2011

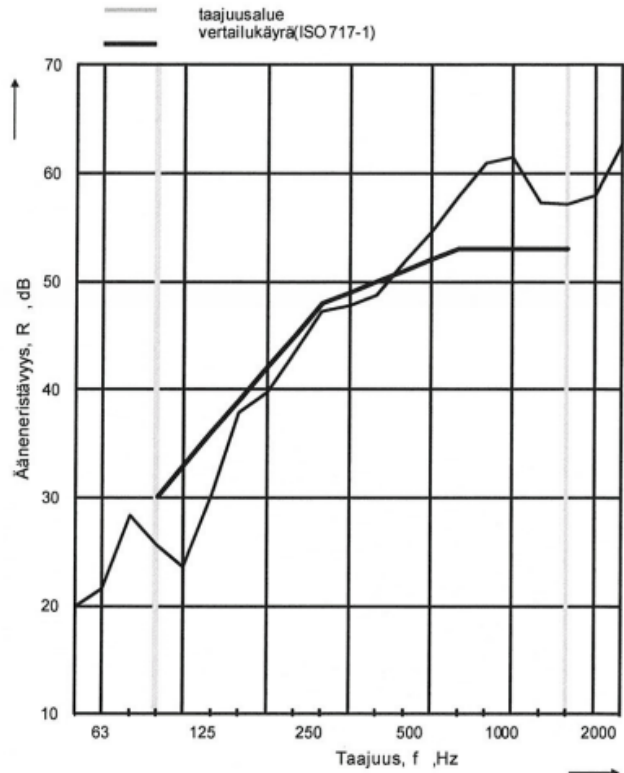
Testikappaleen asensi: Inlook Oy

Selostus välineistä, testikappaleesta ja kokeen järjestelyistä:

Kipsilevyseinä koottiin mittaahuoneiden väliseen aukkoon mitat: (4000 x 3000 mm) ja pystyreunat tiivistettiin Ilmaääneneristävyyttä määritettiin kaksikanavamittauksena käyttäen kahta kiinteää äänilähdettä ja liikkuvaa mikrofonia

Testikappaleen pinta-ala S: 12 m²
Massa pinta-alayksikköä kohti: n. 40 kg/m²
Koehuoneiden lämpötila: 20 °C
Koehuoneiden ilmankosteus: 24 %
Lähtevän huoneen tilavuus: 102 m³
Vastaanottohuoneen tilavuus: 131 m³

taajuus f Hz	R terssi- kaistat dB
50	20,0
63	21,6
80	28,4
100	25,7
125	23,6
160	30,2
200	37,9
250	39,8
315	43,5
400	47,3
500	47,8
630	48,8
800	51,8
1000	54,6
1250	58,0
1600	60,9
2000	61,5
2500	57,3
3150	57,2
4000	58,0
5000	62,7



Luokitus ISO 717-1:n mukaan:

$R_w(C;C_{tr}) = 49 (-3; -9) \text{ dB};$

$C_{50-3150} = -4 \text{ dB};$ $C_{50-5000} = -3 \text{ dB};$ $C_{100-5000} = -2 \text{ dB};$

Tulokset perustuvat tarkkuusmenetelmällä saattuihin laboratoriomittauksisiin

$C_{tr,50-3150} = -11 \text{ dB};$ $C_{tr,50-5000} = -11 \text{ dB};$ $C_{tr,100-5000} = -9 \text{ dB};$

Liite 3: Akukon Oy:n mittauspöytäkirja

ÄÄNERISTYSMITTAUKSET 13.2.2014

1 Tausta

Akukon Oy suoritti 13.2.2014 ilmajärjestysmittaukset Inlook Oy:n toimitiloissa (Sahaajankatu 1, 00880 Helsinki). Saadut mittaukset on esitetty yhteenvedossa tässä dokumentissa sekä mittauspöytäkirjoissa, jotka löytyvät liitteinä.

Mittaukset (2 kpl) tehtiin käytävän ja toimistohuoneiden välillä. Toimistohuoneiden käytäväseinät ovat lasia (paksuus 10 mm). Toisessa toimistohuoneessa (nimetty "suurempi" tässä dokumentissa) on puurakenteinen ovi, jossa ei ole ääniluokitusmerkintää, ja toisessa (nimetty "pienempi") on lasiovi. Kummassakin ovesta on alaslasketuva kynnyks.

2 Suositukset

Käytävän toimistohuoneen välisen ilmajärjestyksen vähimmäissuositus on $R'_w \geq 25$ dB, kun tilojen välillä on ovi. Suositus perustuu standardin SFS 5907 (Rakennusten akustinen luokitus) akustisen luokan C äänieristysvaatimukseen. Standardi jakaa rakennukset neljään akustiseen luokkaan A-D, joista A on vaatimuksiltaan tiukin ja D kevyin. Luokan C katsotaan myös vastaavan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1:1998 mukaisia määräyksiä niiltä osin kuin niitä on määräyskokoelmassa annettu.

3 Mittaukset

Käytävän ja toimistohuoneiden väliset ilmajärjestysmittaukset suoritettiin standardien SFS-EN ISO 140-4:1998 ja SFS-EN ISO 717-1:1996 mukaisesti. Mitatut ilmajärjestysluvut R'_w on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Yhteenvedo ilmajärjestysmittauksista.

mittaus	lähetyshuone	vastaanottohuone	R'_w dB
M01	käytävä	toimistohuone (suurempi)	30
M02	käytävä	toimistohuone (pienempi)	28

3.1 Tulosten tarkastelu ja huomioita

Kummankin mittauksen (M01 ja M02) ilmasteneristysluvut R'_w täyttävät SFS standardin 5907 luokan C mukaisen vaatimuksen $R'_w \geq 25$ dB.

Mittausten aikaiset huomiot

Mittausten yhteydessä havaittiin, että äänen kulkeutuminen käytävältä toimistohuoneisiin oli merkittävää erityisesti ovien kautta. Lisäksi ääni pääsi kulkeutumaan käytäväseinän otsarakenteen ja sen läpi kulkevien IV-kanavien kautta. Käytävältä katsottuna otsarakenne jää alakaton yläpuolelle. Alakattoa ei pystytty avaamaan mitausten yhteydessä, eikä mahdollisten äänenvaimentimien asennusta ja läpivientien tiivistystä voitu tarkistaa.

4 Muita kommentteja

Yleisesti ilmasteneristysluvussa R'_w huomioidaan vastaanottohuoneen absorptioala sekä lähetys- ja vastaanottohuoneita erottavan rakenteen pinta-ala. Ilmasteneristävyyttä siis normalisoidaan absorptioalan ja rakenteen pinta-alan suhteen.

Nyt saatujen mitaustulosten (M01 ja M02) 2 dB:n ero johtuu siis osittain eroista toimistohuoneiden (vastaanottohuoneet) absorptioaloissa ja erottavien rakenteiden pintaaloissa. Toisin sanoen eri toimistohuoneiden lasiseinien (mukaan lukien ovet ja otsarakenteet) ääneneristävyyksissä ei välttämättä ole merkittäviä eroja. Käyttämällä kummassakin mittauksessa erottavan rakenteen pinta-alana 10 m^2 , ero mitaustulosten välillä on 1 dB, mikä on jo mittauserävarmuuden sisällä.



Jukka Ahonen, TkT
Konsultti



Olli Salmensaari, DI FISE AA
Vanhempi konsultti

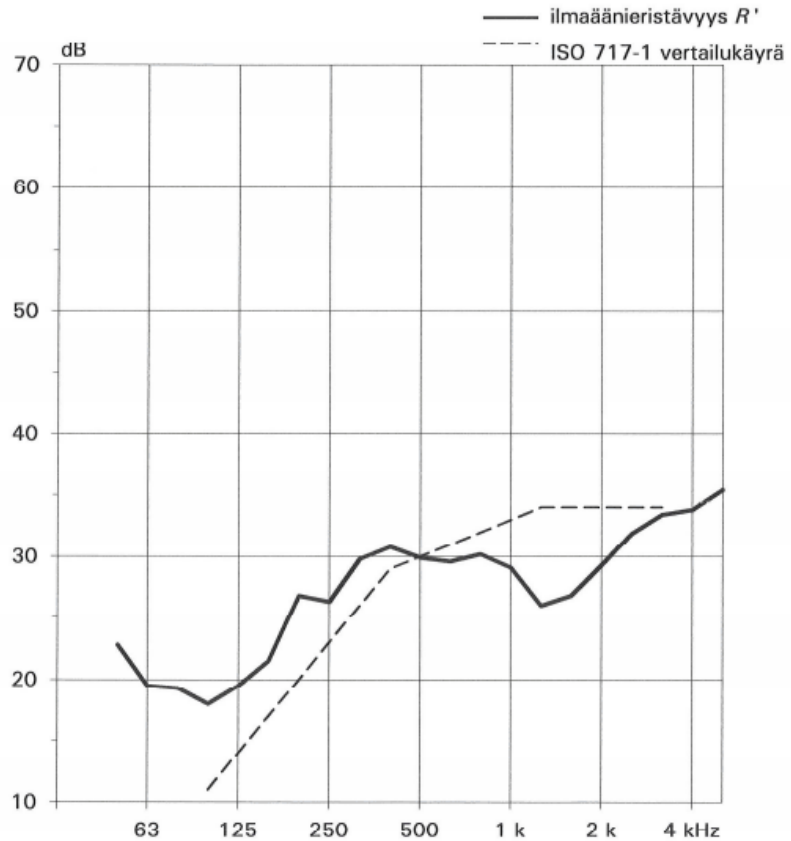
kohde: Inlook Oy

rakenteen pinta-ala:
vastaanottohuoneen tilavuus:

8,8 m²
38,5 m³

Ilmaäänieristävyys:

terssi Hz	R' dB
50	22,8
63	19,5
80	19,3
100	18,0
125	19,5
160	21,5
200	26,8
250	26,3
315	29,8
400	30,8
500	29,9
630	29,6
800	30,2
1000	29,1
1250	26,0
1600	26,8
2000	29,3
2500	31,9
3150	33,4
4000	33,8
5000	35,4



Ilmaäänieristysluku $R'_w (C; C_{tr})$: 30 (-1;-2) dB
Poikkeama 1250 Hz: 8,0 dB


Olli Salmensaari, DI


Jukka Ahonen, TkT

AKUKON

Akukon Oy
Hiomotie 19, 00380 HELSINKI

puh 010 3200 700

Y-tunnus: 0983772-0

Tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Akukon Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.

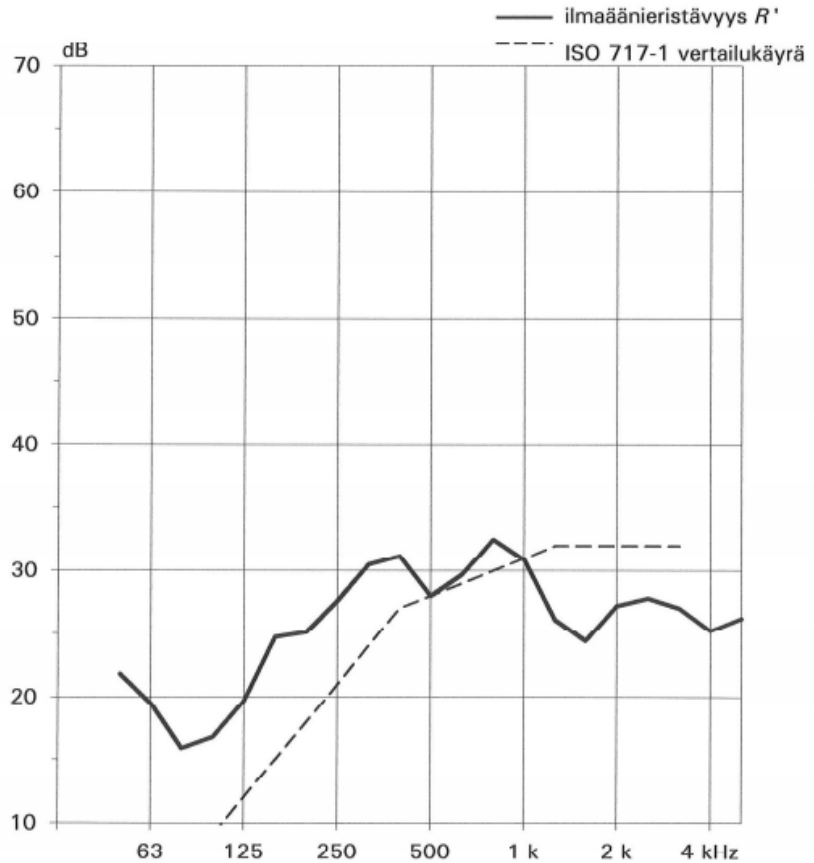
yhdyshenkilö: Harri Havukainen
mittauspäivä: 13.2.2014
mittauspaikka: Sahaajankatu 1
00880 Helsinki
kohde: Inlook Oy

Käytävä
vastaanottohuone:
Toimistohuone (pienempi)

rakenteen pinta-ala: 5,8 m²
vastaanottohuoneen tilavuus: 25,3 m³

Ilmaäänieristävyys:

terssi Hz	R' dB
50	21,8
63	19,5
80	15,9
100	16,8
125	19,7
160	24,7
200	25,1
250	27,6
315	30,5
400	31,2
500	28,0
630	29,7
800	32,5
1000	30,9
1250	26,1
1600	24,4
2000	27,2
2500	27,8
3150	27,0
4000	25,2
5000	26,2



Ilmaäänieristysluku $R'_w (C; C_v)$: 28 (-1;-1) dB
Poikkeama 1600 Hz: 7,6 dB


Olli Salmensaari, DI


Jukka Ahonen, TkT

AKUKON

Akukon Oy
Hiomotie 19, 00380 HELSINKI

puh 010 3200 700

Y-tunnus: 0983772-0

Tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Akukon Oy:n antaman kirjallisen luvan perusteella.