

JULKISIVUN ÄÄNENERISTÄVYYDEN MITOITTAMISEN EPÄVARMUUS

Jukka Keränen, Valtteri Hongisto, David Oliva

Työterveyslaitos, sisäympäristölaboratorio
Lemminkäisenkatu 14-18 B, 20520 TURKU
jukka.keranen@ttl.fi

1 JOHDANTO

Ulkoa tulevan ympäristömelun aiheuttaman äänitason laskenta huoneessa sisältää useita epävarmuustekijöitä: rakenteiden ääneneristävyysarvon epävarmuus, huoneen äänitasomittauksen epävarmuus ja ympäristömelun äänitason mittauksen tai mallinnuksen epävarmuus. Näitä epävarmuuksia ei oteta riittävästi huomioon julkisivujen ääneneristävyysmitoituksessa. Esimerkiksi tieliikennemelun osalta mitoitus tehdään yksilukuisiin mittalukuihin perustuen [1] välittämättä melun todellisesta taajuusjakaumasta, rakenteen äänieristyksen taajuuskäyttäytymisestä tai sisätilan äänikentän mittauksen epävarmuuksista.

Vaativien tapauksien ratkaisemiseen tulisi olla käytettävissä tarkempia ja luotettavampia malleja, jotka hyödyntävät paremmin akustisten mittausteknologioiden sallimia mahdollisuuksia sen sijaan, että sovellettaisiin pelkästään yksinkertaistettuja malleja. Yksinkertaistettuja mallejakin käyttävät lopulta akustiikan asiantuntijat, joilla olisi mahdollisuudet ja taidot soveltaa tarkempia malleja. Yksilukuinen mitoitusmenetelmä aiheuttaa suurimman virheen, kun rakenteen ääneneristävyys on heikko voimakkaimman melun taajuuksilla. Ongelmia esiintyy myös, kun yksittäisen julkisivun rakennusosan, kuten ikkuna, ääneneristävyys on selvästi heikompi kuin muiden [2,3].

Tavoitteena oli kehittää malli, jonka avulla voidaan terssikaistoittain laskea ympäristömelun huoneiston sisätilaan aiheuttama äänitaso ja ennen kaikkea äänitasolaskennan epävarmuus. Epävarmuuslaskennassa huomioidaan ilmaääneneristyksen ja äänitason mittauksen epävarmuudet, jotka on määritetty muissa tutkimuksissa.

2 MALLIN KUVAUS

Jotta voidaan arvioida ympäristömelun äänitason häiritsevyyseriskiä huoneiston sisällä, pitää selvittää laskennallisesti melun äänenpainetaso sekä äänitasolaskelman epävarmuus. Standardin ISO 140-5 [4] mukaan rakennuksen ulkopuolelta julkisivun läpi huoneeseen tuleva äänenpainetaso huoneen keskiosissa $L_{eq,s}$ [dB] lasketaan eri taajuuksilla yhtälöllä

$$L_{eq,s} = L_{eq,u} - R + 10 \lg\left(\frac{S}{A}\right) \quad (1)$$

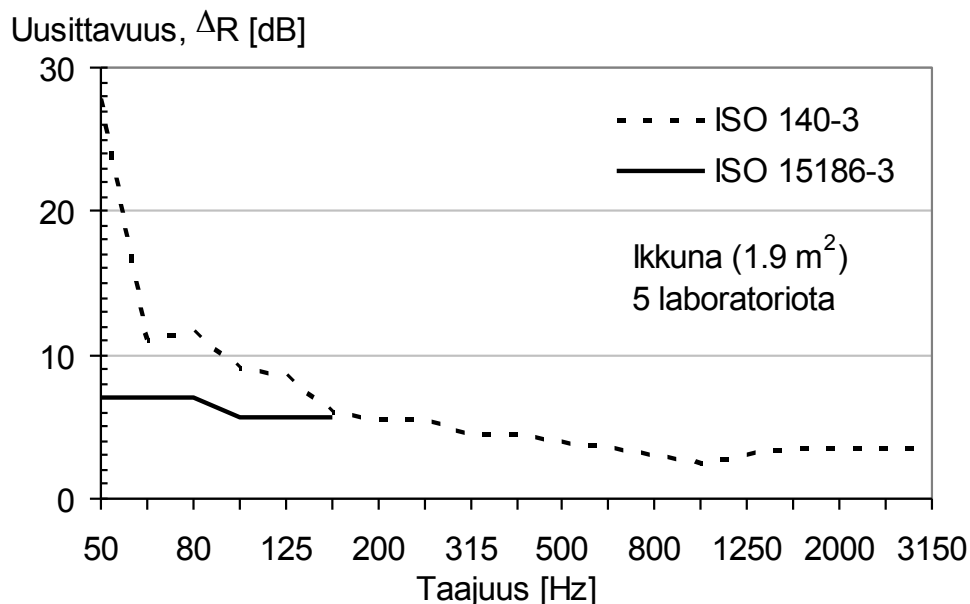
missä $L_{eq,u}$ [dB] on äänenpainetaso ulkona 2 metrin etäisyydellä julkisivun pinnasta (ilman rakennuksen heijastusta), R [dB] on julkisivun ilmaääneneristävyys, S [m²] on julkisivun pinta-ala ja A [m²] absorptioala huoneen sisällä. Jos $L_{eq,u}$ on määritetty rakennuksen paikalla ollessa, lisätään yhtälön oikealle puolelle heijastuskorjaus -3 dB. Tavallisesti suunnittelussa käytettävä absorptioala on 10 m² kaikilla taajuuksilla. Tarkemman tiedon salliessa se lasketaan joka taajuudelle erikseen yhtälöllä

$$A = 0.16V/T \quad (2)$$

jossa V [m³] on huoneen sisätilavuus ja T [s] on jälkikaiunta-aika huoneessa. Yhtälö (1) edustaa keskimääräistä äänenpainetasoa akustisesti diffuusin huoneen keskiosissa vähintään 75 cm etäisyydellä huonepinnoista. Laskenta tehdään kolmasosaoktaaveittain taajuusvälillä, jolta tietoa on käytettävissä. Laskenta voidaan myös tehdä oktaavikaistoittain.

Ympäristömelun äänenpainetaso $L_{eq,u}$ saadaan joko mittauksista tai ympäristömelumallin laskelmista. Se edustaa ekvivalenttia äänenpainetasoa esimerkiksi päivä- tai yöajalla. Koska ympäristömelumallinnusten epävarmuus ei ole tiedossa, eikä mallinlaskentaa terssikaistoittain tee monikaan laskentaohjelmisto, äänenpainetason taajuusjakauman tarkistaminen julkisivun kohdalla on suositeltavaa. Edustavien mittausten vaatima aika on valitettavasti pitkä ja mittaukset edellyttävät tarkkaa kirjanpitoa melunlähteistä, sääolosuhteista ja muista ympäristökijöistä. Mallintamiseen sisältyy kuitenkin vielä suurempia riskejä. Ympäristömelun epävarmuus on $\Delta L_{eq,u}$. Tässä tutkimuksessa arvoksi on valittu $\Delta L_{eq,u}=0$, koska ympäristömelun epävarmuus on hyvin tapauskohtainen.

Julkisivussa käytettävien rakennusosien ilmaääneneristävyysarvon R tulisi ensisijaisesti perustua laboratorio-olosuhteissa tehtyihin mittauksiin. Laboratoriomittauksiin sisältyy kuitenkin mittauserpävarmuutta, jota kuvaava suure on uusittavuus (reproducibility). Uusittavuus kertoo laboratoriodien välisten samalle näytteelle saatujen mittaustulosten tilastollisista eroista. [5] Laboratoriomittaus tehdään useimmiten painemenetelmällä [6], joka on nopea, tunnettu ja helppo. Vaihtoehtoinen uudempi menetelmä on ns. intensiteettimenetelmä [7]. Menetelmä on teknisesti haasteellisempi, mutta sen mittauserpävarmuus ΔR on hyväksyttävällä tasolla myös pienillä taajuuksilla. (Kuva 1).



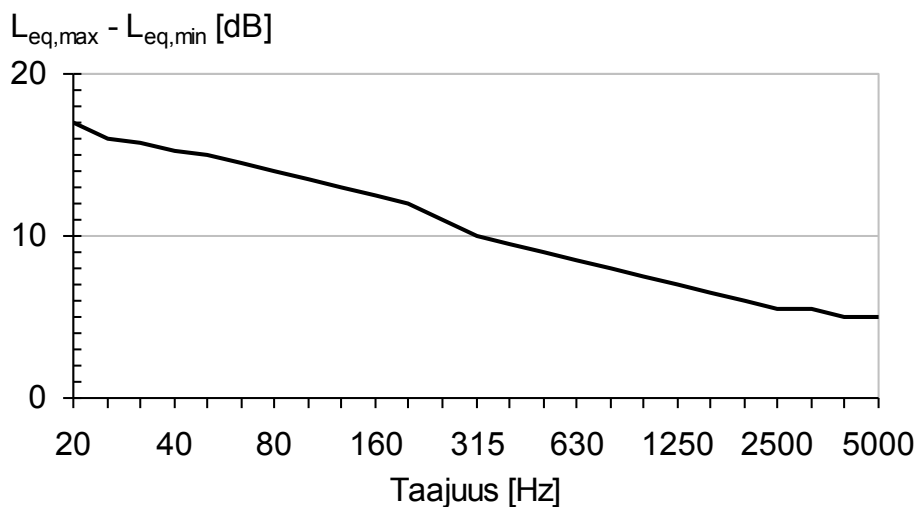
Kuva 1. Ilmaääneneristävyysarvon testituloksen uusittavuus Nordtest -tutkimuksen mukaan [8]. Esimerkiksi 50 Hz:n kaistalla samalle ikkunalle saatiin arvoja 13 ja 40 dB välillä.

Yhtälön (1) mukainen äänenpainetaso $L_{eq,s}$ olettaa diffuusin äänikentän. Pienillä taajuuksilla oletus ei toteudu, koska huonemitat ovat aallonpituuden luokkaa. Huoneeseen syntyy seisovia aaltoja, jotka aiheuttavat voimakasta äänenpainetason paikkariippuvuut-

ta (Kuva 2). Tavallisesti äänenpainetaso maksimit sijoittuvat lähelle huoneen nurkkia ja keskellä huonetta ne ovat selvästi pienempiä [9]. Äänenpainetaso vaihtelu tilassa ajatellaan tässä kuulijan sijainnista riippuvana epävarmuustekijänä $\Delta L_{spatial}$.

Kun edellä kuvatut epävarmuustekijät ajatellaan toisistaan riippumattomiksi, voidaan ulkoa julkisivun läpi sisään tulevan melun äänenpainetaso epävarmuudeksi saada

$$\Delta L_{eq,s} = \sqrt{\Delta L_{eq,u}^2 + \Delta R^2 + \Delta L_{spatial}^2} \quad (3)$$



Kuva 2. Äänenpainetaso tyypillinen vaihtelu huonetilassa pisteissä, jotka sijaitsevat yli 30 cm etäisyydellä huonepinnoilta. [9]

3 SOVELLUSESIMERKKI

Tarkastellaan mallin toimintaa asuinhuoneessa, jonka seinä on tien varrella. Huonemitat ovat 4,0 x 5,0 x 2,5 m. Ulkoseinän pinta-ala 10 m². Julkisivun ulkopuolisena äänenpainetasona käytetään mitattua tieliikennemelua (50 km/h), jonka A-taajuuspainotettu ekvivalentti äänenpainetaso on päiväaikaan (klo 07-22) $L_{A,eq,u}=67$ dB (ilman rakennuksen heijastusvaikutusta). Päiväajan ohjearvo on $L_{A,eq,s}=35$ dB [10]. Julkisivurakenteella tulee siten saada aikaan tasoero $\Delta L=32$ dB. Ympäristöohjeen 108 [1] mukaan koko julkisivulta vaadittu ääneneristävyys on $R_{A,tr}=37$ dB (R_w+C_{tr}).

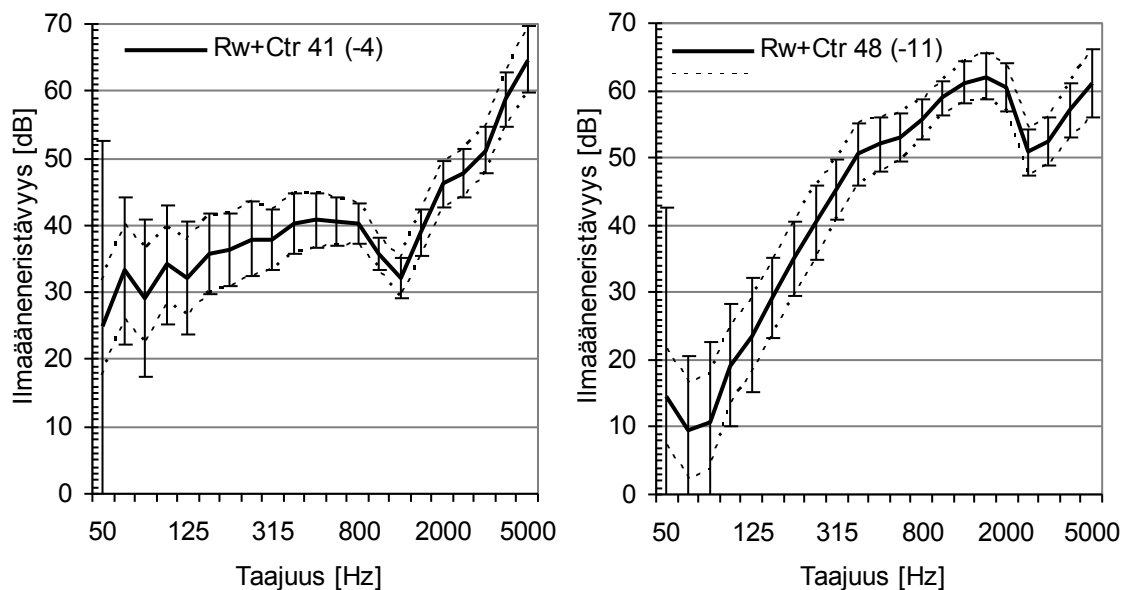
Testataan kohteessa kahta erilaista koko julkisivurakenteen ääneneristysarvoa 1 ja 2, joista molemmat täyttävät edellä asetetun ääneneristysvaatimuksen (Kuva 3).

Määritetään äänenpainetaso terssikaistoittain yhtälön (1) mukaan ja määritetään sisäpuolinen äänenpainetaso $L_{A,eq,s}$ taajuuskaistojen 50-5000 Hz perusteella. Tämän lisäksi määritetään äänenpainetaso epävarmuus terssikaistoittain yhtälöllä (4), missä sovelletaan kuvien (1) ja (2) epävarmuusarvoja. Oletetaan ympäristömelun mittauksen epävarmuudeksi $\Delta L_{eq,u}=0$ dB.

Kuvissa 4 ja 5 esitetään yhtälöllä (1) laskettu äänenpainetaso huoneen sisällä ja siihen liittyvät epävarmuudet, kun ääneneristävyyslaskelmat perustuvat paine- tai intensiteet-

timenetelmällä mitattuihin arvoihin. Tavoitearvoa kuvaava käyrä 35 dB(A) vastaa spektriä, joka häiritsee mahdollisimman vähän kyseisellä äänenpainetasolla.

Tarkastellaan ensin kuvien 4 ja 5 äänitasokeskiarvoja. Rakenteella 1 keskiäänitasoksi saadaan $L_{A,eq,s}=30$ dB ja rakenteella 2 $L_{A,eq,s}=39$ dB. Rakennevaihtoehdolla 1 päästään tavoitetasoon mutta vaihtoehdolla 2 ei. Huoneeseen muodostuvissa A-painotetuissa keskiäänitasoissa on 9 dB ero. Koska tässä esimerkissä pientaajuinen melu on dominoiva ja rakenteen 2 ilmaääneneristävyys on erittäin heikko pienillä taajuuksilla, tavoitetasoon $L_{A,eq,s}=35$ dB ei päästä. Esimerkki osoittaa, että keskiäänitasojen laskelmat tulisi tehdä oktaavi- tai terssikaistoittain.



Kuva 3. Julkisivurakenteen ilmaääneneristävyysarvot vaihtoehdoilla 1 ja 2. Epävarmuudet ΔR intensiteettimenetelmälle katkoviivalla ja painemenetelmällä viiksillä.

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennuspaikalla tapahtuvien rakennemuutosten, äänivuotojen tai sivutiesiirtymien vaikutusta, joiden yleensä arvioidaan heikentävän ääneneristystä muutamia desibelejä.

Edellä tehdyt laskelmat koskevat äänenpainetasoa keskellä huonetta. Tarkastellaan seuraavaksi äänitasolaskelman epävarmuutta. Tarkoituksena on arvioida, millä välillä äänenpainetasot voivat vaihdella huoneen missä tahansa pisteessä. Epävarmuudet on esitetty kuvissa 3-4 viiksillä. Äänenpainetaso laskennan epävarmuus on erittäin suuri alle 200 Hz taajuuksilla. Eniten epävarmuutta aiheuttavat pienillä taajuuksilla äänenpainetasojen riippuvuus paikasta. Seuraavaksi eniten epävarmuutta aiheuttavat laboratorioissa mitattujen ilmaääneneristysarvojen epävarmuudet.

Jos melun taajuusjakauma ja rakenteen ääneneristyskäyrä ovat tasaisia, on äänenpainetaso laskennan epävarmuus pienempi kuin kapeakaistaisella melulla, jonka voimakkain ääni sijaitsee pienillä taajuuksilla. Suurin riski yksiluarvoisen äänitasolaskennan epäonnistumiselle on tilanne, jossa sisälle muodostuva melu on kapeakaistaista ja pientaajuisista. Kuvassa 5 huoneeseen tunkeutunut tieliikennemelu on melko kapeakaistaista, koska julkisivun rakenne eristää heikosti taajuuksia 63 - 80 Hz. Jos huonemoodi sijaitsee kyseisellä taajuudella, voi kyseisen terssikaistan äänenpainetaso vaihdella välillä 40

- 75 dB. Vaihteluväliin vaikuttaa tietenkin moodien lisäksi se, missä laboratoriossa rakenne on testattu. Jossain huoneen pisteessä äänenpainetaso voi olla jopa korkeampi kuin ulkopuolella [11].

Malli mahdollistaa melun häiritsevyyden riskinarvioinnin. Suuri hajonta mallin tuloksissa selittyy osin siitä, että äänenpainetasoa voidaan tarkastella missä tahansa huoneen pisteessä vähintään 30 cm etäisyydellä huonepinnoista. Rakennusakustisissa mittauksissa minimietäisyys huonepinnoista on 75 cm. Käytännössä oleskelualue voi ulottua lähelle seinää, joten ympäristömeluvalitusten kannalta 75 cm etäisyysraja ei ole relevantti.

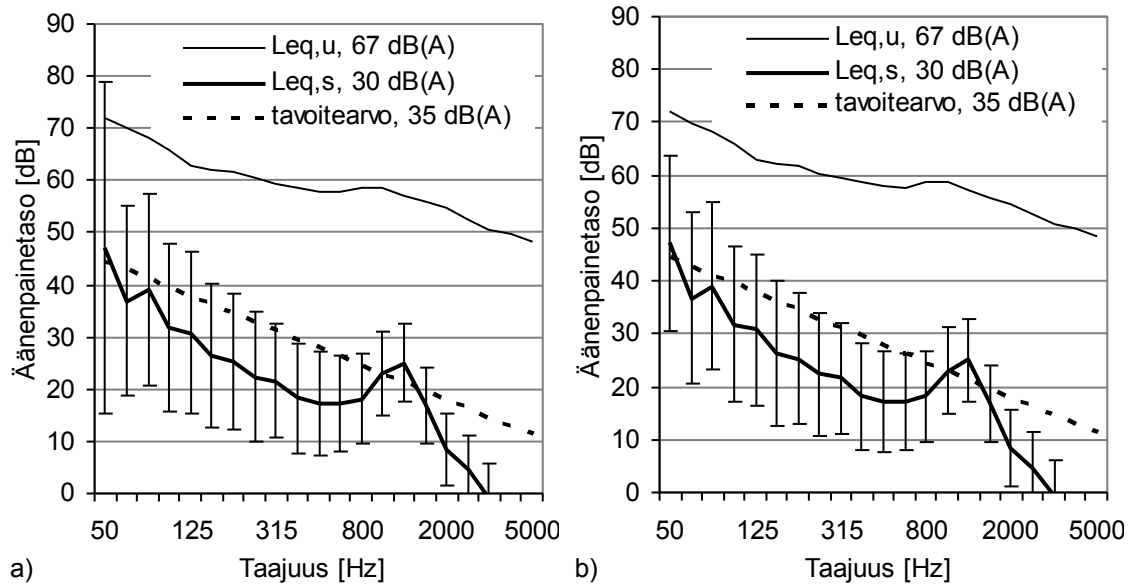
Kuvien 4-5 mukaan intensiteettimenetelmän käyttö pientaajuisten (50 - 160 Hz) ilmaääneneristävyyden määrittämisessä pienentää huomattavasti mitoituskäytännön epävarmuutta. [12] Intensiteettimenetelmää tulisi käyttää erityisesti pienillä rakennusosilla (ikkunat, ovet), joilla ääneneristysarvojen erot laboratorioden välillä (mittausepävarmuus) ovat suurempia.

Johtopäätöksenä todetaan, että julkisivun ääneneristykseen alkuvaiheen mitoitus voidaan tehdä ympäristöohjeen 108 mukaan. Tuotevalintojen tarkentuessa laskelmat tulisi tarkistaa oktaavikaistoittain, jotta ulkoa sisälle tulevan melun ohjearvoa ei ylitettäisi tai, vaihtoehtoisesti, julkisivurakenteeseen ei investoita tarpeettomasti.

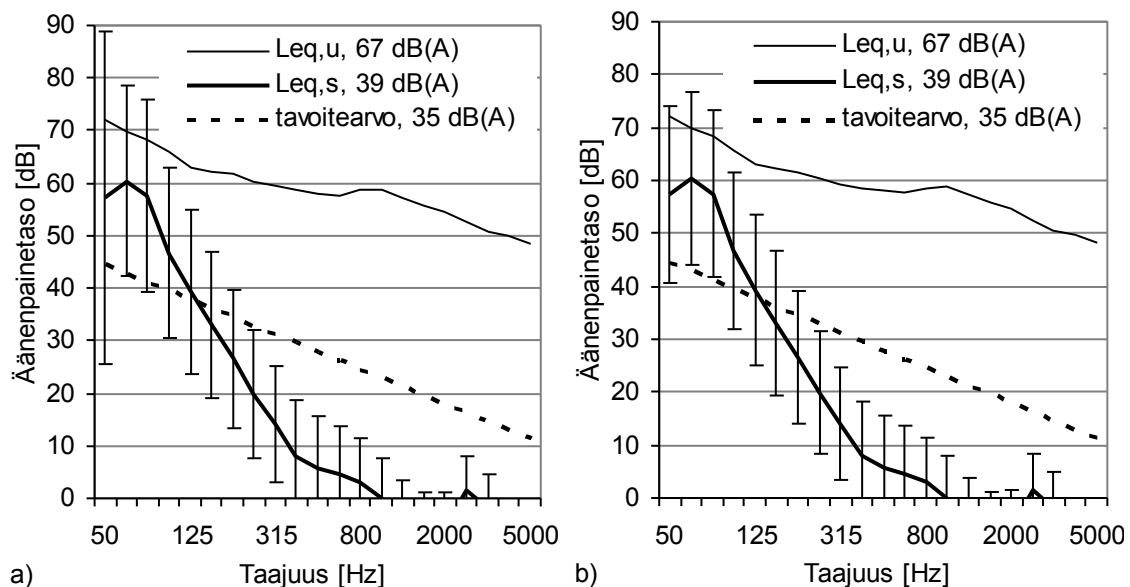
VIITTEET

1. SIPARI P, SAARINEN A, *Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen*, Ympäristöopas 108, Ympäristöministeriö, Helsinki 2003.
2. KYLLIÄINEN M, Rakennuksen ulkokuoren rakennusosilta vaadittava ääneneristävyys. *Akustiikkapäivät 2005*, 26.-27.9.2005, Kuopio, 78-83.
3. KYLLIÄINEN M, HONGISTO V, Rakennuksen ulkovaipan ääneneristystä koskevan asemakaavamääräyksen toteutumisen valvonta mittauksin. *Akustiikkapäivät 2007*, 27.-28.9.2007, Espoo, 106-111.
4. ISO 140-5 *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades*, the International Organization for Standardization, Geneva, 1998.
5. ISO 140-2 *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Determination, verification and application of precision data*, 1991.
6. ISO 140-3 *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements*, 1995.
7. ISO 15186-3 *Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity. Part 3: Laboratory measurements at low frequencies*, 2002.
8. OLESEN H. S, *Laboratory measurement of sound insulation in the frequency range 50 Hz to 160 Hz – A Nordic intercomparison*, Nordtest project 1545-01, DELTA, Aarhus 2002.
9. OLIVA D, HONGISTO V, KERÄNEN J, KOSKINEN V, Pientaajuisten melun mitausmenetelmä, *Akustiikkapäivät 2011*, 11.-12.5.2011, Tampere.
10. *Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992*, Ympäristöministeriö, Helsinki.

11. OLIVA D, HONGISTO V, KERÄNEN J, KOSKINEN V, Measurement of low frequency noise in rooms, Työterveyslaitos, Helsinki, 2011 (julkaisematta).
12. VIRJONEN P, KERÄNEN J, HONGISTO V, Ilmaääneneristävyyden laboratoriotestaus pientaajuuksilla - intensiteetti- vai painemenetelmä? *Akustiikkapäivät 2011*, 11.-12.5.2011, Tampere.



Kuva 4. Äänenpainetaso julkisivun ulkopuolella $L_{eq,u}$ ja sisäpuolella $L_{eq,s}$, kun sovelletaan kuvan 3 rakennetta 1. Viikset esittävät äänitasolaskennan epävarmuuden ΔL_2 , kun ääneneristävyyttä on mitattu a) äänenpainemenetelmällä ja b) intensiteettimenetelmällä.



Kuva 5. Äänenpainetaso julkisivun ulkopuolella $L_{eq,u}$ ja sisäpuolella $L_{eq,s}$, kun sovelletaan kuvan 3 rakennetta 2. Viikset esittävät äänitasolaskennan epävarmuuden ΔL_2 , kun ääneneristävyyttä on mitattu a) äänenpainemenetelmällä ja b) intensiteettimenetelmällä.