

ILMAÄNENERISTÄVYYDEN ROUND ROBIN -TESTI 2016

Jesse Lietzén, Mikko Kylliäinen

Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikan laboratorio
PL 600
33101 Tampere
etunimi.sukunimi@tut.fi

Tiivistelmä

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2016 ilmääneneristävyysmittausten round robin -testin. Testin tarkoituksena oli tarjota Suomessa ääneneristysmittauksia tekeville toimijoille mahdollisuus vertailla mittaustuloksiaan ja varmistaa niiden oikeellisuus. Testiin osallistui 19 mittausryhmää yhteensä 14 organisaatiosta ja testi suoritettiin betonirakenteisessa toimistorakennuksessa. Testissä mitattiin kahden toimistohuoneen välistä ilmääneneristävyttä pystysuuntaan standardin ISO 16283-1 mukaan ja mittaluvut määritettiin standardin ISO 717-1 mukaisesti. Mittaajat määrittivät mittaustensa perusteella 1/3-oktaavikaistaiset ilmääneneristävytydet R' ja standardisoidut äänitasoerot D_{nT} , näistä lasketut yksilukuarvoiset mittaluvut R'_w ja $D_{nT,w}$ sekä spektripainotusermit C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{100-5000}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ ja $C_{tr,100-5000}$. Ilmääneneristysluvun R'_w mittaustulokset olivat välillä 57...62 dB keskiarvon ollessa 59,9 dB ja keskihajonnan 1,2 dB. Tilojen välinen standardisoitu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ taas oli välillä 56...61 dB keskiarvon ollessa 59,0 dB ja keskihajonnan 1,2 dB. Taajuuskaistaisten mittaustulosten hajonta mittajien välillä oli suurinta pienillä, alle 100 Hz taajuuksilla, mikä johtuu tämän taajuusalueen mittaasepävarmuudesta. Verrattuna standardissa ISO 12999-1 esitettyihin keskihajontoihin mittaustulosten keskihajonnat ovat pääosin suuremmat.

1 JOHDANTO

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2016 ilmääneneristävyden round robin -testin. Testin tarkoituksena oli tarjota Suomessa ääneneristävyden kenttämittauksia tekeville toimijoille mahdollisuus vertailla mittaustuloksiaan ja varmistaa niiden oikeellisuus.

Testissä kahden tilan välistä ilmääneneristävyttä mittasi 14 organisaatiota, joista mittaustulokset saatiin 19 mittausryhmältä. Mittauksiin osallistuneet organisaatiot olivat oppilaitoksia, tutkimuslaitoksia ja alan suunnitteluyrityksiä. Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laboratorion laatima testin raportti on kokonaisuudessaan luettavissa RIL ry:n verkkosivustolla [1].

2 MITTAUKSET

RIL ry:n akustiikkatoimikunta lähetti 18.8.2016 akustisia mittauksia tekeville toimijoille kutsun ilmastoineristävyyden round robin -testiin. Testiin ilmoittautuneille lähetettiin 29.9.2016 infokirje, jossa mittauksista kerrottiin tarkemmin. Mittaukset tehtiin betonirakenteisessa toimistorakennuksessa kahden päällekkäisen tilan välillä pystysuuntaan. Mittaukset tuli tehdä voimassa olevien standardien ISO 16283-1 ja ISO 717-1 mukaan käyttäen toimijan omia mittauslaitteita. Kunkin toimijan tuli tehdä mittaukset itsenäisesti ja määrittellä standardien mitattaviksi edellyttämät huoneiden dimensiot ja mittausolosuhteet itse.

Mittaajat määrittivät tuloksistaan 1/3-oktaavikaistaiset ilmastoineristävyydet R' ja standardisoidut äänitasoerot D_{nT} . Lisäksi he laskivat näistä vastaavat mittaluvut eli ilmastoineristysluvun R'_w ja standardisoidun äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ sekä spektripainotusermit C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{100-5000}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ ja $C_{tr,100-5000}$. Mittaajat kirjasiivat saamansa tulokset ennalta määritettyyn tiedostoon, joka lähetettiin täytettynä testin järjestäjälle RIL ry:n toimistoon, jossa kunkin toimijan lähettämät mittaus tulokset anonymisoitiin. Mittausryhmistä käytettiin merkintöjä A1...A19.

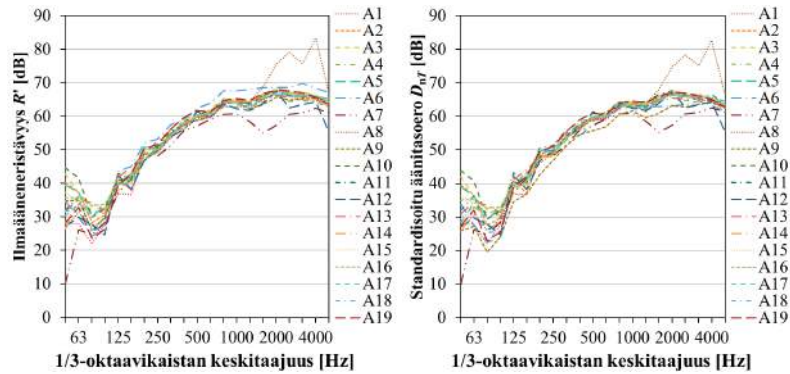
3 TULOKSET

Kaikkien mittausryhmien määrittämät 1/3-oktaavikaistaiset ilmastoineristävyydet R' ja standardisoidut äänitasoerot D_{nT} on esitetty kuvassa 1. Tulosten perusteella erottuu kaksi muista poikkeavaa mittausryhmää: A7 ja A8. Näiden ryhmien tulokset olivat suurilla, yli 1250 Hz taajuuksilla selvästi muista poikkeavat. Lisäksi mittausryhmän A7 tulos oli huomattavasti muita pienempi 50 Hz taajuuskaistalla.

Ilmastoineristävyyden R' taajuuskaistainen keskihajonta oli 1,1–7,7 dB kaikkien tulosten osalta ja 0,8–5,7 dB, kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon. Standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonta oli 1,0–7,6 dB taajuuskaistoittain kaikkien tulosten osalta ja 0,8–5,8 dB ilman poikkeavia tuloksia. Vastaanottohuoneen tilavuudeksi ryhmät määrittivät 48–61,8 m³ [1].

Ilmastoineristyslukujen R'_w sekä $R'_w:n$ ja spektripainotusermien summan keskiarvot, minimi- ja maksimi arvot sekä keskihajonnat on esitetty taulukossa 1 ja standardisoitujen äänitasoerolukujen $D_{nT,w}$ sekä $D_{nT,w:n}$ ja spektripainotusermien summan osalta taulukossa 2. Tulokset on esitetty, kun kaikkien mittausryhmien tulokset on otettu huomioon ja ilman ryhmien A7 ja A8 muista poikkeavia tuloksia.

Määritettyjen ilmastoineristyslukujen R'_w keskiarvo oli 59,9 dB ja keskihajonta 1,2 dB kaikkien mittaus tulosten osalta, ja 60,0 dB ja 1,1 dB, kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon. Standardisoitujen äänitasoerolukujen $D_{nT,w}$ keskiarvo oli 59,0 dB kaikki mittaus tulokset huomioon otettuna ja 59,2 dB ilman muista poikkeavia tuloksia. Keskihajonta molemmissa tapauksissa oli 1,2 dB. Taulukoista nähdään, että mittalukujen $R'_w + C_{tr,50-3150}$ ja $R'_w + C_{tr,50-5000}$ hajonta oli noin 1 dB pienempi ja mittalukujen $D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$ ja $D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$ hajonta 0,8 dB pienempi, kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon. Muiden mittalukujen osalta erot olivat pienemmät.



Kuva 1. Ilmaääneneristävyyden R' tulokset (vas.) ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} tulokset (oik.) 1/3-oktaavikaistoittain.

Taulukko 1. Mittalukujen R'_w ja spektripainotustermien keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta. Sarakkeissa vasemmalla kaikki tulokset mukana, oikealla muista poikkeavat tulokset poistettu.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
R'_w	59,9 / 60,0	57 / 58	62 / 62	1,2 / 1,1
$R'_w + C$	55,9 / 56,0	52 / 52	58 / 58	1,8 / 1,7
$R'_w + C_{tr}$	48,8 / 48,9	44 / 44	51 / 51	2,1 / 2,2
$R'_w + C_{50-3150}$	53,4 / 53,5	44 / 44	58 / 58	3,8 / 3,9
$R'_w + C_{50-5000}$	54,5 / 54,8	44 / 44	58 / 58	3,6 / 3,5
$R'_w + C_{100-5000}$	56,1 / 56,2	49 / 49	59 / 59	2,5 / 2,5
$R'_w + C_{tr,50-3150}$	46,1 / 47,0	34 / 41	54 / 54	4,6 / 3,6
$R'_w + C_{tr,50-5000}$	45,6 / 46,4	34 / 41	55 / 55	4,4 / 3,5
$R'_w + C_{tr,100-5000}$	49,0 / 49,1	43 / 43	56 / 56	3,0 / 3,1

Taulukko 2. Mittalukujen $D_{nT,w}$ ja spektripainotustermien keskiarvot, minimi, maksimit ja keskihajonta. Sarakkeissa vasemmalla kaikki tulokset mukana, oikealla muista poikkeavat tulokset poistettu.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$D_{nT,w}$	59,0 / 59,2	56 / 56	61 / 61	1,2 / 1,2
$D_{nT,w} + C$	54,9 / 55,1	51 / 51	57 / 57	1,9 / 2,0
$D_{nT,w} + C_{tr}$	47,9 / 48,0	43 / 43	51 / 51	2,5 / 2,6
$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	53,1 / 53,4	45 / 45	57 / 57	3,4 / 3,5
$D_{nT,w} + C_{50-5000}$	54,3 / 54,7	49 / 49	57 / 57	2,8 / 2,6
$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	55,0 / 55,1	42 / 42	58 / 58	3,8 / 4,1
$D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$	44,6 / 45,5	34 / 38	53 / 53	4,5 / 3,7
$D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$	44,0 / 44,8	34 / 38	48 / 48	4,0 / 3,2
$D_{nT,w} + C_{tr,100-5000}$	48,4 / 48,6	43 / 43	54 / 54	2,8 / 2,9

4 TULOSTEN TARKASTELU

Mittaluvun määritelmän vaikutus

Mittalukujen R'_w ja $D_{nT,w}$ keskihajonta oli suunnilleen sama, noin 1 dB. Standardisoidun äänitasoeroluvun $D_{nT,w}$ ja spektripainotustermien $C_{50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{tr,50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ ja $C_{tr,100-5000}$ summan keskihajonta oli pienempi kuin ilmaääneneristysluvun R'_w ja vastaavien spektripainotustermien summan hajonta. Tulosten perusteella mittalukujen keskihajonta kasvaa noin 1–2 dB, kun taajuusalue 50–100 Hz otetaan huomioon. Tämä voidaan nähdä sekä R'_w :n että $D_{nT,w}$:n osalta (taulukot 1 ja 2). Syy tälle on todennäköisesti äänikentän epädiffuusisuus ja tästä aiheutuva hajonta pienillä taajuuksilla [2–3]. Kun spektri-

painotustermien avulla otetaan huomioon 100–5000 Hz taajuusalue, kasvoi keskihajonta noin 1–2 dB mittaluvusta riippuen, verrattuna mittalukuihin, jotka määritetään tavanomaisen taajuusalueen 100–3150 Hz perusteella. Tuoreiden tutkimusten mukaan taajuusalueen laajentamisesta 3150–5000 Hz taajuusalueelle ei ole havaittu olevan hyötyä, koska mittalukujen arvo ei merkittävästi muutu taajuusaluetta laajennettaessa eikä taajuusalueen laajentaminen suuremmille taajuuksille paranna rakennuksessa huoneesta toiseen välittyvän asumismelun äänitason ja mittalukujen välistä korrelaatiota [4–5].

Tilavuuden vaikutus

Mittausryhmät voidaan jakaa määrittämiensä vastaanottohuoneen tilavuuksien perusteella kahteen ryhmään: mittaajiin, jotka määrittivät tilavuudeksi noin 50 m³ ja ryhmään, joka määrittä tilavuudeksi noin 60 m³. Jälkimmäisen ryhmän koko oli 6 mittausryhmää. Mitattavissa tiloissa oli ääntä absorboiva alakatto, ja suurin osa mittausryhmistä oli tulkinut mittausstandardia siten, että alakaton yläpuolista osuutta huoneen tilavuudesta ei sisällytetä tilavuuteen. Tätä puoltaisi se, että alakaton yläpuolella tilan äänikenttä on erilainen kuin sen alapuolella, ja standardinmukaisen menetelmän oletus tilaan syntyvästä diffuusista äänikentästä. Alakaton yläpuolella ei myöskään voida mitata äänenpainetasoja niiden mittaamista koskevien sääntöjen johdosta eikä alakaton päälle yleensä edes ole mahdollista mennä mittaamaan. Lisäksi käytännössä ei ole useinkaan mahdollista mitata alakaton yläpuolista tilavuutta, esimerkiksi silloin, kun huone on hyvin korkea.

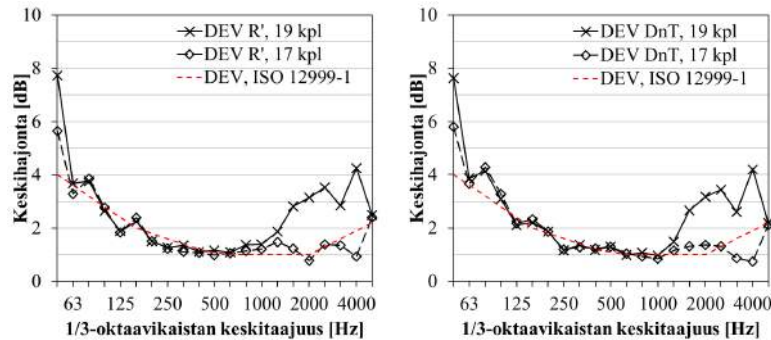
Mittausten epävarmuus

Mittaustulosten keskinäisen epävarmuuden arviointiin voidaan käyttää standardin ISO 12999-1 [6] mukaan mitausten keskihajontaa. Koska kaikki mittausryhmät tekivät mitauksensa samassa sijainnissa omilla laitteillaan, testi vastaa standardin tilannetta B (situation B). Kuvassa 2 on esitetty ilmastoineristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonta kaikkien mitausten osalta (19 kpl) ja kun muista poikkeavat tulokset on poistettu (17 kpl) sekä standardissa esitetty tyypillinen keskihajonta kyseisessä tilanteessa. Taulukossa 3 on esitetty mittalukujen keskihajonnat molemmissa tilanteissa ja standardissa mittaluvuille esitetyt keskihajonnat tilanteessa B.

Kuvasta 2 nähdään, että mitausten keskihajonta ylitti standardissa ISO 12999-1 esitetyn hajonnan kaikkien mitausten osalta ja myös, kun muista poikkeavat tulokset oli poistettu. Kun kaikki mitaustulokset olivat mukana tarkastelussa, ylitys oli suurimmillaan pienillä ja suurilla taajuuksilla. Kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon, ylitykset olivat suurimmillaan pienillä taajuuksilla erityisesti 50 ja 80 Hz taajuuskaistoilla. Taulukon 3 tuloksista nähdään, että kaikkien mittalukujen keskihajonta oli suurempi kuin standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen hajonnat.

Muista poikkeavat tulokset

Mittausryhmien A7 ja A8 tulokset poikkesivat muista tuloksista etenkin suurilla, yli 1250 Hz taajuuksilla. Lisäksi mittausryhmän A7 tulokset olivat muita pienemmät erityisesti 50 Hz taajuuskaistalla. Mittausryhmän A7 ilmastoineristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} tulokset suurilla taajuuksilla olivat pienet verrattuna muihin mitausrhythmiin. Tämä johtuu mahdollisesti siitä, ettei ryhmän A7 mitauksissa käytetyn kaiuttimen ääniteho riitä, kun tilojen välinen ääneneristävyys kasvaa suureksi. Pienillä taajuuksilla erot voivat johtua äänikentän epädiffuusisuuden lisäksi mahdollisesti kaiuttimen äänitehon puutteesta. Mittausryhmän A8 tulokset suurilla taajuuksilla olivat taas suuremmat kuin muilla mitausrhythmillä. Tämä voi viitata mitausten aikana tapahtuneeseen ongelmaan, mutta sen selvittäminen käytettävissä olleiden tulosten perusteella ei jälkepäin ole mahdollista.



Kuva 2. Ilmääneneristävyyden R' ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonnat (DEV) kaikkien tulosten osalta (19 kpl) ja kun muista poikkeavat tulokset on poistettu (17 kpl). Standardissa ISO 12999-1 esitetty keskihajonta punaisella katkoviivalla.

Taulukko 3. Mittalukujen keskihajonnat kaikkien tulosten perusteella ja kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon sekä standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen keskihajonnat.

Mittaluku	Keskiahjonta [dB] kaikki tulokset	Keskiahjonta [dB] ei poikkeavia tuloksia	Keskiahjonta [dB] ISO 12999-1 mukaan
R'_w	1,2	1,1	0,9
$R'_w + C$	1,8	1,7	0,9
$R'_w + C_{tr}$	2,1	2,2	1,1
$R'_w + C_{50-3150}$	3,8	3,9	1,0
$R'_w + C_{50-5000}$	3,6	3,5	1,1
$R'_w + C_{100-5000}$	2,5	2,5	1,1
$R'_w + C_{tr,50-3150}$	4,6	3,6	1,3
$R'_w + C_{tr,50-5000}$	4,4	3,5	1,0
$R'_w + C_{tr,100-5000}$	3,0	3,1	1,1
$D_{nT,w}$	1,2	1,2	0,9
$D_{nT,w} + C$	1,9	2,0	0,9
$D_{nT,w} + C_{tr}$	2,5	2,6	1,1
$D_{nT,w} + C_{50-3150}$	3,4	3,5	1,0
$D_{nT,w} + C_{50-5000}$	2,8	2,6	1,1
$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	3,8	4,1	1,1
$D_{nT,w} + C_{tr,50-3150}$	4,5	3,7	1,3
$D_{nT,w} + C_{tr,50-5000}$	4,0	3,2	1,0
$D_{nT,w} + C_{tr,100-5000}$	2,8	2,9	1,1

4 YHTEENVETO

Round robin -testissä määritettyjen ilmasteneristyslukujen R'_w keskiarvo oli 59,9 dB ja standardisoitujen äänitasoerolukujen $D_{nT,w}$ keskiarvo 59,0 dB. Molempien mittalukujen keskihajonta oli 1,2 dB. Ilmääneneristävyyden R' taajuuskaistainen keskihajonta oli 1,1–7,7 dB ja standardisoidun äänitasoeron D_{nT} keskihajonta 1,0–7,6 dB. Standardissa ISO 12999-1 esitettyihin keskihajontoihin verrattuna taajuuskaistaisten tulosten hajonnat olivat pääosin suuremmat, erityisesti alle 100 Hz ja yli 1000 Hz taajuuksilla. Alle 100 Hz taajuusalueella hajonta oli suurinta. Keskihajonnat olivat pienemmät, kun muista poikkeavia mittaus tuloksia ei otettu huomioon. Mittalukujen keskihajonnat olivat kaikilta osin standardissa esitettyjä hajontoja suuremmat. Mittalukujen R'_w ja $D_{nT,w}$ keskihajonnat olivat pienimmät. Tulosten perusteella hajonta kasvoi, kun otettiin huomioon tavanomaista taajuusaluetta 100–3150 Hz laajempi taajuusalue. Tämä voitiin havaita sekä taajuuskais-

taisista mittaustuloksista että mittaluvuista. Tulos ei puolla mitattavan taajuusalueen kasvattamista tavanomaisesta taajuusalueesta.

Round robin -testin perusteella syyt mittauserpävarmuudelle olivat pienten taajuuksien tulokset, erot tilavuuksissa ja muista poikkeavat mittaustulokset. Koska alle 100 Hz:n taajuuksilla äänikenttä on epädiffuusi, hajonta pienillä taajuuksilla on suurinta, mikä aiheuttaa hajontaa myös tämän taajuusalueen huomioon ottaville mittaluvuille. Testin perusteella tilavuuden määrittämiseksi ei ole käytössä yhtenäistä menetelmää, vaan osa mitaajista tulkitsee huoneen tilavuuteen myös alakaton yläpuolisen tilavuuden. Tämä johtuu mittausstandardissa esitetyn ohjeen tulkintaeroista. Standardisoituja äänitasoerolukuja käytettäessä vastaavaa ongelmaa ei ole, koska äänitasoeroluvut määritetään pelkästään jälkikäiunta-ajan avulla eikä tilavuutta tarvita laskennassa. Tämä puoltaisi osaltaan siirtymistä standardisoitujen mittalukujen käyttöön. Ilmaääneneristysluvun R'_w mittauksissa perustellumpi tapa tilavuuden määrittämiseksi on alakaton yläpuolisen tilavuuden vähentäminen huoneen tilavuudesta.

KIITOKSET

Round robin -testin käytännön järjestelyistä vastasivat Gunnar Åström (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry) ja Henrik Möller (Akukon Oy). Heidän lisäksi kirjoittajat kiittävät Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkatoimikunnan jäseniä arvokkaista huomiosta testin raportointia tehtäessä.

VIITTEET

- [1] Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2017. Ilmaääneneristävyyden round robin -testi. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laboratorio, tutkimuslöstus RTEK/2491/2017. Luettavissa: <http://www.ril.fi/media/tutkimuslöstus-rtek-2491-2017-ilma-e4-e4nenerist-e4vyyden-round-robin.pdf>
- [2] Hongisto, V., Keränen, J., Kylliäinen, M. & Mahn, J. 2012. Reproducibility of the present and the proposed single-number quantities of airborne sound insulation. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 98(5), s. 811–819.
- [3] Kylliäinen, M. 2014. The measurement uncertainty of single-number quantities for rating the impact sound insulation of concrete floors. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 100(4), s. 640–648.
- [4] Kylliäinen, M., Takala, J., Oliva, D. & Hongisto, V. 2016. Justification of standardized level differences in rating of airborne sound insulation between dwellings. *Applied Acoustics*, Vol. 102, s. 12-18.
- [5] Takala, J. 2013. Suomalaisten asuinhuoneistojen ääniolosuhteet ja ääneneristävyyden mittaustapa. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma.
- [6] SFS-EN ISO 12999-1. 2014. Acoustics – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 1: Sound insulation. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.