

ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN ROUND ROBIN -TESTI 2018

Jesse Lietzén, Mikko Kylliäinen

Tampereen yliopisto
Rakennettu ympäristö
etunimi.sukunimi@tuni.fi

Tiivistelmä

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2018 askelääneneristävyysmittausten round robin -testin. Testin tarkoituksena oli tarjota Suomessa ääneneristävyuden kenttämittauksia tekeville toimijoille mahdollisuus vertailla mittaustuloksiaan ja varmistaa niiden oikeellisuus. Testissä mitattiin kahden tilan välistä askelääneneristävyyttä pystysuuntaan standardin ISO 16283-2 mukaan ja mittaluvut määritettiin standardin ISO 717-2 mukaisesti. Mittaukset suoritettiin 1980-luvun lopulla rakennetussa betonielementtirunkoisessa toimistorakennuksessa ja tulokset saatiin 20 mittausryhmältä. Mittaajat määrittivät mittaustensa perusteella 1/3-oktaavikaistaiset askeläänitasot L'_{nT} ja L'_{n} , näistä lasketut yksilukuarvoiset mittaluvut $L'_{nT,w}$ ja $L'_{n,w}$ sekä spektripainotusermit C_1 ja $C_{1,50-2500}$. Askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ mittaustulosten keskiarvo oli 68,4 dB ja mittaluvun $L'_{n,w}$ keskiarvo 69,0 dB. Molempien mittalukujen keskihajonta oli 1,7 dB. Standardissa ISO 12999-1 esitettyihin keskihajontoihin verrattuna taajuuskaistaisen tulosten hajonnat olivat pääosin alhaisemmat. Standardin mukainen epävarmuus ylittyi 160 Hz keskitaajuudella ja yli 2000 Hz taajuuksilla. Testin perusteella syyt mittausepävarmuudelle olivat hajonta pienillä ja suurilla taajuuksilla ja yksi muista poikkeava mittaustulos. Poikkeava mittaustulos erosi muista erityisesti suurilla taajuuksilla, mikä saattoi johtua mittalaitteiston kalibroinnin puutteellisuudesta.

1 JOHDANTO

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2018 askelääneneristävyysmittausten round robin -testin. Testin tarkoituksena oli tarjota Suomessa ääneneristävyuden kenttämittauksia tekeville toimijoille mahdollisuus vertailla mittaustuloksiaan ja varmistaa niiden oikeellisuus. Testissä mitattiin kahden tilan välistä askelääneneristävyyttä pystysuuntaan ja mittaustulokset saatiin 20 mittaajalta. Tampereen yliopiston laatima raportti testin tuloksista on esitetty lähteessä [1].

2 MITTAUKSET

RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta kutsui akustisia mittauksia tekevät toimijat osallistumaan askelääneneristysmittausten round robin -testiin 6.6.2018. Kutsu lähetettiin suomalaisille ääneneristysmittauksia tekeville tutkimuslaitoksille, oppilaitoksille ja yrityksille. Mittauksiin ilmoittautuneille lähetettiin 4.9.2018 ohjekirje, jossa kerrottiin tarkemmin



© 2019 Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Ei sovitettu -lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

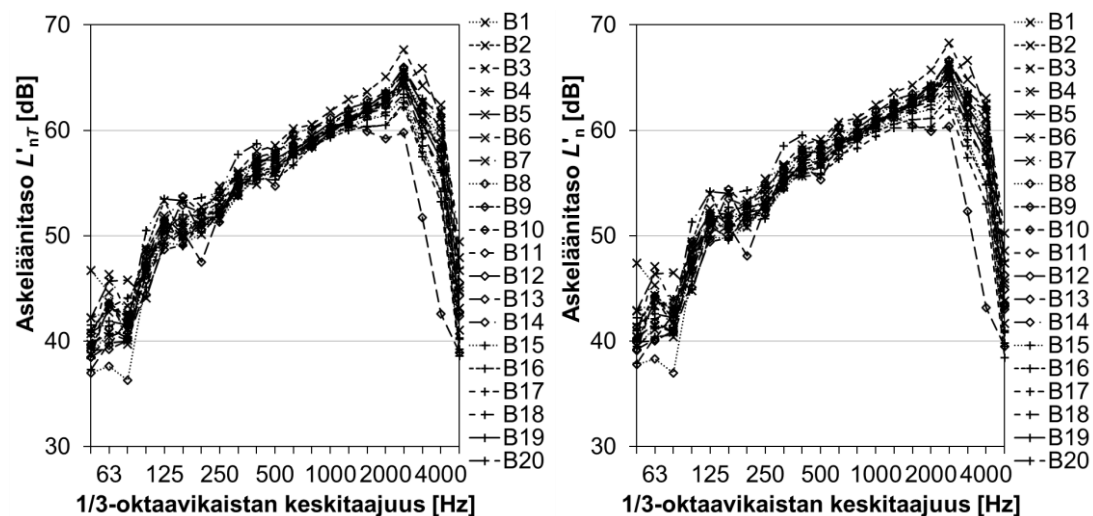
mittauspaikasta, ajanvarauksesta ja järjestelyistä. Mittaukset tehtiin kahden päällekkäisen tilan välillä pystysuuntaan betonielementtirunkoisessa 1980-luvun lopulla valmistuneessa toimistorakennuksessa. Välipohjarakenteena tilojen välillä oli 265 mm paksu ontelolaa-tasto, jonka päällä oli n. 35...55 mm paksu pintavalu ja lattianpäällysteenä kova muovimatto.

Mittaukset suoritettiin standardien ISO 16283-2 ja ISO 717-2 mukaisesti käyttäen aske-läänikojetta äänilähteenä. Mittaajat määrittivät tuloksistaan 1/3-oktaavikaistaiset standar-disoidut askeläänitasot L'_{nT} ja normalisoidut askeläänitasot L'_n sekä laskivat näistä vas-taavasti standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ ja normalisoidun askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ sekä spektripainotusermit C_1 ja $C_{1,50-2500}$. Suomessa ei määräys- ja ohjearvoihin ver-rattaessa ilmoiteta spektripainotusermin $C_{1,50-2500}$ arvoa, jos se on alle 0 dB [2-4]. Tässä round robin -testissä haluttiin kuitenkin tarkastella spektripainotusermien hajontaa ja sik-si kaikki spektripainotusermien arvot on esitetty.

Mittaajat kirjasiivat saamansa tulokset ennalta määritettyyn tiedostoon, jotka lähetettiin testin järjestäjälle RIL ry:n toimistoon. Kunkin toimijan toimittamat mittaustulokset ano-nymisoitiin siten, että mittaustulosta ei voida yhdistää mittaajaan. Mittausryhmistä käy-tettiin merkintöjä B1...B20. Tutkimusraportissa [1] tuloksista määritettiin mm. aritmeet-tiset keskiarvot, minimi- ja maksimi-arvot sekä otoskeskihajonnat.

3 TULOKSET

Mittaajien B1...B20 määrittämät 1/3-oktaavikaistaiset askeläänitasot L'_{nT} ja L'_n on esitet-ty käyräparvena kuvassa 1. Tulosten vaihtelu oli melko tasaista, mutta suurinta vaihtelu oli pienillä, alle 100 Hz taajuuksilla, ja suurilla, yli 2000 Hz taajuuksilla. Askeläänita-sojen L'_{nT} taajuuskaistainen keskihajonta oli 0,6-4,4 dB ja askeläänitasojen L'_n 0,7-4,5 dB. Tulosten perusteella mittausryhmän B12 tulos oli muista poikkeava yli 2000 Hz taajuuksilla, jossa mittaajan määrittämät askeläänitasot ovat selkeästi muita alhaisemmat. Jos muista poikkeavaa mittaustulosta ei otettu huomioon, askeläänitasojen L'_{nT} keskihajonta oli 0,6-3,2 dB ja askeläänitasojen L'_n 0,7-3,3 dB.



Kuva 1. Askeläänitaso L'_{nT} (vas.) ja L'_n (oik.) 1/3-oktaavikaistoina.

Standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ ja spektripainotusermien C_1 ja $C_{1,50-2500}$ sekä näiden summien keskiarvot, minimi- ja maksimi-arvot sekä keskihajonnat on esitetty tau-lukossa 1. Vastaavat tulokset askeläänitasoluvulle $L'_{n,w}$ on esitetty taulukossa 2. Taulu-

koissa tulokset on esitetty sekä kaikkien mittaustulosten osalta että ilman muista poikkeavaa mittaajan B12 tulosta. Standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ keskiarvo oli 68,4 dB kaikkien mittaustulosten osalta ja 68,6 dB ilman muista poikkeavaa mittaustulosta. Vastaavat tulokset askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ keskiarvolle olivat 69,0 dB ja 69,2 dB. Molempien askeläänitasolukujen keskihajonta oli 1,7 dB, kun kaikki mittaustulokset olivat mukana ja 1,4 dB ilman muista poikkeavaa mittaustulosta.

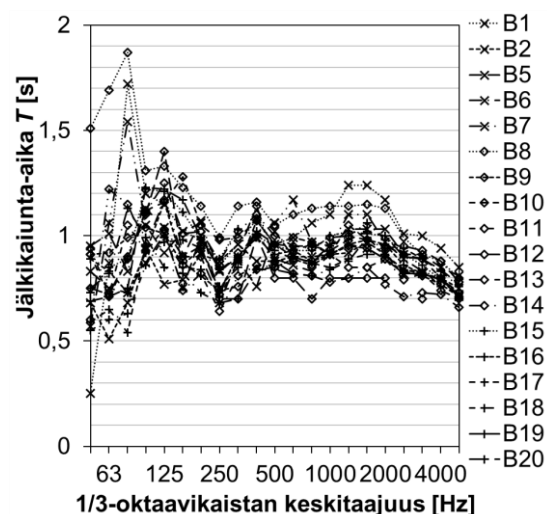
Taulukko 1. Askeläänitasolukujen $L'_{nT,w}$ ja spektripainotusermien ja näiden summien keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta. Soluissa vasemmalla kaikki tulokset, oikealla ilman poikkeavaa tulosta.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$L'_{nT,w}$	68,4 / 68,6	64 / 66	71 / 71	1,7 / 1,4
C_1	-12,6 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,9 / 0,7
$C_{1,50-2500}$	-12,5 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,9 / 0,7
$L'_{nT,w} + C_1$	55,8 / 55,9	54 / 54	58 / 58	1,1 / 1,1
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 / 56,0	54 / 54	58 / 58	1,1 / 1,0

Taulukko 2. Askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ ja spektripainotusermien ja näiden summien keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta. Soluissa vasemmalla kaikki tulokset, oikealla ilman poikkeavaa tulosta.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$L'_{n,w}$	69,0 / 69,2	65 / 66	72 / 72	1,7 / 1,4
C_1	-12,5 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,8 / 0,6
$C_{1,50-2500}$	-12,5 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,8 / 0,6
$L'_{n,w} + C_1$	56,5 / 56,5	54 / 54	59 / 59	1,2 / 1,2
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	56,5 / 56,5	54 / 54	59 / 59	1,2 / 1,2

Askeläänitasojen, askeläänitasolukujen ja spektripainotusermien lisäksi osa mittaajista ilmoitti mittaamansa vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan T . Mittaajien B1...B2 ja B5...B20 ilmoittamat jälkikaiunta-ajan tulokset on esitetty 1/3-oktaavikaistaisesti kuvassa 2. Tuloksista nähdään, että jälkikaiunta-ajan hajonta on suurinta pienillä, alle 160 Hz taajuuksilla.



Kuva 2. Jälkikaiunta-aika T 1/3-oktaavikaistoitettain.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Mittausmenetelmän vaikutus

Askelääneneristävyyttä kuvaavien mittalukujen osalta voidaan todeta, että standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ ja normalisoidun askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ keskihajonta oli yhtä suuri: 1,7 dB, kun kaikki mittaustulokset otettiin huomioon ja 1,4 dB, kun mittausryhmän B12 tulosta ei otettu huomioon. Askeläänitason L'_n perusteella määritettyjen spektripainotustermien C_1 ja $C_{1,50-2500}$ keskihajonta oli 0,1 dB pienempi kuin standardisoidun askeläänitason L'_{nT} perusteella määritettyjen spektripainotustermien hajonta. Spektripainotustermien C_1 ja $C_{1,50-2500}$ hajonta oli yhtä suurta, joten niiden perusteella pienten taajuuksien huomioon ottaminen ei tässä tapauksessa vaikuttanut tulosten hajontaan.

4.2 Mittalaitteiston kalibroinnin vaikutus

Mittaajat esittivät tiedot käyttämästään mittalaitteistosta ja sen kalibroinnista. Tietojen perusteella voitiin havaita, että mittalaitteiston kalibroinnissa oli puutteita mittaajilla B3 ja B12. Näistä mittaajan B12 tulos havaittiinkin jo edellä muista poikkeavaksi suurilla, yli 2000 Hz taajuuksilla. Lisäksi mittaajan B8 askeläänikojeen kalibroitietieto oli epäselvä. Näistä mittaaja B3 ei ilmoittanut mittauksissa käyttämiensä askeläänikojeen, äänianalysointilaitteen tai äänenpainekalibraattorin kalibrointiajankohtaa. Mittaaja B12 puolestaan ei ilmoittanut, koska äänianalysointilaitteen ja äänenpainekalibraattori oli kalibroitu. Oletettavasti siis näiden ryhmien laitteiston kalibroinnissa oli puutteita. Lisäksi ryhmä B8 ilmoittamien tietojen perusteella askeläänikojeen kalibrointiajankohta oli epäselvä, mutta kalibrointi oli tarkastettu vuonna 2018. Siitä, mitä tarkastus tarkoitti, ei tutkimusraportin laatijalla ollut tietoa.

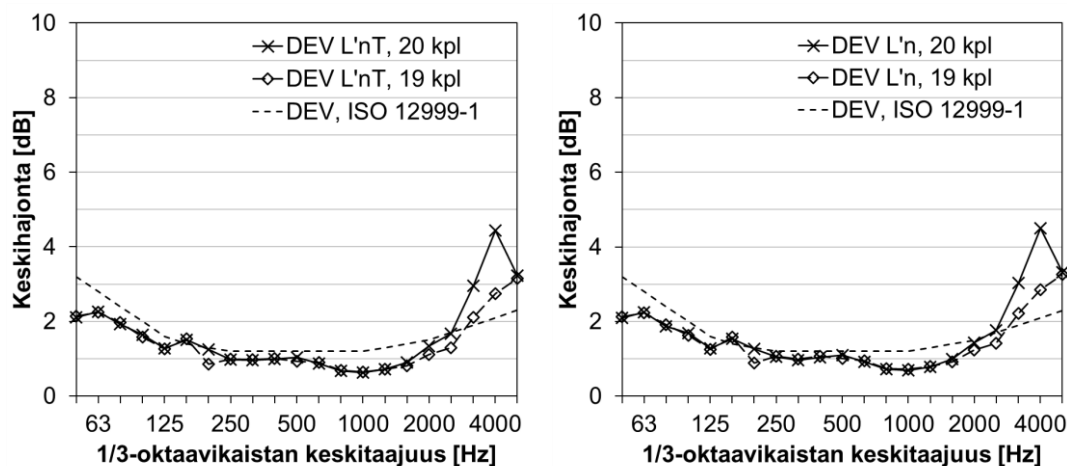
Kuvassa 1 esitettyjen tulosten perusteella voidaan havaita, että mittaajien B3 ja B12 tulokset erottuivat muista tuloksista olemalla taajuuskaistaisen tulosten ääripäässä suurilla ja keskitaajuuksilla. Mittaajan B8 taajuuskaistaiset tulokset olivat taas muita tuloksia pienemmät pienillä taajuuksilla.

4.3 Mittausten epävarmuus

Mittaustulosten keskinäisen epävarmuuden arviointiin voidaan käyttää standardin ISO 12999-1 [5] mukaan mittausten keskihajontaa. Koska kaikki mittausryhmät tekivät mittauksensa samassa sijainnissa omilla laitteillaan, round robin -testin mittaustulokset vastasivat standardin tilannetta B (situation B). Kuvassa 3 on esitetty standardisoidun askeläänitason L'_{nT} ja normalisoidun askeläänitason L'_n keskihajonnat kaikkien mittausten osalta ja ilman poikkeavaa mittaajan B12 tulosta. Standardin ISO 12999-1 mukainen tyyppillinen keskihajonta kyseisessä tilanteessa on esitetty kuvissa katkoviivalla. Taulukossa 3 on esitetty mittalukujen keskihajonnat molemmissa tilanteissa ja standardissa mittaluvuille esitetyt keskihajonnat tilanteessa B.

Kuvasta 3 nähdään, että mittausten keskihajonta alitti standardissa ISO 12999-1 esitetyn taajuuskaistaisen keskihajonnat suurilta osin. Standardin mukainen epävarmuus ylittyi 160 Hz keskitaajuudella ja yli 2000 Hz taajuuksilla, jolloin hajonta oli suurimmillaan. Ilman mittaajan B12 poikkeavaa tulosta keskihajonta pieneni suurilla taajuuksilla. Pienten taajuuksien epävarmuus johtui luultavasti äänikentän epädiffuusisuudesta, joka on havaittavissa myös mitatuista jälkikaiunta-ajoista (ks. kuva 2). Tutkimuksessa [6] tulosten uusittavuudet alittivat vanhan standardin ISO 140-2 [7] esittämät uusittavuudet.

Taulukon 3 tuloksista nähdään, että kaikkien mittalukujen keskihajonta oli suurempi kuin standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen keskihajonnat. Tässä tapauksessa spektripainotustermien huomioon ottaminen pienensi keskihajontaa. Ilman muista poikkeavaa mittaajan B12 tulosta askeläänitasolukujen $L'_{nT,w}$ ja $L'_{n,w}$ keskihajonta pieniäni 0,3 dB.



Kuva 3. Askeläänitason L'_{nT} ja L'_n keskihajonnat (DEV) kaikkien tulosten osalta (20 kpl) ja ilman muista poikkeavaa tulosta (19 kpl). Standardissa ISO 12999-1 esitetty keskihajonta on kuvassa 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	Keskihajonta [dB] kaikki tulokset	Keskihajonta [dB] ei poikkeavia tuloksia	Keskihajonta [dB] ISO 12999-1 mukaan
$L'_{nT,w}$	1,7	1,4	1,0
$L'_{nT,w} + C_1$	1,1	1,1	1,0
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	1,1	1,0	1,0
$L'_{n,w}$	1,7	1,4	1,0
$L'_{n,w} + C_1$	1,2	1,2	1,0
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	1,2	1,2	1,0

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Round robin -testissä määritettyjen standardisoitujen askeläänitasolukujen $L'_{nT,w}$ keskiarvo oli 68,4 dB kaikkien mittaustulosten osalta, ja 68,6 dB ilman muista poikkeavaa tulosta. Askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ keskiarvo oli 69,0 dB ja keskihajonta kaikki mittaustulokset huomioon otettuna ja 69,2 dB ilman muista poikkeavaa tulosta. Molempien mittalukujen osalta tulosten keskihajonta oli 1,7 dB kaikkien tulosten osalta ja 1,4 dB ilman poikkeavaa mittaustulosta. Askeläänitasojen L'_{nT} taajuuskaistainen keskihajonta oli 0,6–4,4 dB kaikkien tulosten osalta ja 0,6–3,2 dB kun muista poikkeava tulos oli poistettu. Askeläänitasojen L'_n keskihajonta oli 0,7–4,5 dB taajuuskaistoittain kaikkien tulosten osalta ja 0,7–3,3 dB, kun muista poikkeavaa tulosta ei otettu huomioon.

Standardissa ISO 12999-1 esitettyihin keskihajontoihin verrattuna round robin -testin perusteella määritettyjen taajuuskaistaisten tulosten hajonnat olivat pääosin alhaisemmat. Standardin mukainen epävarmuus ylittyi 160 Hz keskitajuudella ja yli 2000 Hz taajuuksilla. Suurilla taajuuksilla hajonta oli suurinta. Teoria tukee äänikentän hajonnan kasvamista tällä taajuusalueella [8]. Mittalukujen keskihajonnat olivat kaikilta osin standardissa esitettyjä mittalukujen epävarmuuksia suuremmat. Pienimmät keskihajonnat olivat askeläänitasojen ja spektripainotustermien summilla. Näin ollen pienten taajuuksien huo-

mioon ottaminen ei tässä tapauksessa näyttänyt lisäävän mittausten epävarmuutta. Tämä johtuu siitä, että suuret ja keskitaajuudet määräävät vertailukäyrän paikan [9].

Round robin -testin perusteella syyt mittausepävarmuudelle olivat pienten ja suurten taajuuksien tulokset ja muista poikkeava mittaustulos. Koska pienillä alle 100 Hz:n taajuuksilla äänikenttä on epädiffuusi, hajonta pienillä taajuuksilla oli suurinta. Äänikentän epädiffuusisuus havaittiin myös jälkikaiunta-ajan mittaustuloksista. Suurilla taajuuksilla hajontaa lisäsivät muista poikkeava ryhmän B12 mittaustulos. Tuloksen poikkeavuuden ovat saattaneet aiheuttaa mittalaitteiston kalibroinnin puutteet. Puutteita laitteiston kalibroinnissa oli havaittavissa myös ryhmällä B3.

KIITOKSET

Round robin -testin käytännön järjestelyistä vastasi Pekka Talaskivi (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry). Kirjoittavat kiittävät myös Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkatoimikunnan jäseniä arvokkaista huomioista testin raportointia tehtaessa.

LÄHTEET

- [1] Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2019. Askelääneneristävyyden round robin -testi. Tampere, Tampereen yliopisto, rakennustekniikan, tutkimusselostus RAK/2581/2019.
- [2] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä, nro 796/2017.
- [3] Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [4] Kemppainen, J. & Kylliäinen, M. 2017. Spektripainotusermin $C_{1,50-2500}$ vaikutus askelääneneristävyyden arviointiin. Akustiikkapäivät 2017. Espoo, 24.25.8., Akustinen Seura ry, s. 129-134.
- [5] 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.
- [6] Lang, J. 1997. A Round Robin on Sound Insulation in Buildings. Applied Acoustics, Vol. 52, s. 225-238.
- [7] ISO 140-2. 1991. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Determination, verification and application of precision data. Genève, International Organization for Standardization.
- [8] Lubman, D. 1974. Precision of reverberant sound power measurements. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol 56, no. 2, p. 523-533.
- [9] 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.