

MOBIILITYÖTILOJEN PUHEÄÄNENVAIMENNUKSEN KENTTÄMITTAUSTA KOSKEVA ROUND ROBIN TUTKIMUS

Jukka Keränen¹, Riccardo Caradonna², Jarkko Hakala¹, Arianna Astolfi²,
Valtteri Hongisto¹

¹ Turun ammattikorkeakoulu, Akustiikkalaboratorio
Joukahaisenkatu 7
20520 TURKU, FINLAND
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

² Politecnico di Torino, Department of Energy
Corso Duca degli Abruzzi 24
10129 TORINO, ITALY
etunimi.sukunimi@polito.it

Tiivistelmä

Mobiilityötilojen akustinen suorituskyky mitataan laboratoriossa ISO 23351-1 standardin mukaan määrittämällä puheäänenvaimennus $D_{S,A}$. Usein on kuitenkin tarpeen testata tuote paikan päällä. Jotkut tuotteet ovat myös liian suuria laboratoriotilassa testattavaksi. Keränen ym. esittivät laboratoriomenetelmää vastaavan kenttämittausmenetelmän Akustiikkapäivillä 2023. Kenttämittausmenetelmästä on tekeillä standardi ISO 23351-2, joka hyötyy mittausepävarmuuden tutkimustiedosta. Tavoitteenamme oli määrittää uuden menetelmän mittausepävarmuus Round Robin-testillä. Kolmetoista osallistujaa mittasi kaksi erilaista tuotetta ISO CD 23351-2 standardiehdotuksen mukaisesti. Kahdeksan hyväksytysti suoritettua määrittämistä perusteella näennäisen puheäänenvaimennuksen keskihajonta oli 0,8 dB osittain avoimelle työpisteelle ja 0,7 dB suljetulle työtilalle. Kenttämittausmenetelmän mittausepävarmuus on siis sama luokkaa kuin laboratoriomittausten menetelmällä.

1 JOHDANTO

Toimistoissa ja muissa yleisissä tiloissa käytetään enenevässä määrin erilaisia mobiilityötiloja, kuten puhelinkopit tai 2–10 hengen kokoustilat, kun kaivataan puheyksityisyyttä tai rauhallisempaa ympäristöä keskittymistä vaativaan työhön. Tällaisten tuotteiden akustinen suorituskyky ilmoitetaan laboratoriossa ISO 23351-1 standardin [1] mukaan määritetyn puheäänenvaimennuksen, $D_{S,A}$ [dB], avulla. Usein on kuitenkin tarve testata tuote todellisessa käyttöpaikassa. Jotkut tuotteet ovat liian suuria laboratoriossa testattavaksi, tuotekehityksessä voidaan testata vaihtoehtoisia toteutustapoja tai tilaaja voi tehdä tarkistusmittauksen käyttöpaikalle asennetulle tuotteelle. Keränen ym. ovat esittäneet laboratoriomenetelmän tuloksiin hyvin sopivaa kenttämittausmenetelmää [2,3]. Kenttämittausmenetelmästä on tekeillä standardi ISO 23351-2 [4]. Tämän tutkimuksen tavoite oli määrittää ISO 23351-2 menetelmän mittausepävarmuus, johon aineisto saatiin vertailumittauksen (Round Robin test) tuloksista. Tämä artikkeli on tiivistelmä laajemmasta julkaisusta [5].



© 2025 Etunimi1 Sukunimi1, Etunimi2 Sukunimi2 ja Etunimi3 Sukunimi3. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –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.

2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

2.1 Osallistujat

Vertailumittaus suunniteltiin ISO 5725-1 ja ISO 5725-2 suosituksia mukaillen [6, 7]. Osallistumiskutsu lähetettiin 13 alan yritykselle. Tehtävänä oli mitata standardiehdotuksen ISO CD 23351-2 [8] mukaan kaksi tuotetta Turun ammattikorkeakoulun kokoustilassa. Osallistuminen oli vapaaehtoista eikä siitä maksettu korvausta. Kutsuun vastasi 7 yritystä, joille lähetettiin kirjallisesti informaatio vertailumittauksen taustasta ja järjestelyistä, ISO CD 23351-2 sekä lomakkeet mittaustulosten kokoamiseen. Jokaiselle osallistujalle järjestettiin etukäteen etäkokous, jossa käsiteltiin yksityiskohtaisesti vertailumittauksen tehtävät. Lopulta 13 osallistujaa 7:stä yrityksestä teki mittaukset ja myös toimitti tuloslomakkeet.

2.2 Mittausmenetelmä

ISO CD 23351-2 menetelmän päätulos on näennäinen puheäänenvaimennus, $D'_{S,A}$, joka määritetään äänitehotasomittausten avulla. Täysin suljetun tilan, kuten puhelinkoppi, mittauksessa käytetään laajakaistaista kohinaääntä ja pallokaiutinta, jotta mitattavat äänenpainetasot ovat riittävän suuria taustamelutasoon nähden oktaavikaistoilla 125–8000 Hz. Äänitehotaso määritetään ISO 3744 standardin [9] mukaan yhtälöllä:

$$L_{W,P} = L_{p,S} - K_2 + 10 \log_{10}(S), \quad (1)$$

missä $L_{p,S}$ [dB] on keskiarvo taustamelukorjatuista äänenpainetasoista mittauspinnalla S [m²], joka ympäröi mitattavaa äänilähdettä. S määrittyy testattavan tuotteen ulkomitoista. Mittauspinta on suorakulmainen, ja se sijaitsee 0.50 m tuotteen ulkopinnasta. Ympäristön kaiuntaisuuden vaikutus mittauspinnalla huomioidaan korjaustekijällä K_2 :

$$K_2 = 10 \log_{10} \left(1 + \frac{4S}{A} \right), \quad (2)$$

jossa tilan absorptioala A määritetään jälkikaiunta-ajan T ja huonetilavuuden V perusteella:

$$A = 0,16 \frac{V}{T}. \quad (3)$$

Jälkikaiunta-aika mitattiin ISO 3382-2 standardin [10] mukaan.

Äänilähteenä käytetään pallokaiutinta. Skenaariossa 1 määritetään pelkän pallokaiuttimen äänitehotaso, $L_{W,P,1}$. Skenaariossa 2 määritetään tuotteen äänitehotaso, kun pallokaiutin on sen sisällä, $L_{W,P,2}$. $D'_{S,A}$ lasketaan yhtälöllä:

$$D'_{S,A} = L_{W,S,A,1} - L_{W,S,A,2}, \quad (4)$$

missä $L_{W,S,A,1}=68,4$ dB on standardoitu puheen A-taajuuspainotettu äänitehotaso (Taulukko 1). Tuotteen vaimentaman puheen A-taajuuspainotettu äänitehotaso, $L_{W,S,A,2}$, on:

$$L_{W,S,A,2} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^7 10^{0,1 \cdot (L_{W,S,2,i} + A_i)} \right], \quad (5)$$

missä oktaavikaistojen arvot lasketaan yhtälöllä:

$$L_{W,S,2,i} = L_{W,S,1,i} - D'_i. \quad (6)$$

Näennäinen äänitehotason vaimennus oktaavikaistoilla määritetään erotuksena

$$D'_i = L_{W,P,1,i} - L_{W,P,2,i} \quad (7)$$

Taulukko 1. Puheen äänitehotaso, $L_{W,S,1,i}$ [dB re 1 pW] ja A-taajuuspainotus.

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
i	1	2	3	4	5	6	7
$L_{W,S,1,i}$	60,9	65,3	69,0	63,0	55,8	49,8	44,5
A_i	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1

2.3 Mittaustilanteet

Osallistajat mittasivat kaksi objektiä:

1. Kopin ovi täysin auki (180 astetta), äänilähteenä Nti Audio Talkbox
2. Kopin ovi suljettuna, äänilähteenä osallistujan oma pallokaiutin

Objekti oli koppi (1,05 x 1,41 x 2,25 m, 3,33 m³), joka sijaitti n. 300 m³ kokoustilassa, missä huonekorkeus oli 7,2 m (Kuva 1). Näin ollen mittauspinta koostui 4 sivusta ja yläpinnasta, jotka olivat 0,5 m etäisyydellä kopin ulkopinnoista. Koska koppi oli erittäin raskas siirrettäväksi, sallittiin kaiuttimen äänitehotason $L_{W,P,1,i}$ mittaaminen kopin vieressä samassa kokoustilassa käyttäen vähän pienempää mittauspinnan pinta-alaa.

2.4 Mittaustulosten käsittely

Osallistujien toimittamista tuloksista laskettiin keskiarvo y_M ja keskihajonta yhtälöllä:

$$s_L = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (y_j - y_M)^2} \quad (8)$$

Lisäksi yhden osallistujan toistettavuusmittausten tuloksista määritettiin keskiarvo x_M ja keskihajonta yhtälöllä:

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_j - x_M)^2} \quad (9)$$

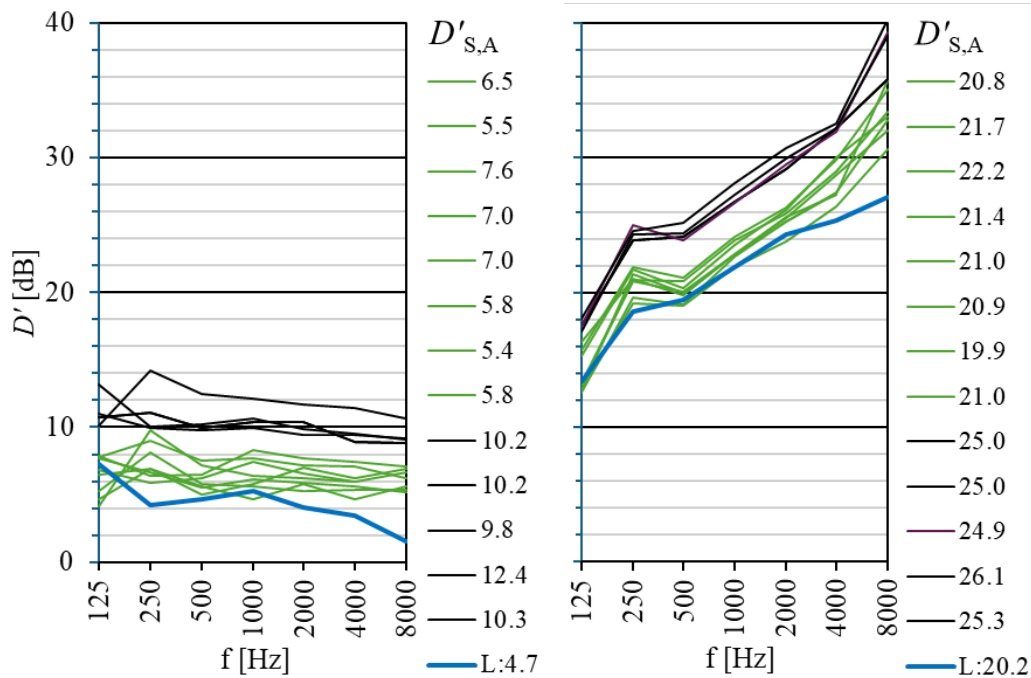
Näistä määritettiin mittausepävarmuutta kuvaava uusittavuuden keskihajonta yhtälöllä:

$$s_R = \sqrt{s_L^2 + s_r^2} \quad (10)$$

3 TULOKSET

Kuvassa 2 esitetään mittaustulokset objekteille 1 ja 2. Kuvassa 2 esitetään myös ISO 23351-1 standardin mukaisten laboratoriomittausten tulokset. Tilastollisen virhetarkastelun perusteella hyväksyttiin lopulliseen analyysiin 8 osallistujan tulokset, jotka on esitetty kuvassa 2 vihreällä. Mittaustulosten keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta esitetään taulukossa 2.

Näennäisen puheäänenvaimennuksen $D'_{S,A}$ toistettavuuden keskihajonta ($n=5$) oli 0,2 dB objektille 1 ja 0,3 dB objektille 2. Uusittavuuden keskihajonta oli 0,8 dB objektille 1 ja 0,7 dB objektille 2. Yksityiskohtaiset tulokset on esitetty kansainvälisessä julkaisussa [5].



Kuva 2. Mittaustulokset tilanteissa 1 (vasen) ja 2 (oikea). Laboratoriomittauksen tulos on esitetty sinisellä.

Taulukko 2. Tilanteissa 1 ja 2 hyväksytyjen ($N=8$) mittaustulosten keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta.

f Hz	Tilanne 1				Tilanne 2			
	keski- arvo	mi- nimi	mak- simi	keski- hajonta	keski- arvo	mi- nimi	mak- simi	keski- hajonta
125	6.4	4.1	7.9	1.5	14.0	12.6	16.3	1.5
250	7.5	5.9	9.8	1.4	20.8	19.2	21.9	1.0
500	6.2	5.0	7.5	0.9	20.0	19.0	21.1	0.7
1000	6.5	4.7	8.3	1.2	23.1	21.9	24.1	0.7
2000	6.5	5.3	7.7	0.8	25.5	23.8	26.3	0.8
4000	6.1	4.7	7.4	0.9	28.3	26.4	30.0	1.3
8000	6.2	5.2	7.1	0.8	33.3	30.6	35.8	1.8
$D'_{S,A}$	6.3	5.4	7.6	0.8	21.1	19.9	22.2	0.7

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

ISO CD 23351-2 standardiluonnoksessa kuvatun menetelmän mittausepävarmuus (reproducibility standard deviation) on tämän Round Robin tutkimuksen perusteella alle 1.0 dB. Tämä on sama luokkaa kuin aiemmin on raportoitu ISO 23351-1 laboratoriomittausmenetelmälle [11]. Tulos on jo hyväksytty ISO DIS 23351-2 äänestyksessä, joten se jää myös lopulliseen FDIS standardiäänestysversioon. Seuraavassa Round Robin tutkimuksessa tulisi tarkastella merkittävästi suurempaa kappaletta.

5 KIITOKSET

Tutkimusta rahoitti Huonekalusäätiö ry. Erytiskiitokset kuuluvat tutkimukseen osallistuneille vapaaehtoisille (Akukon Oy, Framery Oy, Karelia Ammattikorkeakoulu Oy, Promethor Oy, Sitowise Oy).

VIITTEET

- [1] International standard ISO 23351-1:2020 Acoustics – Measurement of speech level reduction of furniture ensembles and enclosures – Part 1: Laboratory method.
- [2] Keränen, J., Laukka, J., Hakala, J., Hongisto, V. Toimistokoppien puheäänenvaimennuksen kenttämittausmenetelmä. Akustiikkapäivät 2023, 15.–16 Nov, Tampere, Finland. Open access: https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2023/11/akustiikkapivat_2023_s316.pdf
- [3] Keränen, J., Hakala, J., Laukka, J., Hongisto, V. Alternative measurement methods for speech level reduction of booths in field conditions. Forum Acusticum 2023, paper 392, 11–15 Sep, Turin, Italy. Open access: <https://appfa2023.silssystem.solutions/atti/000392.pdf>.
- [4] International Standard draft ISO DIS 23351-2:2025. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.
- [5] Hongisto, V., Caradonna, R., Keränen, J., Hakala, J., Alakoivu, R., Astolfi, A. Measurement uncertainty of ISO CD 23351-2: acoustic performance of furniture ensembles and enclosures in situ. Appl. Acoust. 238 (2025), 110773. Open access: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2025.110773>.
- [6] International standard ISO 5725-1:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 1: General principles and definitions.
- [7] International standard ISO 5725-2:1994 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method.
- [8] Standardization committee draft ISO CD 23351-2:2024. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.
- [9] International standard ISO 3744:2010 Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane.
- [10] International standard ISO 3382-2:2008 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
- [11] Hongisto, V., Keränen, J., Hakala, J. (2020). Accuracy experiment of ISO DIS 23351-1 – speech level reduction of furniture ensembles and enclosures. Appl. Acoust. (2020) 164 107249. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107249>.