

AVOTOIMISTON HUONEAKUSTIIKKAMITTAUSTEN EPÄVARMUUS

Jukka Keränen¹, Laura Labia², Valtteri Hongisto¹

¹ Turun ammattikorkeakoulu, Rakennettu ympäristö, akustiikka
Lemminkäisenkatu 14-18 B 20520 Turku, Finland

² Politecnico di Torino, Architecture Construction City, Italy

Tiivistelmä

Suomessa on useita toimijoita, jotka suorittavat huoneakustisia kenttämittauksia. Mittauksiin sisältyy yleensä standardin määrittämä epävarmuus. ISO 3382-2 ja ISO 3382-3 standardissa ei ole esitetty lukuarvoja mittausepävarmuudelle. Epävarmuuden määrittämiselle on tarvetta erityisesti Suomessa, koska Ympäristöministeriön ääniympäristöohjeessa on annettu ohjeita sekä jälkikaiunta-ajalle että puheensiirtoindeksille useille eri tiloille. Tämän tutkimuksen tavoitteena on määrittää epävarmuus em. standardeille avotoimistossa. Turun ammattikorkeakoulu järjesti keväällä 2019 avotoimiston huoneakustiikkamittausten vertailumittauksen. Testiin osallistui 9 mittaajaa. Mitattava kohde oli 12 työpisteen avotoimisto. Mittalukujen epävarmuudet olivat kohtuullisen pienet. Tuloksia voidaan hyödyntää ISO 3382-3 standardin revisiossa, joka on alkanut 2019.

1 JOHDANTO

Rakennusakustisia ja huoneakustisia mittauksia suorittavia toimijoita on Suomessa useita. ISO 3382-3 standardin [1] mukaista avotoimistojen huoneakustiikan mittausta tekeviä on kuitenkin vähemmän, koska standardi edellyttää puheensiirtoindeksin, STI, mittaamista, mihin kaikilla toimijoilla ei ole mahdollisuutta.

Yleensä standardin mukaisiin mittauksiin sisältyy standardissa määritelty epävarmuus, mutta ISO 3382-2 ja ISO 3382-3 standardeissa ei esitetä mittausepävarmuutta lukuarvoina [1, 2]. Tämän epävarmuuden määrittämiselle on tarvetta erityisesti, koska Ympäristöministeriön ääniympäristöohjeessa [3] on annettu sekä jälkikaiunta-ajan että puheensiirtoindeksin ohjeita useille eri tiloille. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää epävarmuudet em. standardien mukaisille mittaustuloksille riittävän monta riippumatonta mittaajaa kattavan vertailumittauksen avulla.

2 MITTAUKSET

Turun ammattikorkeakoulu järjesti keväällä 2019 avotoimiston huoneakustiikkamittauksen vertailumittauksen (Round Robin test). Kutsutuista 12 toimijoista testiin osallistui 9 mittaajaa. Mitattava kohde oli 12 työpisteen avotoimisto, jonka mitat olivat 18,5 m x 5,9 m x 3,5 m (Kuva 1). Mittaukset tehtiin kahdessa tilanteessa: **Tilanne A** työpöydät alhaal-



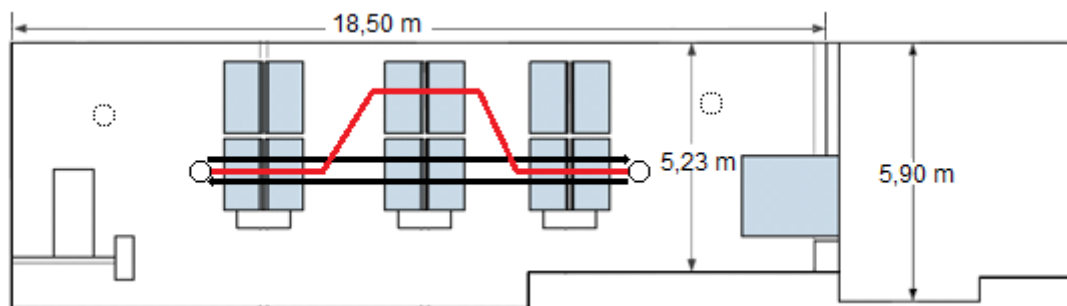
© 2019 Jukka Keränen, Laura Labia ja Valtteri Hongisto. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Ei sovitettu –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

la, sermien yläreuna 117 cm korkeudessa, ja **Tilanne B** työpöydät ylhäällä, sermien yläreuna 147 cm korkeudessa. Työpöytien oikeat korkeudet tarkastettiin järjestäjän toimesta.

Mittaajat tekivät itsenäisesti standardien edellyttämät määrittelyt ja mittaukset käyttäen omia laitteitaan. ISO 3382-3 mukaiset mittaukset tehtiin yhdellä mittauslinjalla molempiin suuntiin tilanteissa **A** ja **B**. Jälkikaiunta-ajat mitattiin ISO 3382-2 mukaan myös molemmissa tilanteissa **A** ja **B**. Mittaajat määrittivät standardien mukaiset mittaluvut: puheen leviämismuunnosaste $D_{2,s}$, puheen äänenpainetaso 4 m etäisyydellä $L_{p,A,S,4m}$, häiritsevyysetäisyys r_D , taustaäänepainetaso $L_{p,A,B}$ ja jälkikaiunta-aika T .

Puheensiirtoindeksin mittaaminen on välttämätöntä, jotta häiritsevyysetäisyyden voisi määrittää. ISO 3382-3 standardi [1] ei ohjeista yksiselitteisesti, mitä menetelmää tulisi käyttää. ISO 3382-3 viittaa IEC 60268-16 standardiin [4], mutta sen soveltaminen on riskiä. Esimerkiksi käytettävät puheen spektrit ovat standardeissa [1,4] erilaiset ja ISO 3382-3 ei määrittele, käytetäänkö laskennassa miehen vai naisen puheen mukaisia painotuksia. Tästä tulkinnanvaraisuudesta johtuen menettelyt vaihtelivat hieman mitaajien kesken.

Mittaustulokset kirjattiin ennalta määritettyyn tiedostoon, joka lähetettiin sähköpostitse vertailutestin järjestäjälle. Vastaanotetut tulokset anonymisoitiin ennen niiden tarkastelua. Tulosten tarkastelussa käytetään mitaajista merkintöjä 1 – 9.

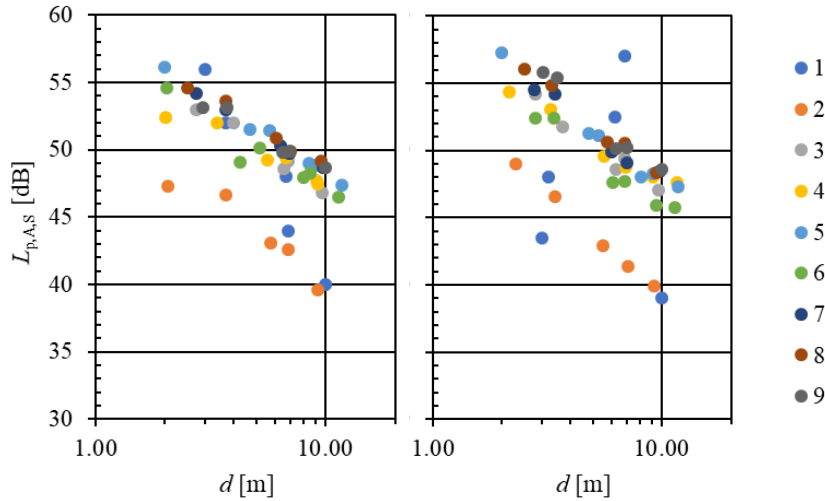


Kuva 1. Vertailumittauksen kohde oli 12 työpisteen avotoimisto. Mittaajien valitsema mittauslinjat ja kaiutinpaikat (ympyrät). Linjan 1 suunta on kuvassa vasemmalta oikealle ja linjan 2 päinvastoin. Mittauspisteet olivat työpisteissä.

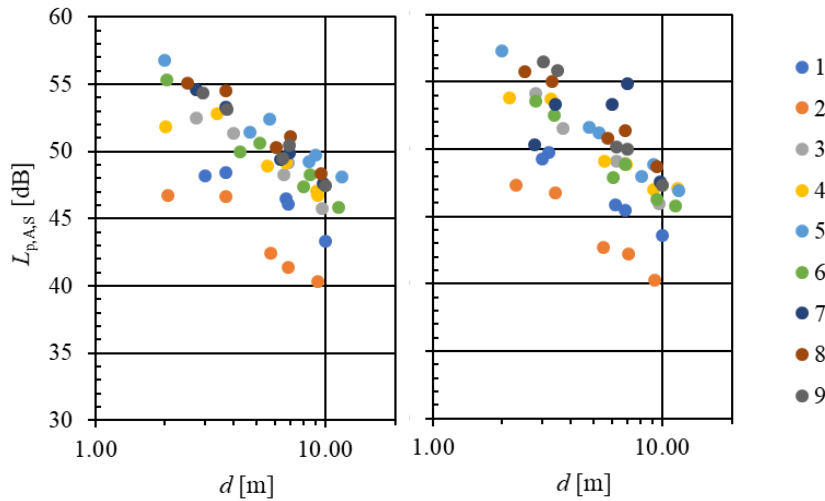
Mittaajat valitsivat mittauslinjat kuvassa 1 esitetyillä tavoilla. Kuusi mitaajaa sijoitti äänilähteen työpistelinjan päähän ja mittasi linjan muissa 5 työpisteissä (musta linja). Kaksi mitaajaa sijoitti äänilähteen kauemmas em. työpistelinjasta (ympyrät pisteiviivalla) ja mittasi linjan kaikissa 6 työpisteessä (musta linja). Yksi mitaaja sijoitti äänilähteen työpistelinjan päässä olevaan työpisteeseen ja mittasi punaisen linjan 5 työpisteessä.

3 TULOKSET

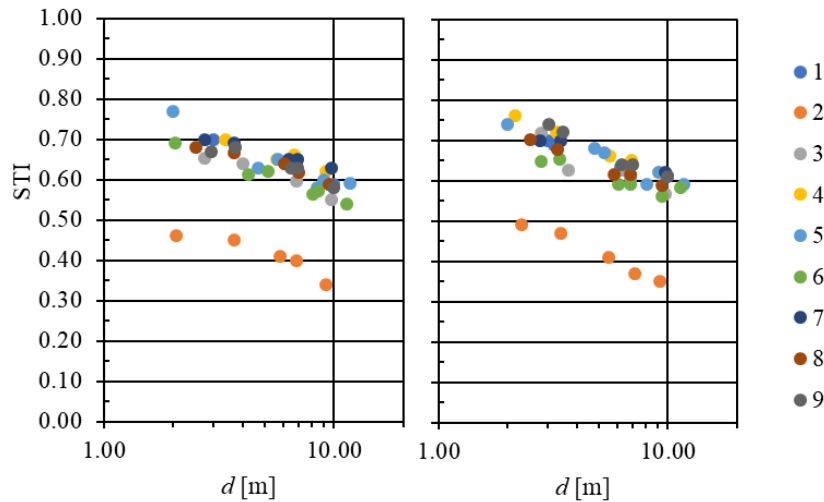
Kaikkien 9 mittajaan määrittämät puheen äänenpainetasot tilanteissa **A** ja **B** esitetään kuvissa 2 ja 3. Vastaavasti 9 mittajaan määrittämät puheensiirtoindeksit tilanteissa **A** ja **B** esitetään kuvissa 4 ja 5.



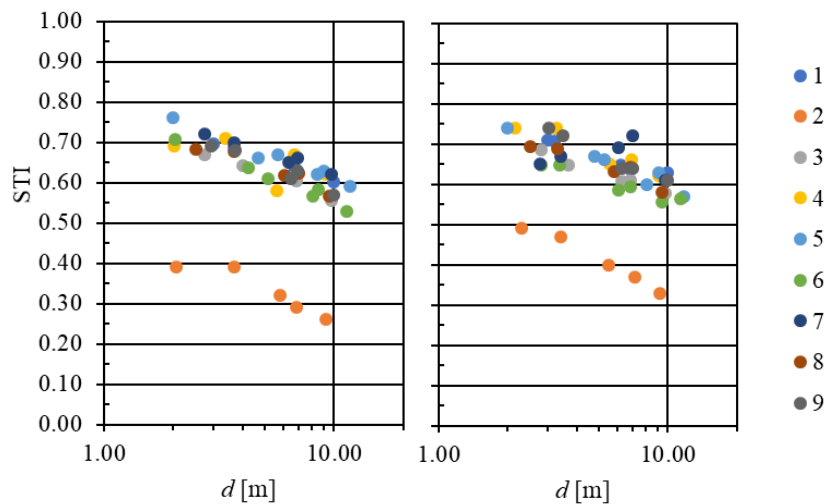
Kuva 2. Puheen äänenpainetaso mittauslinjoilla 1 ja 2 tilanteessa **A**.



Kuva 3. Puheen äänenpainetaso mittauslinjoilla 1 ja 2 tilanteessa **B**.



Kuva 4. Puheensirtoindeksi mittauslinjoilla 1 ja 2 tilanteessa **A**.



Kuva 5. Puheensirtoindeksi mittauslinjoilla 1 ja 2 tilanteessa **B**.

Mittaajien määrittämät ISO 3382-3 standardin mittaluvut tilanteissa **A** ja **B** esitetään taulukoissa 1 ja 2. Tilastollinen analyysi tehtiin ottaen huomioon seuraavat poistot:

- mittaja 5 ei ollut määrittänyt mittalukuja tilanteessa **B**
- mittajilla 1, 2 ja 7 jotkut havainnot ovat muista selvästi poikkeavia

ISO 3382-2 standardin mukaisten jälkikaiunta-aikamittausten tulokset saatiin 7 mittajalta 9:stä (Taulukko 3).

Taulukko 1. Mittaajien määrittämät ISO 3382-3 standardin mittaluvut tilanteessa **A**.

Mittaaja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	keskiarvo	keskihajonta
Linja 1											
$D_{2,S}$ [dB]	4.0		3.5	2.7	3.3	3.0	4.0	3.1	4.1	3.5	0.5
$L_{p,A,S,4m}$ [dB]	48.0		51.3	52.0	53.2	51.0	53.0	53.0	52.4	51.7	1.7
$L_{p,A,B}$ [dB]	32.2		37.2	38.2	37.8	38.2	37.7	38.6	38.0	37.2	2.1
r_D [m]			13.8		12.2	13.2	20.5	16.0	15.6	15.2	3.0
Linja 2											
$D_{2,S}$ [dB]			3.8	3.8	4.3	3.7	4.0	4.1	4.1	4.0	0.2
$L_{p,A,S,4m}$ [dB]			51.4	52.9	52.8	50.6	53.0	53.0	54.0	52.5	1.1
$L_{p,A,B}$ [dB]			36.8	38.2	37.8	37.8	37.7	38.5	37.8	37.8	0.5
r_D [m]			13.2		14.1	17.5	19.8	14.0	14.1	15.5	2.6

Taulukko 2. Mittaajien määrittämät ISO 3382-3 standardin mittaluvut tilanteessa **B**.

Mittaaja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	keskiarvo	keskihajonta
Linja 1											
$D_{2,S}$ [dB]	4.0		3.6	2.5	3.3	3.6	4.0	3.6	4.0	3.6	0.5
$L_{p,A,S,4m}$ [dB]	48.0		50.9	51.9	53.2	51.3	53.0	54.0	52.9	51.9	1.9
$L_{p,A,B}$ [dB]	31.6		37.3	38.2	37.8	37.9	37.7	38.6	37.9	37.1	2.3
r_D [m]			13.4		15.3	11.9	18.0	13.5	13.5	14.3	2.1
Linja 2											
$D_{2,S}$ [dB]	3.7		4.2	3.5		4.0		3.7	4.1	3.9	0.3
$L_{p,A,S,4m}$ [dB]	48.5		51.2	52.4		51.0		53.0	54.7	51.8	2.1
$L_{p,A,B}$ [dB]	31.9		36.7	38.2		37.8		38.1	37.5	36.7	2.4
r_D [m]			14.4			15.7		14.6	14.1	14.7	0.7

Taulukko 3. Mittaajien määrittämät jälkikaiunta-ajat T oktaavikaistoilla 125 – 8000 Hz tilanteissa **A** ja **B**.

Tilanne A											
Mittaaja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	keskiarvo	keskihajonta
125	0.74	0.74	0.85	0.77		0.88	0.79	0.85		0.80	0.06
250	0.55	0.62	0.61	0.60		0.59	0.62	0.64		0.60	0.03
500	0.49	0.57	0.54	0.53		0.56	0.55	0.55		0.54	0.03
1000	0.52	0.56	0.54	0.52		0.54	0.58	0.56		0.55	0.02
2000	0.52	0.54	0.53	0.53		0.53	0.59	0.59		0.55	0.03
4000	0.44	0.46	0.51	0.50		0.47	0.55	0.56		0.50	0.05
8000	0.41	0.42	0.38	0.41		0.36	0.53	0.53		0.43	0.07
Tilanne B											
Mittaaja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	keskiarvo	keskihajonta
125	0.77	0.84	0.71	0.79		0.92	0.81	0.87		0.82	0.07
250	0.57	0.56	0.60	0.64		0.70	0.60	0.64		0.62	0.05
500	0.53	0.53	0.51	0.55		0.58	0.56	0.53		0.54	0.02
1000	0.52	0.55	0.54	0.56		0.60	0.57	0.56		0.56	0.02
2000	0.51	0.54	0.54	0.56		0.55	0.58	0.59		0.55	0.03
4000	0.42	0.46	0.50	0.50		0.48	0.52	0.54		0.49	0.04
8000	0.39	0.42	0.38	0.41		0.37	0.50	0.51		0.43	0.06

4 TULOSTEN TARKASTELU JA POHDINTA

Mittaluvun $D_{2,S}$ epävarmuus oli pieni. Tilanteissa **A** ja **B** mittaluvun $D_{2,S}$ -keskiarvot linjoilla 1 ja 2 olivat 3,5 – 4,0 dB. Keskihajonnat olivat $\leq 0,5$ dB molemmissa tilanteissa.

Tilanteissa **A** ja **B** $L_{p,A,S,4m}$ -keskiarvot linjoilla 1 ja 2 olivat 51,7 – 52,5 dB. Keskihajonnat olivat 1,1 – 2,1 dB. Mittaluvun epävarmuus oli suurempi kuin mittaluvulla $D_{2,S}$.

Jälkikaiunta-ajan T keskihajonnat eri taajuuskaistoilla olivat 0,02 – 0,07 s tilanteissa **A** ja **B**. Jälkikaiunta-ajan epävarmuus oli siis yllättävän pieni.

Taustäänepainetason $L_{p,A,B}$ keskiarvot olivat 36,7 – 37,8 dB ja keskihajonnat 0,5 – 2,4 dB. Mitattujen $L_{p,A,B}$ -arvojen vaihteluväli oli kuitenkin suurempi 31,6 – 38,6 dB. Tämä vaikutti STI:n ja r_D :n epävarmuutta kasvattavasti. Osa taustäänitason suuresta vaihtelusta voi johtua ilmanvaihdon äänitason vaihtelusta. Epävarmuus olisi ollut pienempi, jos tilassa olisi ollut tasainen 40 dB peittoääni tämän turhan virhelähteen minimoimiseksi. Peittoäänien käyttö olisi myös varmistanut, että r_D arvoa ei olisi tarvinnut ekstrapoloida.

Häiritsevyysetäisyyden r_D keskiarvot olivat 14,3 – 15,5 m ja keskihajonnat 0,7 – 3,0 m tilanteissa **A** ja **B**. Osasyys tähän oli se, että arvo jouduttiin ekstrapoloimaan (mittauslinjan pituus oli noin 12 metriä).

5 YHTEENVETO

Mittausepävarmuus voitiin määrittää standardien mukaisille mittaluvuille vertailumittauksen keskihajontojen perusteella. Kaikki mittaajat tekivät mittaukset samassa tilassa omilla laitteillaan, joten testi vastasi ISO 12999-1 standardin mukaista *in situ* tilannetta [5]. Tulosten perusteella voidaan ehdottaa ISO 3382-3 ja ISO 3382-2 standardien mittaluvuille keskihajontoihin perustuvat mittausepävarmuudet u taulukon 4 mukaisesti. Tulokset pätevät vain tälle avotoimistolle. Epävarmuus voi riippua jonkin verran kohteesta.

Taulukko 4. ISO 3382-3 ja ISO 3382-2 mittalukujen mittausepävarmuudet u .

	$D_{2,S}$ [dB]	$L_{p,A,S,4m}$ [dB]	$L_{p,A,B}$ [dB]	r_D [m]	T_{20} [s]
u	0.5	2.0	2.5	3.0	0.05

VIITTEET

- [1] SFS-EN ISO 3382-3 (2012) Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices.
- [2] SFS-EN ISO 3382-2 (2008) Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.
- [3] Saarinen A. (2018) Ääniympäristö. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [4] IEC 60268-16 (2011) Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
- [5] SFS-EN ISO 12999-1 (2014) Acoustics – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 1: Sound insulation.