

PUHEÄÄNEN LEVIÄMINEN AVOTOIMISTOSSA – MITTAUKSIIN PERUSTUVA MALLI

Jukka Keränen¹, Valtteri Hongisto¹

¹ Työterveyslaitos
Lemminkäisenkatu 14-18 B
20520 TURKU
jukka.keranen@ttl.fi

Tiivistelmä

Avotoimistoissa keskittymiskykyä haittaavia puheääniä voidaan vähentää pienentämällä puheen erottuvuutta muista taustäänistä. Tähän soveltuvia keinoja ovat puheäänen vaimentaminen tilassa, suoran puheäänen katkaiseminen sermeillä ja sopivan peiteäänen käyttö. RIL 243-3-2008 suunnitteluohejeessa esitetään akustiset luokat A-D avotoimiston ääniympäristölle ja ohjearvot niitä kuvaaville mittaluvuille: leviämismuunnosaste, $D_{2,S}$ ja häiritsevyysetäisyys, r_D . Luokka A edustaa parasta mahdollista äänenvaimennusta ja sopivaa peiteäänitasoa. Suuri osa suomalaisista avotoimistoista luokituu edelleen luokkiin C ja D eikä niissä olla tyytyväisiä akustisiin olosuhteisiin. Tavoitteena oli laatia yksinkertainen menetelmä puheen leviämismuunnoksen ja häiritsevyysetäisyyden ennustamiseen. $D_{2,S}$ ja r_D määritettiin ISO 3382-3 standardin mukaan. Avotoimistojen akustiset olosuhteet olivat hyvin erilaisia, koska katon ja seinien absorptio, sermien korkeus ja absorptio sekä peiteäänitaso vaihtelivat. Avotoimistoista koottujen tietojen perusteella ennustettiin $D_{2,S}$ ja r_D tässä esitetyllä yksinkertaisella menetelmällä. Useimmissa tavallisissa avotoimistotiloissa saavutettiin kohtuullinen ennustetarkkuus: $D_{2,S}$:lle ± 1.5 dB ja r_D :lle ± 3 m. Menetelmä on huomattavasti yksinkertaisempi kuin huoneakustiikan mallinnusohjelmat, koska kaikki laskentaan tarvittavat arvot voidaan arvioida tilan pohjakuvan, kalustesuunnitelman ja materiaalitietojen perusteella. Yksityiskohtaiset tulokset on julkaistu Applied Acoustics -lehdessä 2013. Laskentamalli on vapaasti käytettävissä [www-sivulla: www.tt.fi/avotoimistoakustiikka](http://www.tt.fi/avotoimistoakustiikka).

1 JOHDANTO

Viime vuosina on laajoissa tutkimushankkeissa kehitetty uusi menetelmä avotoimistojen huoneakustiikan mittaamiseen [1,2]. Tulokset esitetään mittalukuina, joilla pyritään kuvaamaan ihmisten kokemusta tilan akustiikan laadusta. Mittaluvuille on laadittu tavoitearvot ja akustisten olosuhteiden luokittelu [3,4,5]. Uusimmat avotoimistojen suunnitteluohjeet perustuvat näihin luokkiin.

Tässä esitetään yksinkertainen malli, jolla voidaan ennustaa uuden menetelmän mukaiset mittaluvut. Malli helpottaa avotoimiston huoneakustiikan arvioimista jo suunnitteluvaiheessa.

2 MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Malli perustuu mittaustuloksiin avotoimistoissa 1-16, jotka edustavat erilaisia avotoimistoissa esiintyviä akustisia olosuhteita [1]. Lisäksi avotoimistoissa A-J tehtiin huoneakustiset mittaukset mallin ennustetarkkuuden arvioimiseksi [2]. Kaikissa 26 kohteessa kerättiin muuttujatiedot tilan pituudesta, L , leveydestä, W , ja korkeudesta, H , sekä sermien/kalusteiden korkeudesta, h , katon absorptiosuhteesta, α_c , ja näennäisestä kalusteiden absorptiosuhteesta, α_f , jossa otettiin huomioon kalusteiden lisäksi mittaustuloksen lähellä olevien pystypintojen ja lattian absorptio. Taulukossa 1 esitetään muuttujien vaihteluvälit tutkituissa toimistoissa. Muuttujien arvot vaihtelivat toimistojen välillä erittäin paljon, mikä parantaa aineiston luotettavuutta.

Avotoimistoissa mitattiin laajakaistaisen kohinaäänen vaimenemista mittaustuloksella eri etäisyyksillä sijaitsevista työpisteistä. Äänenpainetaso mitattiin oktaavikaistoilla 125-8000 Hz. Puheen A-taajuuspainotettu äänenpainetaso 4 m etäisyydellä puhujasta, $L_{A,S,4m}$, ja leviämismuunnosaste, $D_{2,S}$, määritettiin ISO 3382-3 standardin [5] mukaisesti.

Taulukko 1. Muuttujien vaihteluvälit tutkituissa avotoimistoissa.

Muuttujat	Toimistot 1-16	Toimistot A-J
L [m]	16 ... 70	16 ... 69
W [m]	4 ... 45	6 ... 29
H [m]	2.5 ... 5.9	2.6 ... 5.1
h [m]	0 ... 2.2	1.2 ... 1.7
α_c	0.1 ... 0.8	0.3 ... 0.9
α_f	0.1 ... 0.6	0.3 ... 0.6

Samoissa työpisteissä määritettiin puheensirtoindeksi, STI, käyttäen puheen äänenpainetasoa ja keskimääräistä LVIS-laitteiden tuottamaa peiteäänän äänenpainetasoa sekä mitattuja modulaatiosirtofunktioita [5]. Puheensirtoindeksin ennustemenetelmässä [2] huomioitiin puheen ja peiteäänän äänenpainetasot sekä varhainen jälkikaiunta-aika, T_E . Laskennassa käytettiin oktaavikaistojen 125-8000 Hz arvoja, mikä monimutkaisti laskentaa ja lisäsi tulosten epävarmuutta, koska puheen spektrimuodon oletettiin säilyvän samanlaisena (ISO 3382-3 standardin puhespektri) etäisyydestä riippumatta ja peiteäänän spektrin oletettiin olevan vakiomuotoa -5 dB/oktaavi. Myös T_E oletettiin vakioksi koko tilassa.

Häiritsevyysetäisyys, r_D , määritettiin etäisyytenä puhujasta, jossa STI laskee alle arvon 0.50. Tämä määritelmä perustuu Hongiston [6] esittämään malliin häiritsevän puheen erotettavuuden (STI) vaikutuksesta työtehtäväsuoriutumiseen.

3 TULOKSET

Mittaustuloksiin perustuva malli puheen leviämismuunnosasteelle on:

$$D_{2,S} = 8 \frac{h}{H} + 0.16 \frac{L}{H} + 4\alpha_c + 1.7\alpha_f. \quad (1)$$

Vastaavasti malli puheen A-taajuuspainotetulle äänenpainetasolle 4 metrin etäisyydellä puhujasta on:

$$L_{A,S,4m} = L_{A,S,1m} - 3h - 0.1W - 4.6\alpha_c - 0.8\alpha_f, \quad (2)$$

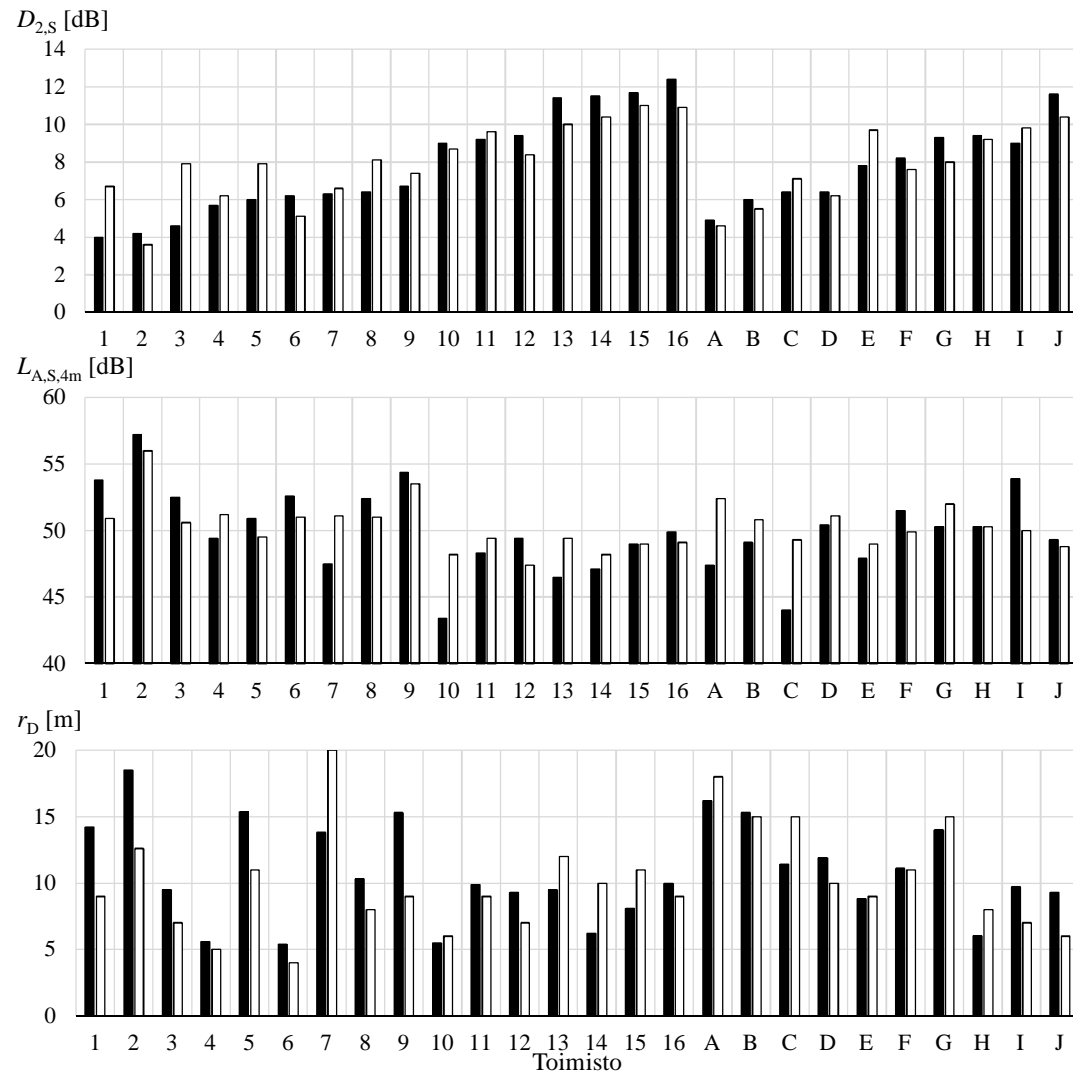
jossa puheen A-taajuuspainotettu äänenpainetaso 1 m etäisyydellä on $L_{A,S,1m}$. ISO 3382-3 standardin mukaan normaalilla puheella $L_{A,S,1m}=57.4$ dB, mutta tapauskohtaisesti on mahdollista valita suurempi tai pienempi puheäänenvoimakkuus.

Yhtälöiden (1) ja (2) avulla voidaan ennustaa puheen A-taajuuspainotettu äänenpainetaso mittauslinjalla millä tahansa etäisyydellä puhujasta seuraavasti:

$$L_{A,S}(r) = L_{A,S,4m} - 3.3D_{2,S}[\lg(r) - \lg(4)], \quad (3)$$

Puheensiirtoindeksin laskenta ja häiritsevyysetäisyyden määrittäminen on kuvattu yksityiskohtaisesti viitteessä [2], joten sitä ei esitetä tässä.

Taulukon 1 toimistoissa mitatut ja ennustetut mittaluvut $D_{2,S}$, $L_{A,S,4m}$ ja r_D esitetään Kuvassa 1. Mittalukujen ennustevirheiden keskiarvot ja -hajonnat esitetään Taulukossa 2.



Kuva 1. Toimistoissa 1-16 ja A-J mitatut (musta) ja ennustetut (valkoinen) mittaluvut $D_{2,S}$, $L_{A,S,4m}$ ja r_D .

Taulukko 2. Mittalukujen ennustevirheen keskiarvot ja keskihajonnat toimistoissa 1-16 ja A-J.

Toimistot		$D_{2,S}$ [dB]	$L_{A,S,4m}$ [dB]	r_D [m]
1-16	keskiarvo	0.2	0.1	-1.1
	k.hajonta	1.5	2.2	3.6
A-J	keskiarvo	-0.1	1.0	0.0
	k.hajonta	1.0	2.8	2.2

Mallinnusmenetelmä on helposti sovellettavissa useimmissa avotoimistoissa. Ennustetarkkuus on kohtuullinen käytännön akustiikkasuunnittelua ajatellen.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Avotoimistojen akustiikan mittaamiseen on saatu valmiiksi kansainvälinen standardoitu menetelmä. Mittausmenetelmän rinnalle on kehitetty helppo ja yksinkertainen mallinnusmenetelmä (www.ttl.fi/avotoimistoakustiikka), joka soveltuu pikaiseen avotoimistojen akustiikan arviointiin erilaisissa suunnittelutilanteissa.

VIITTEET

- [1] Virjonen P, Keränen J, Hongisto V, Determination of acoustical conditions in open-plan offices: proposal for new measurement method and target values, *Acta Acustica united with Acustica*, 95(2009), 279-290.
- [2] Keränen J, Hongisto V, Prediction of the spatial decay of speech in open-plan offices, *Applied Acoustics*, 74(2013), 1315-1325.
- [3] RIL 243-3-2008, Rakennusten akustinen suunnittelu toimistot, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, Hakapaino Oy, Helsinki, 2008.
- [4] Sisäilmastoluokitus 2008, Sisäilmayhdistys ry, julkaisu 5, Helsinki, 2008.
- [5] ISO 3382-3, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: open plan offices, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.
- [6] Hongisto V, A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance, *Indoor Air* 15 (2005), 458-468.