

# AVOTOIMISTON HUONEAKUSTIIKKATUTKIMUS TÄYSMITTAKAAVALABORATORIOSSA

Jukka Keränen<sup>1</sup>, Valtteri Hongisto<sup>1</sup>, Jarkko Hakala<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Työterveyslaitos, sisäympäristölaboratorio

Lemminkäisenkatu 14-18 B

20520 TURKU

jukka.keranen@ttl.fi, valtteri.hongisto@ttl.fi

## Tiivistelmä

Avotoimistoissa turhat puheäänät vaikeuttavat keskittymiskykyä ja sitä kautta heikentävät työsuoritumista. Haittoja voidaan vähentää pienentämällä puheen erotettavuutta huoneakustisin keinoin. Ohjeessa RIL 243-3-2008 esitetään akustiset luokat A – D avotoimiston ääniympäristölle ja ohjeavrot niitä kuvaaville mittaluvuille: leviämismuunnosaste ja häiritsevyysindeksi. Luokka A edustaa parhaita mahdollisia olosuhteita. Suurin osa suomalaisista avotoimistoista lukeutuu luokkiin C ja D eikä niissä olla tyytyväisiä akustisiin olosuhteisiin. Tavoitteena oli selvittää kontrolloidusti laboratorioolosuhteissa ratkaisut, joilla voidaan saavuttaa paremmat luokat A ja B. Tutkimus tehtiin avotoimistolaboratoriossa, jossa tilan akustisia olosuhteita muuteltiin erilaisilla tuoteratkaisuilla, kuten katto- ja seinäpintojen absorptio, sermien korkeus ja absorptio sekä peiteäänien taso. Kussakin tilanteessa mitattiin, miten normaali puheääni vaimenee tilassa työpisteestä toiseen. Puheäänien tason lisäksi määritettiin puheensirtoindeksit kahdella eri peiteäänien tasolla 33 ja 43 dB (A-äänitaso). Mittaustulosten perusteella määritettiin leviämismuunnosaste ja häiritsevyysindeksi ISO 3382-3 standardin mukaan. Tulokset osoittivat, että oikeilla tuoteratkaisuilla voidaan vaikuttaa erittäin paljon akustisiin olosuhteisiin. Leviämismuunnosasteen vaihteluväli oli 1,3–8,4 dB. Lähimmässä työpisteessä puheen A-äänitaso vaihteli välillä 54–61 dB. Kun peiteäänien A-äänitaso oli 43 dB, oli häiritsevyysindeksi pienimmillään 3,5 m ja suurimmillaan 8,5 m. Peiteäänien tasoa pienennettäessä häiritsevyysindeksin arvot kasvoivat huomattavasti. Häiritsevyysindeksi oli välillä 7–37 m peiteäänien A-äänitason ollessa 33 dB. Lopuksi esitetään tuoteratkaisujen yhdistelmiä, joilla voidaan saavuttaa parhaat akustiset luokat A ja B. Koska tutkimusolosuhteet toteutettiin kaupallisilla tuotteilla, ratkaisut ovat suoraan sovellettavissa uusiin tai saneerattaviin avotoimistoihin.

## 1 JOHDANTO

Selvästi erottuvat tarpeettomat puheäänät heikentävät työympäristön viihtyisyyttä ja työtehtävistä suoritumista avotoimistossa [1,2,3,4]. Huoneakustisilla ratkaisuilla voidaan merkittävästi vaikuttaa puheäänien erottumiseen avoimessa tilassa [5,6,7]. Avotiloimiston akustinen suunnittelu on muihin työtiloihin verrattuna haasteellista, koska suunnittelu edellyttää useiden tekijöiden, kuten tilaratkaisut, vaimennusmateriaalit, sermit ja peiteäänijärjestelmät, yhtäaikaista huomiointia. Sopiva tavoitetaso riippuu työtehtävistä. Puheyksityisyyden tai keskittymisrauhan luominen vaatii paremman puheyksityisyyden

kuin jatkuva tiimityöskentely, jossa keskustelun tulisi olla helppoa lähityöpisteiden välillä.

Avotoimiston huoneakustiikan mittaamiseen on julkaistu kansainvälinen ISO 3382-3 standardi [8], jonka laadintaan Työterveyslaitos osallistui aktiivisesti [9]. Standardi mahdollistaa huoneakustisten tavoitetasojen yhdenmukaisen käytön eri maissa. Avotoimiston akustisen suunnittelun keinoja ovat äänenvaimennusmateriaalien käyttö katossa ja pystypinnoilla, suoran puheäänän katkaiseminen sermeillä ja sopivan peiteäänän käyttö. Ohjeessa RIL 243-3-2008 [10] esitetään akustiset luokat A–D avotoimiston ääniympäristölle ja ohjearvot niitä kuvaaville mittaluvuille: leviämisvaimennusaste  $D_{2,S}$  ja häiritsevyyssäde  $r_D$  (Taulukko 1). Luokka A edustaa parhaita mahdollisia olosuhteita. Suurin osa suomalaisista avotoimistoista lukeutunee luokkiin C ja D eikä niissä olla tyytyväisiä akustiisiin olosuhteisiin. Väittämä perustuu Työterveyslaitoksen tekemiin palveluselvityksiin. Kirjallisuudessa ei ole kuitenkaan esitetty tutkimusta, jossa olisi selvitetty systemaattisesti, miten erilaiset huoneakustiset ratkaisut vaikuttavat standardin esittämiin mittalukuihin  $D_{2,S}$  ja  $r_D$ .

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää laboratorio-olosuhteissa ratkaisut, joilla voidaan saavuttaa parhaat akustiset luokat A ja B. Koska kaikki tutkimusolosuhteet toteutettiin kaupallisilla tuotteilla, ratkaisut ovat suoraan sovellettavissa uusiin tai saneerattaviin avotoimistoihin. Erilaisia ratkaisuja testattiin yhteensä 84 kpl. Tässä artikkelissa esitetään 16 suunnittelun kannalta mielenkiintoisinta ja puheyksityisyyden kannalta äärimmäisintä ratkaisua.

**Taulukko 1.** RIL 243-3-2008 mukaiset ohjearvot sekä lisäluokka E, jota Työterveyslaitos käyttää nykyään lausunnoissaan, koska luokka RIL-ohjeen mukainen luokka D antaa usein liian hyvän kuvan olosuhteista.

Luokka	Puheyksityisyys	$D_{2,S}$ [dB]	$r_D$ [m]	$L_{A,S,4m}$ [dB]
A	Hyvä	yli 11	alle 5	alle 46
B	Melko hyvä	9 - 11	5 - 8	46 - 49
C	Tyydyttävä	7 - 9	8 - 11	49 - 52
D	Kehno	5-7	11-15	52 - 55
E	Luokittelematon	alle 5	yli 15	yli 55 dB

## 2 AVOTOIMISTOLABORATORIO

Tutkimus tehtiin Turussa 12 työpisteen avotoimistolaboratoriossa (84 m<sup>2</sup>), jossa tilan akustisia olosuhteita muuteltiin erilaisilla tuoteratkaisuilla, kuten katto- ja seinäpintojen absorptio, sermien korkeus ja absorptio sekä peiteäänän taso. Työpisteiden kalusteet, sermit ja kaapistot, katto- ja seinäakustiikkalevyt ja peiteäänijärjestelmän toimittivat tutkimushankkeessa mukana olleet yritykset tutkijoiden toivomalla tavalla.

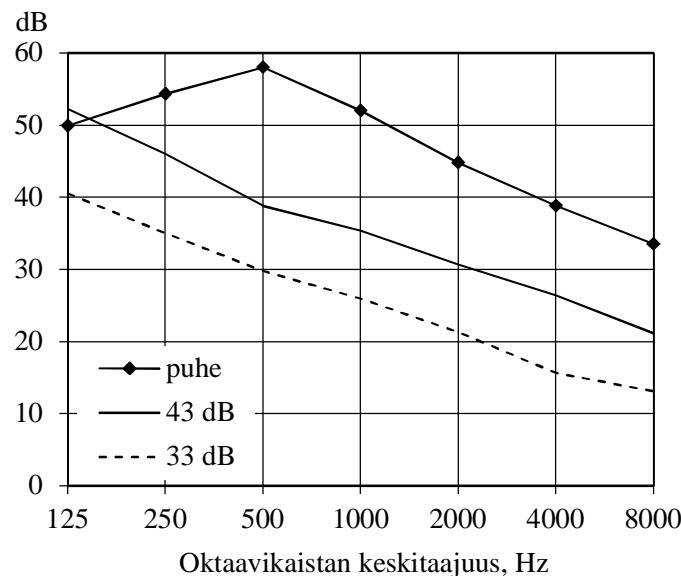
Alakatto asennettiin 2,55 m korkeuteen, jolloin yläpuolelle jäi tilaa ilmanvaihtolaitteille, sprinklereille, peiteäänijärjestelmän kaiuttimille sekä valaisimille. T-listoilla tehtiin 600x600 ruudukko, johon asennettiin alakattolevyt, joita oli kaksi vaihtoehtoa. Kova katto tehtiin reiättömistä kipsilevyistä ( $\alpha_w=0,05$ ) ja ääntä vaimentava katto tehtiin pinnoitetuista 20 mm lasivillalevyistä ( $\alpha_w=0,90$ ). Alakattolevyjen määrä oli 88 % kattopinta-alasta eli yhteensä 75 m<sup>2</sup>.

Paljaat seinäpinnat olivat tapetoitua kipsilevyä ( $\alpha_w=0,05$ ). Kun tutkittiin seinille asennettävien absorptiomateriaalien vaikutusta, kolmelle seinäpinnalle (20 % seinäpinta-alasta, yhteensä 18 m<sup>2</sup>) asennettiin tiiviisti taustaan kiinni 40 mm lasivillalevyt ( $\alpha_w=0,90$ ), jotka verhoiltiin sisustuskankaalla.

Betonilattian päällä oli muovimatto ( $\alpha_w<0,05$ ). Tekstiilimattoja ei tutkittu.

Työpisteitä erottamassa oli sekä tavanomaisia tekstiiliverhoiltuja toimistosermejä ( $\alpha_w=0,30$ ) että absorptiosermejä ( $\alpha_w=0,80$ ). Tutkitut sermien korkeudet olivat 0 (ei sermejä), 1,3 m, 1,7 m ja 2,1 m. Toimistokalusteiden paikat eivät muuttuneet kokeen aikana.

Peiteäänijärjestelmä koostui ohjelmoitavasta peiteäänilähteestä ja vahvistimesta sekä 15 peiteäänikaiuttimesta, jotka sijoitettiin tasaisin välein alakaton yläpuolelle koko avotoimiston alueelle. Peiteäänien äänitaso työpisteissä esitetään kuvassa 1 kahdella A-äänitasolla 33 ja 43 dB. Laskennallisesti on mahdollista määrittää puheensirtoindeksejä mille tahansa peiteäänien tasolle.



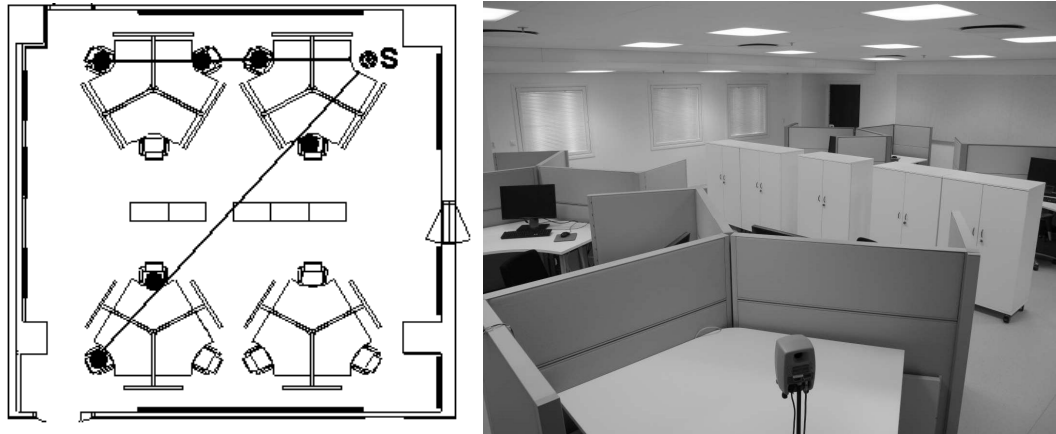
**Kuva 1.** Peiteäänien äänitaso työpisteissä A-äänitasoilla 33 ja 43 dB sekä ISO 3382-3 standardin mukainen puheen äänitaso vapaassa kentässä 1 m etäisyydellä.

### 3 MENETELMÄT

Kussakin tilanteessa mitattiin puheäänien leviäminen yhdestä työpisteestä 6 työpisteeseen, jotka sijaitsivat kahdella eri mittauslinjalla (Kuva 2). Nurkassa olevaan työpisteeseen sijoitettiin puhuvaa työntekijää mallintava äänilähde. Muissa työpisteissä mitattiin oktaavikaistoittain standardoidun puheäänien äänitaso (Kuva 1), peiteäänien äänitaso, modulaatio-siirtofunktiot ja etäisyys äänilähteeseen. Äänilähde ja mikrofoni sijaitsivat 1,20 m korkeudella. Kun peiteäänijärjestelmä ei ollut päällä, taustamelun A-äänitaso oli 33 dB.

Mittaustulosten perusteella määritettiin työpisteittäin standardoidun puheen A-äänitaso  $L_{A,S}$  ja leviämisvaimennusaste  $D_{2,S}$  (Kuva 3a). Standardoidun puheäänien äänitason, modulaatio-siirtofunktioiden ja peiteäänien äänitason perusteella määritettiin työpisteissä puheensirtoindeksi  $STI$  ja häiritsevyyssäde  $r_D$  (Kuva 3b).

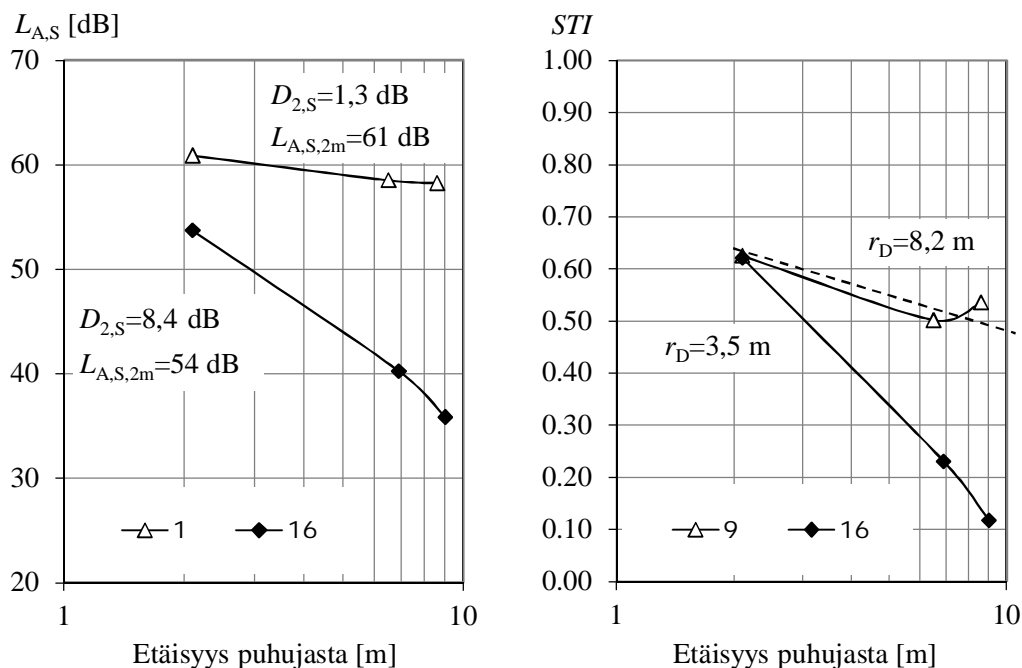
Taulukossa 2 esitetään tarkasteltavat tilanteet. Kun absorptiomateriaalien määrä on suuri, katto oli ääntä vaimentava, seinille oli asennettu absorptiomateriaalit ja työpisteiden välissä oli absorptiosermit. Absorptiomateriaalien määrän ollessa pieni katto oli kipsilevyä, seinillä ei ollut absorptiomateriaaleja ja työpisteiden välissä oli tavalliset toimistosermit.



**Kuva 2.** Äänilähteen paikka (S) ja mittauslinjat 1 ja 2. Seinäabsorptiolevyjen paikat on esitetty mustalla viivalla. Oikealla valokuva tilasta vastaten 130 cm sermikorkeutta.

## 4 TULOKSET

Mittaustulokset esitetään taulukossa 2. Leviämisvaimennusasteen  $D_{2,S}$  vaihteluväli oli 1,3–8,4 dB. Kaiutinta lähimpänä olevassa työpisteessä puheen A-äänitaso  $L_{A,S,2m}$  vaihteli välillä 54–61 dB. Kun peiteäänäen A-äänitaso oli 43 dB, oli häiritsevyyssäde pienimmillään 3,5 m ja suurimmillaan 8,5 m. Peiteäänäen tasoa pienennettäessä  $r_D$  kasvoi huomattavasti. Häiritsevyyssäteet olivat välillä 7,1 m – 37 m peiteäänäen A-äänitason ollessa 33 dB.



**Kuva 3.** Esimerkki a) leviämisvaimennusasteen  $D_{2,S}$  ja b) häiritsevyyssäteen  $r_D$  määrittämisestä ISO 3382-3 mukaan.

**Taulukko 2.** Avotoimistolaboratoriossa mitatut leviämismuunnosaste  $D_{2,S}$ , puheen äänitaso  $L_{A,S,2m}$  ja häiritsevyyssäde  $r_D$  peiteäänänen äänitasoilla 33 ja 43 dB.

TUTKITUT TILANTEET				ISO 3382-3 TULOKSET			
Absorptio-	Sermien	Peiteäänänen					
materiaalien	korkeus	äänitaso	$L_{A,B}$	$D_{2,S}$	$L_{A,S,2m}$	$L_{A,S,4m}$	$r_D$
määrä	[m]	[dB]		[dB]	[dB]	[dB]	[m]
1	pieni	0	33	1,3	60,9	59,5	15
2	pieni	1,3	33	2,4	59,9	57,6	31
3	pieni	1,7	33	2,6	57,1	55,6	37
4	pieni	2,1	33	3,0	56,0	53,6	19
5	suuri	0	33	4,5	57,3	52,7	32
6	suuri	1,3	33	6,8	54,8	49,2	14
7	suuri	1,7	33	8,4	55,6	49,1	11
8	suuri	2,1	33	8,4	53,7	46,4	7,1
9	pieni	0	43	1,3	60,9	59,5	8,2
10	pieni	1,3	43	2,4	59,9	57,6	8,5
11	pieni	1,7	43	2,6	57,1	55,6	8,2
12	pieni	2,1	43	3,0	56,0	53,6	8,5
13	suuri	0	43	4,5	57,3	52,7	6,2
14	suuri	1,3	43	6,8	54,8	49,2	4,9
15	suuri	1,7	43	8,4	55,6	49,1	4,3
16	suuri	2,1	43	8,4	53,7	46,4	3,5

## 5 POHDINTA

Tulokset vahvistavat palveluselvityksissä havaitsemamme tulokset, joiden mukaan tuoteratkaisuilla voidaan vaikuttaa merkittävästi akustisiin olosuhteisiin [5,6,7,9]. Ohjeen RIL-243-3-2008 mukaan luokassa B leviämismuunnosasteen  $D_{2,S}$  tulisi olla vähintään 9 dB ja häiritsevyyssäteen  $r_D$  alle 8 m. Taulukossa 2 tilanteet 8, 15 ja 16 ovat lähes luokassa B. Tilanteessa 8 peiteäänänen A-äänitaso 33 dB vastasi tyypillistä suomalaista avotoimiston taustamelutasoa. Tilanteissa 15 ja 16 peiteäänänen A-äänitaso 43 dB oli RIL-243-3-2008 suositusten mukainen ja  $r_D$  oli selvästi pienempi kuin tilanteissa 7 ja 8. Tilanteissa 14–16  $r_D$  on jo luokassa A (alle 5 m), vaikka  $D_{2,S}$  ei ylitä 9 dB arvoa. Pinta-alaltaan suuremmassa avotoimistossa olisi  $D_{2,S}$  varmuudella suurempi kuin 9 dB tilanteita 15 tai 16 vastaavilla absorptio- ja sermiratkaisuilla [9].

Luokassa C vaatimus  $D_{2,S}$  arvolle on 7–9 dB ja  $r_D$  arvolle 8–11 m. Avotoimistoissa tämän luokan pitäisi olla minimivaatimus. Luokkaan C pääsemiseksi ratkaisuvaihtoehtoja on useita, jos mukaan otetaan peiteäänänenjärjestelmä, jolla puheen häiritsevyysetäisyyttä avotoimistossa voidaan hienosäätää. Absorptiomateriaalin määrä katossa pitäisi joka tapauksessa olla mahdollisimman suuri. Seinäpinnoilla ja työpisteiden välisissä sermeissä tulisi ainakin osittain käyttää ääntä absorboivia materiaaleja. Sermikorkeuden työpisteiden välillä pitäisi olla vähintään 1,3 m, jos niillä pyritään vaikuttamaan puheäänänen leviämiseen tilassa.

## KIITOKSET

Tutkimus oli osa TOTI hanketta, jonka rahoittivat Tekes ja 15 yritystä. Erityisesti kiitos yrityksille, jotka toimittivat avotoimistolaboratorioon katon ja seinien absorptiomateriaalit, työpisteiden väliset sermit, kalusteet, peiteäänijärjestelmän sekä tuloilmanjakolaitteet.

## VIITTEET

[1] Danielsson, C.B., Bodin, L. Difference in satisfaction with office environment among employees in different office types, *Journal of Architectural and Planning Research* 26:3 (2009) 241-257.

[2] Haapakangas, A., Helenius, R., Keskinen, E., Hongisto, V. (2008). Perceived acoustic environment, work performance and well-being – survey results from Finnish offices, 9th International Congress on noise as a Public Health Problem (ICBEN), Mashantucket, Connecticut, USA, 2008, July 21-25.

[3] Jensen, K.L., Arens, E., Zagreus, L. Acoustical quality in office workstations as assessed by occupant surveys, *Proceedings of Indoor Air*, 10th international conference on indoor air quality and climate, Beijing, China, 2005, September 4-9, 2401-2405.

[4] Pejtersen, J., Allermann, L., Kristensen, T. S., Poulsen, O. M. Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices, *Indoor Air* 16 (2006) 392-401.

[5] Hongisto, V., Effect of sound masking on workers in an open office, *Acoustics'08*, Paris, France, 2008, June 29 - July 4, paper 1178.

[6] Keränen, J., Virjonen, P., Hongisto, V., Characterization of acoustics in open offices - four case studies, *Acoustics'08*, Paris, France, 2008, June 29 - July 4, paper 713.

[7] Hongisto, V., Haapakangas, A., Helenius, R., Keränen, J., Oliva, D., Acoustic satisfaction in an open-plan office before and after the renovation, *Euronoise 2012*, June 10-13, 2012, Prague.

[8] ISO 3382-3 Acoustics – measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2012.

[9] 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(2) (2009) 279-290.

[10] RIL-243-3-2008 Toimistot. Suomen Rakennusinsinöörien liitto ry, 2008.