

ÄÄNEN TAAJUUSJAKAUMA JA ÄÄNIYMPÄRISTÖTYTYVÄISYYS

David Oliva¹, Valtteri Hongisto¹, Laura Rekola

¹ Työterveyslaitos, sisäympäristö laboratorio
Lemminkäisenkatu 14-18 B
20520 TURKU
david.oliva@ttl.fi

Tiivistelmä

Tavoitteena oli selvittää taustamelun taajuusjakauman vaikutus ääniympäristötyytyväisyyteen toimistotyön aikana. Sen lisäksi selvitettiin, kuinka hyvin 15 erilaista objektiivista mittalukua ennustavat tyytyväisyyttä. Laboratoriokokeessa 23 koehenkilöä arvioi äänekkyyttä, häiritsevyyttä, miellyttävyyttä ja kolme muuta subjektiivista mittaa, yhdestätoista spektrimuodoiltaan erilaisesta äänestä. Kaikki äänet esiteltiin tasolla 42 dB $L_{A,eq,50-5000Hz}$. Yllättäen koehenkilöt olivat tyytyväisimpiä ääniin, joissa painotus oli matalilla taajuuksilla. Viisi luokitusmenetelmää, mm. puheenhäirintätaso SIL ja äänekkyyys $L_{N,ANSI}$, ennustivat hyvin subjektiivista arviota. Tuloksia voidaan hyödyntää mm. tuotteiden äänenlaadun kehittämisessä. Tutkimus on julkaistu Journal of the Acoustical Society of America-lehdessä 2015.

1 TAVOITE

Koetun äänekkyyden ja äänitason välistä suhdetta on tutkittu paljon ja taajuusjakauman vaikutusta äänekkyyteen on selvitetty useiden kuuntelukokeiden avulla. Kirjallisuudesta ei kuitenkaan löydy juurikaan tutkimuksia siitä, minkälaisiin laajakaistaisiin ääniin ollaan tyytyväisiä toimistotyön aikana. Tavoitteena oli selvittää laajakaistaisen kohinan taajuusjakauman vaikutus ääniympäristötyytyväisyyteen. Sen lisäksi selvitettiin, kuinka hyvin 15 erilaista objektiivista mittalukua ennustavat tyytyväisyyttä ääniin.

2 MENETELMÄT

Kaksikymmentäkolme koehenkilöä (15 naista, 9 miestä, keski-ikä 40 vuotta) arvioivat laboratoriokokeessa äänekkyyttä, häiritsevyyttä, miellyttävyyttä ja kolme muuta subjektiivista mittaa, yhdestätoista äänestä, jotka olivat spektrimuodoiltaan erilaiset. Kokeessa käytetyt kuusi subjektiivista mittaria esitetään Taulukossa 1. Mittarit sisälsivät positiivisia asenteita (plea, habi, work) ja negatiivisia asenteita (loud, dist, conc). Molempia asenteita tiedusteltiin, koska halusimme rakentaa vahvan summamuuttujan analyysejä varten.

Koeääni oli riippumaton muuttuja (Kuva 1). Kaikki yksitoista ääntä pohjautuivat vaaleanpunaiseen satunnaiskohinaan. Äänitaso kuuntelupisteessä oli 42 dB $L_{A,eq}$. Äänet esitettiin taajuusalueella 50 – 10000 Hz (.wav, 44.1 kHz, Adobe Audition 3). Taulukossa 2 on esitetty mittaluvut ja niiden arvot 11 koeäänelle.

Laboratorihuone (6.7 x 4.6 x 2.7 m) sijaitsi Työterveyslaitoksen tiloissa Turussa. Koehenkilö istui keskellä huonetta. Taustaäänitaso oli 24 dB $L_{A,eq}$.

Jokaista ääntä soitettiin ensin 90 sekunnin ajan. Tämän jälkeen ääni jatkoi soimista taustalla ja näytölle ilmestyi kuusi kysymystä äänestä, Taulukko 1. Soittolista oli satunnainen.

Koe kesti 30 - 60 minuuttia ja oli kolmevaiheinen; Kuulotutkimus, harjoitus ja koe. Kokeen suoritti yksi koehenkilö kerrallaan. Koehenkilöille kerrottiin, että tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten erilaiset ilmavaihtoäänet koetaan. Heitä pyydettiin kuvittelemaan olevansa koko päivän ajan toimistossa, jossa vastaavaa ääntä kuuluisi ilmavaihdon järjestelmästä.

Koetta varten ohjelmoitiin ohjelma (MS Visual Basic 6), jolla koeäänten soittaminen ja kysely toteutettiin. Äänet soitettiin kaiuttimilla. Tietokone oli kytketty äänikortille (Fireface RME 400), jolla ohjattiin neljää aktiivikaiutinta (Genelec 8010) 150 ja 50 cm korkeudella, sekä passiivisubwooferin (JayHo) vahvistinta (B&K 2716C). Äänisignaali lähetettiin jakofilterille (Super-X Pro 2/3-way crossover CX2310) ennen kun signaali lähti kaiuttimille ja subwoofer-vahvistimelle. Koeäänet säädettiin koehenkilön pään alueella haluttuun spektriin ja tasoon mittaamalla kuuden mikrofoni pisteen keskiarvo.

Äänen arviointi tapahtui klikkaamalla hiirellä kysymyksen alla olevan janan päälle. Jokainen jana oli jaettu viidellä poikkiviivalla neljään osaan. Jokaisen poikkiviivan päällä oli sanallinen kuvaus arvioinnin helpottamiseksi, esim. ”ei lainkaan”, ”vain hieman”, ”jossain määrin”, ”selvästi” ja ”erittäin”.

Subjektiiiviset mittarit korreloivat vahvasti keskenään. Sen takia summamuuttuja *akustinen tyytyväisyys*, *AT*, määrättiin päämuuttujaksi. Tästä mittaluvusta laskettiin Cronbachin alfa kaikille 11 äänelle. Arvot olivat hyvin korkeat, 0.89 ja 0.95 välillä.

$$AT = \frac{1}{6}[plea + habi + work + (100 - loud) + (100 - dist) + (100 - conc)] \quad (1)$$

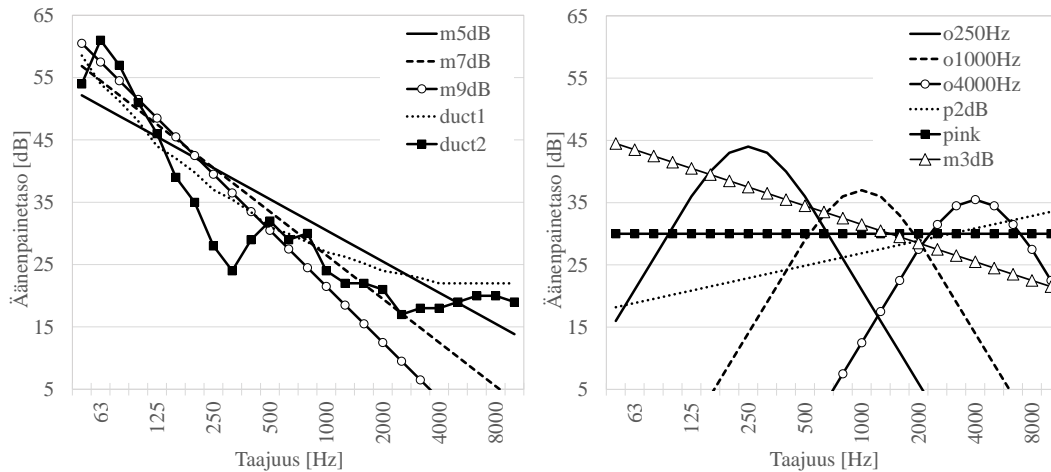
Koe perustui toistettujen mittausten asetelmaan. Riippumaton muuttuja oli ääni (Kuva 1). Riippuvina muuttujina olivat kuusi subjektiivista muuttujaa sekä summamuuttuja *akustinen tyytyväisyys*, *AT*.

Tilastoanalyseissä käytettiin Microsoft Excel ja SPSS Statistics ohjelmia. Ei-parametrisella Friedmanin testillä selvitettiin, oliko ero äänien välillä merkitsevä. Tämän jälkeen tehtiin parivertailu ei-parametrisella Wilcoxonin signed rank -testillä. Parivertailu tehtiin kaikille 55 äänikombinaatioille. Benjamini-Hochberg korjaus tehtiin p-arvoille väärrien päätelmien välttämiseksi. Kahden äänen välinen akustisen viihtyvyyden ero oli merkitsevä, jos $p < 0.05$.

Taulukko 1: Subjektiiiviset mittarit.

Muuttuja	Kysymys
<i>loud</i> *	Kuinka äänekäs ääni on?
<i>plea</i>	Kuinka miellyttävä ääni on?
<i>dist</i> *	Kuinka häiritsevä ääni on?
<i>habi</i>	Kuinka helppo ääneen on tottua?
<i>conc</i> *	Kuinka paljon ääni häiritsee keskittymistä työhön?
<i>work</i>	Voisin työskennellä tehokkaasti tällaisen äänen aikana pitkiäkin aikoja?

*) negatiivisia asenteita



Kuva 1: Lineariset tavoiteäänepainetasot koeäänille. Mitatut arvot poikkesivat tavoitteesta alle 1.5 dB jokaisella 1/3-oktaavikaistalla

Taulukko 2: Tutkittujen mittalukujen arvot 11 koeäänelle.

	L_L [dB]	L_A [dB]	$L_{N,ANSI}$ [phon]	$L_{N,ISO}$ [phon]	SIL [dB]	STH	$STI2$	L_{Lo-Hi} [dB]	NC	RNC	RC	QAI	NR	NCB	PNC
<i>p2dB</i>	52.8	42.0	65.6	57.3	33.0	0.49	0.31	-13.2	40	47	32	20.6	44	33	32
<i>pink</i>	54.4	42.1	66.9	57.2	35.3	0.50	0.24	-6.6	38	44	35	14.1	41	35	35
<i>m3dB</i>	54.9	41.9	66.1	55.3	34.8	0.53	0.18	-1.2	36	37	36	10.8	37	35	36
<i>m5dB</i>	57.9	42.4	64.8	56.2	33.0	0.56	0.21	3.8	36	34	35	4.0	37	33	35
<i>m7dB</i>	60.5	41.5	60.9	54.5	28.1	0.61	0.33	8.2	36	34	32	5.5	36	28	32
<i>m9dB</i>	64.0	42.2	58.1	56.1	23.8	0.61	0.4	14.7	39	38	27	13.5	38	24	27
<i>o250Hz</i>	55.3	42.0	57.2	51.9	24.5	0.65	0.44	14.4	38	36	28	11.2	39	25	28
<i>o1000Hz</i>	53.1	42.4	60.8	52.4	32.7	0.61	0.36	-9.9	40	38	36	13.9	41	33	37
<i>o4000Hz</i>	52.9	42.0	62.3	56.3	27.7	0.51	0.38	-19.1	42	45	24	28.7	44	28	24
<i>duct1</i>	61.2	40.8	63.9	56.7	31.4	0.56	0.22	3.5	35	37	33	2.5	34	31	33
<i>duct2</i>	68.0	41.9	60.9	59.7	28.7	0.58	0.29	7.7	40	39	30	8.9	36	29	30

3 TULOKSET

Friedmanin testi osoitti merkitsevän eron äänien välillä *akustisessa tyytyväisyydessä* kaikilla kuudella mittarilla ($p < 0.000$, päävaikutus, F_R arvot 51 - 172). Kuvassa 3 esitetään keskiarvo ja keskihajonta summamuuttujasta *akustinen tyytyväisyys* kullekin äänelle. Parivertailun tulosten perusteella voitiin nimetä kolme parhaimmaksi luokiteltua ääntä (ryhmä A) ja vastaavasti neljä huonoimmaksi luokiteltua ääntä (ryhmä B). Ryhmän A äänet eivät eronneet tilastollisesti toisistaan. Samaten ryhmän B äänet eivät eronneet tilastollisesti toisistaan.

Melun mittaluvut poikkesivat toisistaan merkittävästi sen suhteen, miten ne pystyivät selittämään akustista tyytyväisyyttä (Kuva 3).

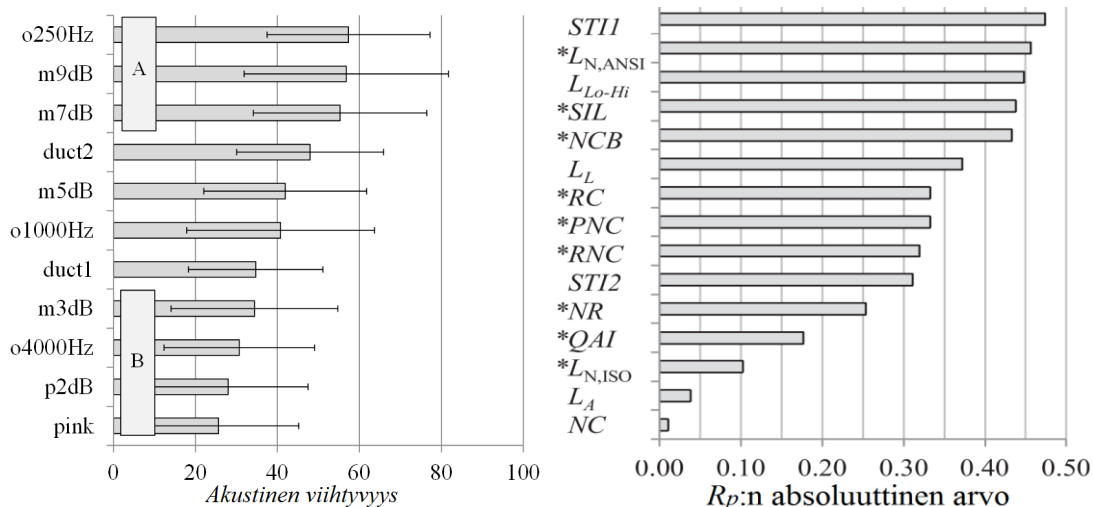
4 POHDINTA

Matalille taajuuksille painottuneet äänet koettiin miellyttävimmiksi. Parhaimmiksi luokiteltujen äänien spektrit olivat kaltevia siten, että äänenpainetaso pienenee 7 ja 9 dB oktaavin kaksinkertaistuesssa. Keski- ja korkeataajuuksille painottuneet äänet koettiin epämiellyttävimpinä. Tulos on jonkinasteisessa ristiriidassa yleisten käsitysten kanssa, joiden mukaan pientaajuinen melu olisi erityisen häiritsevää [1].

Suoralla arvioinnilla voidaan saada erittäin merkitseviä eroja äänen häiritsevyyden välille, vaikka niiden äänitasot ovat samoja. Menetelmää tullaan soveltamaan jatkotutkimuksissa, joissa pyritään selvittämään tarkemmin melun häiritsevyyttä sääteleviä tekijöitä.

Viisi mittalukua, mm. puheenhäirintätaso SIL ja äänekkyyys $L_{N,ANSI}$, ennustivat hyvin subjektiivista arviota, kun taas esimerkiksi $L_{N,ISO}$, ja NC taas eivät. Hyvin tunnetut mittaluvut, kuten QAI, NR, RNC ja PNC, eivät korreloineet hyvin *akustisen tyytyväisyyden* kanssa. L_A ei korreloinut hyvin koska kaikilla äänillä oli sama 42 dB arvo. Tämä tulos osoittaa epäsuorasti sen, että A-äänitaso ei ole paras mahdollinen mittaluku ennustamaan tyytyväisyyttä laajakaistaisiin ääniin.

Tuloksia voidaan hyödyntää tuoteäänienlaadun kehittämisessä. Esimerkiksi avotoimistojen puheenpeittoääninä on yleensä käytetty kaltevuudeltaan -5 dB/oktaavi olevia kohinaspektrejä. Tyytyväisyyden lisäämiseksi voitaisiin harkita kaltevuutta -7dB/oktaavi. Tällainen ääni peittää puhetta hieman heikommin mutta ääntä voidaan vastaavasti soittaa lujempaa, jolloin puheenpeittokyky voi jopa parantua ja peittoäänien laatuun liittyvät valitukset vähentyä.



Kuva 3: Vasen) Keskiarvo ja keskihajonta summamuuttujasta *akustinen tyytyväisyys*. Oikea) Pearsonin korrelaatiokertoimen absoluuttiset arvot summamuuttujan *akustinen tyytyväisyys* ja 15 mittaluvun välillä. $R_p > 0.25$ merkitsee tilastollisesti erittäin merkitsevää korrelaatiota ($p < 0.001$). * R_p :n arvo oli negatiivinen.

VIITTEET

[1] Hongisto V., Oliva D., Rekola L. Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises – Implications for speech masking design. *J. Acoust. Soc. Am.* 137 (3) 2015, 1344-1355.