

## H<sub>2</sub>O

Valtteri Hongisto<sup>1,2</sup>, Annu Haapakangas<sup>1,2</sup>, David Oliva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Työterveyslaitos

<sup>2</sup> Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä  
Lemminkäisenkatu 14-18 B  
20520 Turku  
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

### TIIVISTELMÄ

Laboratoriotutkimusten perusteella veden ääni olisi satunnaiskohinaa miellyttävämpi puheenpeittoääni toimistotyötä tehtäessä. Tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset veden ääntä sisältävät peiteäänit koetaan kohinaan nähden oikeassa työpaikassa. Tutkimus toteutettiin avotoimistossa, jossa oli käytetty satunnaiskohinaa peiteääninä jo 2 vuotta. Kokeessa oli 6 äänitilannetta: alkuperäinen kohina (P1a), neljä veden ääntä (N1 - N4) ja alkuperäinen kohina (P1b). Kukin äänitilanne kesti 3 viikkoa. Sen päätteeksi pyydettiin työntekijöitä täyttämään kysely. Peiteäänien taso oli kaikissa tilanteissa sama, noin 44 dB  $L_{Aeq}$ . Veden ääntä sisältäneet äänitilanteet näyttäytyivät lähes kaikilla mittareilla epäedullisempina kuin kohinaa sisältävä äänitilanne. Tutkimusasetelman puutteista johtuen ei voida kuitenkaan yleistää, että veden ääniä ei tulisi käyttää peiteääninä. Tutkimus on julkaistu kansainvälisessä vertaisarvioidussa lehdessä.

### TAUSTA JA TAVOITE

Haapakangas ym. [1] osoittivat vastikään julkaistussa laajassa kenttätutkimuksessa, että melun häiritsevyys on suurempi niissä avotoimistoissa, joissa häiritsevyysetäisyys on suuri. Häiritsevyysetäisyys on avotoimistojen huoneakustiikan mittausten menetelmän määrittelevän standardin ISO 3382-3 keskeisin mittaluku. Se tarkoittaa etäisyyttä puhujasta, jossa puheäänien puheensirtoindeksi (*STI*, *Speech Transmission Index*) arvo putoaa alle arvon 0.50 [2]. Kun *STI* on alle 0.50, on havaittu, että puheäänien haitat työtehokkuudelle alkavat vähentyä. Kun *STI* on alle 0.20, työteho ei enää häiriinny puheesta [3].

Häiritsevyysetäisyyttä voidaan pienentää huoneakustisella suunnittelulla: puheäänien tasoa pienennetään (akustiikkalevyt, seinäkkeet) tai taustamelutasoa korotetaan (puheenpeittoääni). Keinojen vaikutukset on vahvistettu useissa laboratoriotutkimuksissa [2].

Puheenpeittoääni tuotetaan yleensä kaiuttimilla, jotka sijaitsevat katossa tiheydellä noin 1 kpl per 10 m<sup>2</sup>. Äänen tulisi olla spektriltään puheen kaltaista, jotta se peittäisi tehokkaasti puhetta ja olisi riittävän miellyttävää [4]. Peiteäänien tulisi olla samoista syistä tasolla 40 - 45 dB  $L_{Aeq}$ . Yleisimmin käytetty puheenpeittoääni on pseudosatunnainen kohina taajuusalueella 100 - 5000 Hz. Spektri on kalteva (-5 dB per oktaavin tuplaus, REF kuvassa 1).

Haapakangas ym. [5] havaitsivat laboratoriotutkimuksessaan, että veden solinalla saavutettiin parempi tyytyväisyys ja työtehokkuus kuin edellä kuvatulla kohinalla, musiikilla tai ilmanvaihdon äänellä. Löydöksen tueksi kaivattiin kenttätutkimusta.

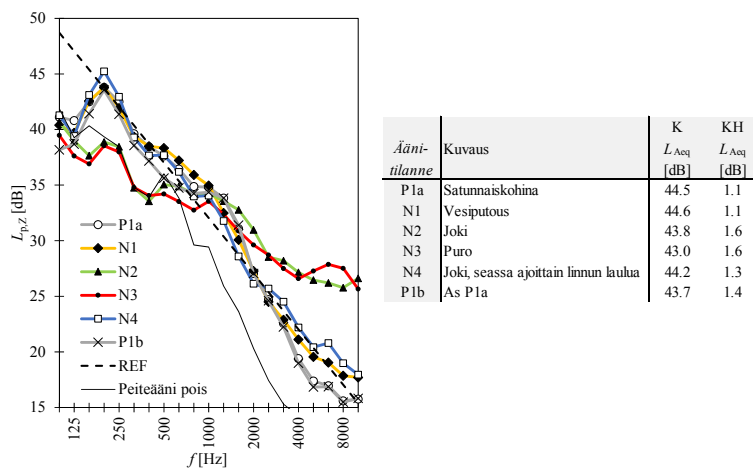
Tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset veden ääntä sisältävät peiteäänit koetaan kohinaan nähden todellisessa avotoimistossa.

## MATERIAALIT JA MENETELMÄT

**Toimisto.** Tutkimus toteutettiin syksyllä 2014 avotoimistossa Englannissa. Toimisto oli ollut käytössä 2 vuotta. Tänä aikana siellä oli käytetty kohinaan perustuvaa peiteääntä (P1a). Avotoimisto (19x50 m 930 m<sup>2</sup>) käsitti 54 työpistettä ja erityyppisiä osastoja (hallinto, IT, laatu, myynti, markkinointi). Väliseinillä oli erotettu vain suuret neuvotteluhuoneet. Avotoimisto muistutti monitilatoimistoa, koska työpisteiden lähellä oli vapaita vetäytymistiloja (työpistemodulit, sohvoryhmät, neuvottelumoduulit, taukopaikkoja).

**Huoneakustiikka.** Alaslaskettu katto 2.4 m korkeudella oli 90 % peitetty luokan A akustiikkalevyllä (ISO 11654). Lattialla oli tekstiilimatto. Ikkunattomat seinät olivat suurelta osin vapaita säilytystiloista ja peitetty kuvitetuin akustiikkalevyin lattiasta kattoon. Kolmiapilaisten työpisteiden väliset seinäkkeet olivat matalia, 1.25 m. Peiteään taso oli 43...47 dB  $L_{Aeq}$  riippuen paikasta. Huoneakustisten mittausten (ISO 3382-3) perusteella häiritsevyysetäisyys oli peiteään ja huoneabsorption yhteisvaikutuksen ansiosta erittäin lyhyt ( $r_D=5$  m), leviämismuunnosaste kohtalainen ( $D_{2S}=6.5$  dB) ja puheään taso 4 m päässä melko alhainen ( $L_{AS4m}=47$  dB), koska avotila oli syvärunkoinen (vaakaheijastuksia vähän). Lähtötilanteen huoneakustiset olosuhteet olivat objektiivisesti tarkasteltuna erittäin hyvät verrattuna suomalaisiin avotoimistoihin keskimäärin [2].

**Äänitilanteet.** Tutkimuksen riippumaton muuttuja on *äänitilanne*. Tutkittavana oli kuusi *äänitilannetta* (Kuva 1). Toimistossa tutkitut 4 veden ääntä (N1-N4) valittiin 16 vesiään joukosta internet-kuuntelukokeella niin, että toimistoon saatiin miellyttäviä mutta mahdollisimman erilaisia ääniä. Kaikki peiteään toistettiin toimistossa valmiiksi olleella kaiutinverkostolla (Lencore), jolla alkuperäistä peiteääntä (*äänitilanteet* P1a ja P1b) oli soitettu 2 vuotta. Alakaton ja huoneen vaikutus vesiään tason spektriin kompensoitiin terssi-kaistoittain (Adobe Audition 3.0), jotta saavutettiin haluttu spektri työpisteissä.



**Kuva 1.** Peiteään kuvaukset *äänitilanteittain*. K = Keskiarvo. KH = Keskihajonta. Arvot perustuvat 15 s mittauksiin 54 työpisteessä.  $L_{p,z}$  on painottoman äänenpainetaso.

**Tutkimusasetelma.** Kokeellinen tutkimus käsitti 6 *äänitilannetta*. Poikkeuksena laboratoriotutkimuksiin on, että koetilanteilla oli ennalta määritetty ja sama järjestys kaikkien kokeeseen osallistuneiden näkökulmasta (Kuvan 1 järjestys). Äänitilanteiden järjestystä ei voitu satunnaistaa koehenkilöiden kesken ymmärrettävistä syistä. Jokaiselle vesiäänitilanteelle altistuttiin yhtä pitkä jakso: 3 viikkoa. Työntekijöitä pyydettiin vastaamaan kyselyyn verkossa jakson jälkimmäisellä puoliskolla. Työntekijöille informoitiin tutkimuksesta ja sen tarkoituksesta mutta heille ei annettu mahdollisuutta osallistua kokeen tai äänten suunnitteluun.

**Vastaajat ja tilastollinen analyysi.** Kyselyyn vastasi kuutena eri kertana 47, 37, 33, 30, 28 and 28 työntekijää. Heistä 18 vastasi kaikkiin kyselyihin. Tilastollinen analyysi (ANOVA + parivertailut) tehtiin ainoastaan tämän ydinryhmän osalta (toistettujen mitausten asetelma), jolloin jokainen vastaaja toimi itsensä verrokkina. Analyysi tehtiin *äänitilanteiden* P1a - N4 kesken ( $p_1$ ). Tämän lisäksi tehtiin analyysi peiteääneltään samanaisten *äänitilanteiden* P1a ja P1b välillä ( $p_2$ ).

## TULOKSET

Tyytyväisyys ääniympäristöön pieneni joka kerta, kun uusi veden ääntä sisältävä *äänitilanne* esitettiin. *Äänitilanne* P1a koettiin yhtä hyväksi kuin P1b (Kuva 2a).

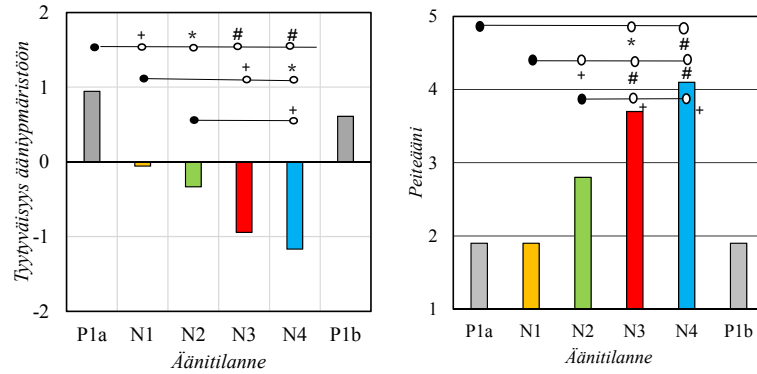
Eri ympäristötekijöistä koettu häiritsevyys työnteolle pysyi pääsääntöisesti samana eri *äänitilanteissa*. Poikkeuksena oli melusta koettu häiritsevyys ja puheyksityisyyden puute, jotka kasvoivat veden *äänitilanteiden* N1 - N4 edetessä (Taulukko 1). On huomattavaa, että melun häiritsevyys ei palannut alkuperäisen *äänitilanteen* P1a tasoon *äänitilanteessa* P1b.

Erilaisten toimiston äänilajien aiheuttama häiritsevyys työnteolle oli suurempi veden ääntä sisältävissä *äänitilanteissa* N1 - N4 (Taulukko 2). *Äänitilanteiden* P1a ja P1b kesken ei ollut merkitseviä eroja. Taulukosta 2 on nostettu keskeisin äänilaji (peiteääni) kuvaan 2b.

Työtyytyväisyys putosi alkuperäisestä tasostaan (P1a) toisen *äänitilanteen* (N1) kohdalla muttei palautunut alkuperäiseen tasoonsa kokeen lopussa (P1b). Stressi oli samalla tasolla kaikissa *äänitilanteissa* mutta koetut vaikutusmahdollisuudet olivat kokeen alussa (P1a) merkitsevästi huonommat kuin kokeen alkaessa (P1a).

Peiteäänien äänenlaatukokemukset (Taulukko 3) osoittivat siihen suuntaan, että *äänitilanteet* P1a ja P1b koettiin identtisinä. *Äänitilanne* N4 koettiin aina epäedullisempänä kuin P1a. Parhaimmaksi veden ääntä sisältävistä *äänitilanteista* nousi N1.

Toimistomelun koettu haittavaikutus työtehokkuuteen erilaisissa tehtävissä oli pääsääntöisesti suurempi *äänitilanteissa* N1 - N4. *Äänitilanteiden* P1a ja P1b välillä ei ollut eroja.



**Kuva 2.** Tyytyväisyys ääninympäristöön kokonaisuutena. Asteikko: -2 Erittäin tyytymättömän; +2 Erittäin tyytyväinen. b) Peiteään aiheuttama häiritsevyys työntekoon. Asteikko: 1 Ei lainkaan, 5 Erittäin paljon. Tilastollisen merkitsevyyden tasot: +  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.01$ , #  $p < 0.001$ .

**Taulukko 1.** Eri työympäristötekijöiden aiheuttama häiritsevyys työnteolle. Keskiarvot. Asteikko: Ei lainkaan, 5 Erittäin paljon. Sarake  $p_1$  kuvaa päävaikutuksen tilastollista merkitsevyydestä äänitilanteiden P1a - N4 kesken. Sarake  $p_2$  kuvaa äänitilanteiden P1a ja P1b välisen eron tilastollista merkitsevyyttä. n.s. = ei tilastollisesti merkitsevää eroa.

Ympäristötekijä	Äänitilanne						$p_1$	$p_2$
	P1a	N1	N2	N3	N4	P1b		
Veto	1.9	1.4	1.7	2.1	1.8	1.7	n.s.	n.s.
Kylmä	2.4	1.7	1.8	2.3	2.1	1.8	n.s.	0.029
Kuuma	2.4	2.3	2.3	2.4	2.0	1.9	n.s.	n.s.
Tunkkainen ilma	1.5	1.5	1.6	1.9	1.5	1.6	n.s.	n.s.
Melu	2.1	2.9	3.0	3.7	3.5	2.8	<0.001	<0.004
Puhekykyisyyden puute	2.1	2.7	3.0	3.3	3.0	2.6	0.018	n.s.
Valaistus	1.4	1.4	1.2	1.5	1.5	1.6	n.s.	n.s.
Häikäisy tai heijastukset	1.5	1.1	1.2	1.4	1.4	1.8	n.s.	n.s.
Pöly tai lika	1.4	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2	n.s.	n.s.
Hajut ja tuoksut	1.2	1.0	1.0	1.2	1.2	1.3	n.s.	n.s.
Epäjärjestys tilassa	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.5	n.s.	n.s.
Tilan ahtaus	1.0	1.1	1.1	1.4	1.3	1.5	n.s.	0.024

**Taulukko 2.** Toimiston eri äänilajien aiheuttama häiritsevyys työnteolle. Asteikot ja merkinnät kuten taulukossa 1.

Äänilaji	Äänitilanne						p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>
	P1a	N1	N2	N3	N4	P1b		
<i>Työpisteistä kuuluva puhe</i>	2.1	2.7	2.5	3.3	2.9	2.2	0.017	n.s.
<i>Yhteisistä tiloista kuuluva puhe</i>	1.5	2.2	2.1	2.9	2.8	1.7	0.002	n.s.
<i>Ilmanvaihto</i>	1.7	1.4	1.8	2.4	2	1.6	0.029	n.s.
<i>Peiteääni</i>	1.9	1.9	2.8	3.7	4.1	1.9	<0.001	n.s.
<i>Työhön liittyvät äänet</i>	1.4	2.1	2.2	2.4	2.5	1.6	0.024	n.s.
<i>Toimistolaitteet</i>	1.2	1.7	1.8	2.1	1.9	1.2	0.013	n.s.
<i>Puhelinten soittotään</i>	1.2	1.4	1.3	1.4	1.5	1.2	n.s.	n.s.

**Taulukko 3.** Kokemukset siitä, miten erilaiset äänenlaadun attribuutit kuvaavat peiteäänä. Keskiarvot. Asteikko: -3 Voimakkaasti eri mieltä, +3 Voimakkaasti samaa mieltä. Lihavointi tarkoittaa, että *äänitilanne* poikkeaa merkitsevästi *äänitilanteesta* P1a. Pieni arvo on toivottava, jos attribuutin perässä on tähti\*. Tähdettömien kohdalla on päinvastoin.

Attribuutti	Äänitilanne						p <sub>1</sub>	p <sub>2</sub>
	P1a	N1	N2	N3	N4	P1b		
<i>Helppo tottua</i>	1.4	0.8	<b>-0.2</b>	<b>-1.8</b>	<b>-2.2</b>	1.4	<0.001	n.s.
<i>Häiritsevä*</i>	-1.2	-1.1	-0.1	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	-1.5	<0.001	n.s.
<i>Miellyttävä</i>	-0.6	-0.7	-1.2	<b>-1.9</b>	<b>-2.3</b>	0.2	<0.001	n.s.
<i>Stressaava*</i>	-1.8	-1.2	-0.9	<b>0.1</b>	<b>0.8</b>	-1.7	<0.001	n.s.
<i>Luonnollinen</i>	-0.9	-0.7	-1.1	-1.8	<b>-2.3</b>	-0.5	0.012	n.s.
<i>Ärsyttävä*</i>	-1.9	<b>-0.9</b>	<b>0.1</b>	<b>1.0</b>	<b>2.3</b>	-1.3	<0.001	n.s.
<i>Väsyttävä*</i>	-1.9	<b>-1.0</b>	<b>-0.7</b>	<b>0.2</b>	<b>1.1</b>	-1.4	<0.001	n.s.
<i>Hyväksyttävä</i>	0.7	0.0	<b>-0.7</b>	<b>-1.8</b>	<b>-2.3</b>	1.2	<0.001	n.s.
<i>Hyödyllinen työnteon kannalta</i>	0.3	-0.2	<b>-1.2</b>	<b>-1.6</b>	<b>-2.4</b>	0.6	<0.001	n.s.

### POHDINTA

Tutkimus oli kunnianhimoinen ja ainutlaatuinen, koska siinä tutkittiin samalla A-äänitasolla erilaisten peiteäänien vaikutuksia. Veden ääntä sisältäneet äänitilanteet näyttivät lähes kaikilla mittareilla epäedullisempina kuin kohinaa sisältänyt äänitilanne. Havaintojen pohjalta ei tule kuitenkaan tehdä yleistystä, että veden ääniä ei tulisi käyttää peiteääninä, seuraavista syistä:

- Äänitilanteeseen P1a oli totuttu 2 vuotta, mikä voi vääristää vertailua muihin, joille altistuttiin vain 1½ - 3 viikkoa ennen kyselyyn vastaamista.
- Koe oli hyvin pitkä ja vastaajamäärä putosi rajusti kokeen edetessä.
- Työntekijät altistuivat äänitilanteille samassa järjestyksessä. Laboratoriotutkimuksissa altistusjärjestys satunnaistetaan järjestyksivaikutusten eliminoimiseksi. Tätä ei voida toteuttaa yhdellä työpaikalla. Jatkossa kannattaa harkita yksinkertaisempia kokeita kenttäolosuhteissa.

- Peiteäänijärjestelmä tuotti monosignaalia. Vesiäänien äänenlaatu ei ollut toimistossa yhtä hyvä, kuin stereona kuulokkeilla kuunneltuna ääniä valittaessa ja editoitaessa.
- Työntekijät eivät osallistuneet kokeen suunnitteluun. Koehenkilöt eivät koskaan saa suunnitella koetilanteita. Koska koeympäristönä on työpaikka, työntekijät kokevat koeympäristön enemmän tai vähemmän omakseen ja voivat kokea siellä tehtävien muutosten kuuluvan heille. Tyytyväisyys työympäristömuutoksiin on yleensä suurempi, kun henkilöstö on voinut vaikuttaa siihen ja saa, mitä toivoo [6]. On mahdollista, että tyytymättömyys veden ääniin ei johtunut pelkästään itse äänistä vaan siitä, että työntekijät kokivat kokeilun tarpeettomaksi. Tätä tukee se, että melun häiritsevyys oli verrattain alhainen *äänitilanteessa* P1a.
- Tutkimus tehtiin vain yhdessä toimistossa. Verrokkitoimistoa ei ollut.

Tutkimus on julkaistu Open Access -muodossa psykologian tieteenalan vertaisarvioidussa lehdessä [7].

## KIITOKSET

Tutkimuksen ja analyysit rahoittivat Plantronics Ltd. ja Työterveyslaitos. Raportoinnin ja jatkoanalyysit rahoitti Turku AMK.

## VIITTEET

- [1] Haapakangas, A., Hongisto, V., Eerola, M., Kuusisto, T. (2017). Distraction distance and disturbance by noise – An analysis of 21 open-plan offices. *The Journal of the Acoustical Society of America* 141(1), 127-136.
- [2] Virjonen, P., Keränen, J., Hongisto, V. (2009). Determination of acoustical conditions in open-plan offices - Proposal for new measurement method and target values. *Acta Acustica united with Acustica* 95 (2) 279-290.
- [3] Hongisto, V. (2005). A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. *Indoor Air* 15, 458-468.
- [4] Hongisto, V., Oliva, D., Rekola, L. (2015). Subjective and objective rating of spectrally different pseudorandom noises – Implications for speech masking design. *The Journal of the Acoustical Society of America* 137(3) 1344-1355.
- [5] Haapakangas, A., Kankkunen, E., Hongisto, V., Virjonen, P., Oliva, D., Keskinen, E. (2011). Effects of five speech masking sounds on performance and acoustic satisfaction - implications for open-plan offices. *Acta Acustica united with Acustica* 97(4) 641-655.
- [6] Hongisto, V., Haapakangas, A., Varjo, J., Helenius, R., & Koskela, H. (2016). Refurbishment of an open-plan office – environmental and job satisfaction. *Journal of Environmental Psychology* 45, 176-191.
- [7] Hongisto, V., Varjo, J., Oliva, D., Haapakangas, A., Benway, E. (2017). Perception of water-based masking sounds – Long-term experiment in an open-plan office. *Frontiers in Psychology*, 8 1117 (doi: 10.3389/fpsyg.2017.01177).