

AVOTOIMISTOJEN ÄÄNIOLOSUHTEIDEN VAIKUTUKSET KOGNITIIVISEEN SUORIUTUMISEEN JA KOETTUUN HÄIRITSEVYYTEEN

Annu Haapakangas

Turun ammattikorkeakoulu
Sepänkatu 1
20700 TURKU
annu.haapakangas@turkuamk.fi

Tiivistelmä

Tämä esitelmä perustuu kesäkuussa 2017 tarkastetun väitöskirjan keskeisiin tuloksiin. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää melun, erityisesti puheäänien, vaikutuksia kognitiiviseen suoriutumiseen ja koettuun häiritsevyyteen avotoimistoissa sekä tutkia toimistosuunnittelun keinoja ongelmien vähentämiseksi. Tutkimus sisälsi kolme kokeellista laboratoriotutkimusta ja kaksi kenttätutkimusta. Tulosten perusteella puheäänien erottavuus selittää pitkälti koettuja meluongelmia avotoimistoissa. Akustisia ongelmia voidaan vähentää kokonaisvaltaisella huoneakustisella suunnittelulla, johon kuuluu vaimennusmateriaalien ja sermien lisäksi peiteäänien käyttö. Tulokset tukevat ISO 3382-3 standardin, erityisesti häiritsevyysetäisyyden, käyttöä toimistojen akustisten olosuhteiden arvioinnissa. Akustisen suunnittelun hyödyt ovat kuitenkin rajallisia lyhyillä etäisyyksillä. Avotoimistoissa tarvitaan siksi myös hiljaisia vetäytymistiloja.

1 JOHDANTO

Avotoimistojen meluongelmista on olemassa runsaasti tutkimustietoa useiden vuosikymmenien ajalta. Aiempien tutkimusten mukaan akustiset ongelmat liittyvät suurelta osin häiritseviksi koettuihin puheääniin [1,2]. Puheäänien häiritsevyyttä ei kuitenkaan selitä puheen äänitaso, vaan puheen erottavuus. Mitä korkeampi puheen erottavuus on, sitä häiritsevämmäksi puhe koetaan [3] ja sitä enemmän puhe häiritsee kognitiivisia eli tiedonkäsittelyyn liittyviä toimintoja [4].

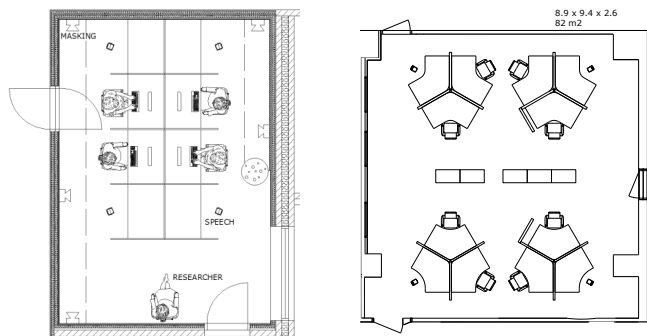
Hongisto [4] on esittänyt puheen erottavuuden ja suoriutumisen suhteesta mallin, jossa puheen erottavuutta kuvataan puheensirtoindeksillä (Speech Transmission Index, STI). STI on objektiivinen mittaluku, joka vaihtelee välillä 0-1 (0: puhe ei erotu lainkaan, 1: erottuu täydellisesti). Hongiston [4] mallissa oletetaan, että puheen negatiivinen vaikutus kognitiiviseen suoriutumiseen vähenee, kun STI on alle 0.50. Tämä oletus on omaksuttu myös avotoimistojen huoneakustista mittaamista koskevassa ISO 3382-3 –standardissa [5]. Standardissa puheen häiritsevyysetäisyys, r_D (m), määritellään etäisyytenä puhujasta, jolla puheen erottavuus alittaa STI-arvon 0.50. Standardi sisältää lisäksi kolme muuta mittalukua (puheen leviämismuunnosaste, puheen A-äänitaso 4 m etäisyydellä ja taustamelun A-äänitaso).

Puheen erotettavuuden yhteyttä kognitiiviseen suoriutumiseen ja ääniympäristön subjektiiviseen kokemiseen ei kuitenkaan ole juurikaan tutkittu. STI:ä oli käytetty puheen erotettavuuden määrittämiseen ainoastaan yhdessä kognitiivista suoriutumista koskevassa tutkimuksessa ennen tämän väitöstutkimuksen alkua [6]. Myös kenttätutkimus huoneakustisten olosuhteiden ja koetun melun yhteydestä on ollut hyvin vähäistä ja perustunut yksittäisiin tapaustutkimuksiin, esim. [7].

Tässä väitöstutkimuksessa selvitettiin psykologisia ja huoneakustisia tutkimusmenetelmiä yhdistäen puheen erotettavuuden merkitystä puheen negatiivisten vaikutusten selittäjänä sekä tutkittiin toimistosuunnittelun keinoja ongelmien vähentämiseksi. Tutkimukseen sisältyi kolme laboratoriotutkimusta (Tutkimukset I-III) ja kaksi kenttätutkimusta (Tutkimukset IV-V).

2 MENETELMÄT

Laboratoriotutkimukset toteutettiin kahdessa toimistolaboratoriossa Työterveyslaitoksen Turun toimipisteessä (Kuva 1). Tutkimukset I ja II toteutettiin pienemmässä toimistolaboratoriossa (30 m²), jossa oli kahdeksan työpistettä. Tutkimuksessa III tilassa (82 m²) oli 12 työpistettä. Kaikissa kokeissa neljä nurkkatyöpistettä oli varattu kaiuttimille, joista tuotettiin puheääniä. Toteutuksella pyrittiin mallintamaan tilannetta, jossa työntekijät kuulevat puhelinkeskusteluja eri työpisteistä. Vain yksi kaiutin (”puhuja”) oli aktiivinen kerrallaan ja puhepätkien välissä oli lyhyt tauko. Puhemateriaali leikattiin Yleisradion keskusteluohjelmista. Peiteääni tuotettiin alakattoon sijoitetuista kaiuttimista.



Kuva 1. Tutkimuksissa I, II (vasemmalla) ja III (oikealla) käytetyt avotoimistolaboratoriot.

Tutkimuksissa I ja II verrattiin kolmea STI-arvoa (0.10, 0.35 ja 0.65 Tutkimuksessa I ja 0.00, 0.35 ja 0.62 Tutkimuksessa II). STI-tilanteet toteutettiin manipuloimalla puheen ja taustääänen suhdetta siten, että kokonaisäänitaso oli kaikissa tilanteissa noin 48 dBA. Tutkimuksissa hyödynnettiin toistettujen mittausten asetelmaa eli jokainen koehenkilö kävi läpi kaikki tilanteet joko vastabalansoidussa (Tutkimus I) tai pseudo-satunnaistetussa (Tutkimus II) järjestyksessä. Koehenkilöitä testattiin 37 Tutkimuksessa I ja 54 Tutkimuksessa II.

Tutkimuksessa III ääniolosuhteet toteutettiin realistisella tavalla muuntelemalla sermien määrää ja korkeutta, vaimennusmateriaaleja sekä peiteäänien tasoa. Puheen äänitaso oli 53

dB metrin etäisyydellä. Tutkimuksessa verrattiin neljää tilannetta, jotka on kuvattu taulukossa 1. Puheen STI-arvo vaihteli tilanteiden sisällä, koska kaiuttimet sijaitsivat 2-6 metrin etäisyydellä kustakin koehenkilötyöpisteestä (Kuva 1). Tutkimus toteutettiin ryhmien välisellä asetelmalla eli eri koehenkilöt osallistuivat eri koetilanteisiin. Koehenkilöitä oli 98 (24-25 per tilanne).

Taulukko 1. Koetilanteet Tutkimuksessa III. STI-arvot kertovat vaihtelun lähimmässä (2 m) ja kauimmaisessa (6 m) työpisteessä mitattujen arvojen välillä.

Äänitilanne	Äänitilanteen toteutus, mitatut STI-arvot
1 - Ei vaimennusta eikä peiteääntä	Kovat pinnat, matalat sermit (1.3 m), alhainen taustäänitaso (37 dB), STI 0.60-0.70
2 - Vaimennus	Absorboivat pinnat, korkeat sermit (1.7 m), lisäsermit käytössä, alhainen taustäänitaso (33 dB), STI 0.42-0.80
3 - Vaimennus ja peiteääni	Absorboivat pinnat, korkeat sermit (1.7 m), lisäsermit käytössä, peiteääni käytössä (45 dB), STI 0.11-0.51
4 - Hiljaisuus	Ei puheääniä, taustäänitaso 35 dB, STI 0.00

Jokaisessa tutkimuksessa käytettiin sekä kognitiivisia tehtäviä että akustista kokemusta mittaavia kyselyitä. Kognitiiviset tehtävät mittasivat erilaisia tiedonkäsittelylle keskeisiä toimintoja, kuten lyhyt- ja pitkäkestoista muistia sekä luetun tekstin prosessointia. Kyselyillä selvitettiin mm. ääniympäristön häiritsevyyttä ja sen koettua vaikutusta suoriutumiseen. Lisäksi selvitettiin eri äänilähteiden häiritsevyyttä (puheäänet, taustahumina, toisten läsnäolosta aiheutuneet äänet).

Tutkimuksessa IV yhdistettiin 21 avotoimistossa (883 vastaajaa) vuosina 2002-2014 tehtyjen mittausten ja kyselyjen tulokset. Tutkimuksessa selvitettiin häiritsevyysetäisyyden ja muiden ISO 3382-3 standardin mittalukujen yhteyttä häiritsevän melun esiintyvyyteen.

Tutkimuksessa V verrattiin kahta organisaatiota, jotka muuttivat yhden hengen huoneista monitilatoimistoon. Monitilatoimistoissa säilytettiin henkilökohtaiset työpisteet, mutta toimistot erosivat hiljaisten vetäytymistilojen määrän ja niiden saavutettavuuden suhteen. Tutkimuksessa selvitettiin hiljaisten työtilojen roolia akustisen tyytyväisyyden ja työhyvinvoinnin selittäjänä.

Tulokset analysoitiin erilaisia tilastollisia menetelmiä käyttäen.

3 KESKEISET TULOKSET

Tutkimus I: STI taustapuheen negatiivisten vaikutusten selittäjänä

Tutkimuksessa selvitettiin, selittääkö STI taustapuheen vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen ja ääniolosuhteiden subjektiiviseen häiritsevyyteen. Puheenerotettavuuden (STI) vaikutusta selvitettiin viidellä kognitiivisella tehtävällä sekä kyselyiden avulla.

Puheen STI-arvo vaikutti kognitiiviseen suoriutumiseen kahdessa lyhytkestoista verbaalista muistia vaativassa tehtävässä. Heikentyminen tapahtui STI-arvojen 0.35 ja 0.65 välillä, kun taas alimmat arvot (0.10 ja 0.35) eivät eronneet toisistaan. Puheenerotettavuudella oli marginaalinen ($p=0.05$) vaikutus myös pitkäkestoista muistia edellyttävään lue-

tun ymmärtämisen tehtävään. Oikolukutehtävään ja visuo-spatiaaliseen muistiin puheenerotettavuudella ei ollut vaikutusta.

Puheenerotettavuudella oli selkeämpi vaikutus ääniympäristön subjektiiviseen häiritsevyyteen. Häiritsevyys lisääntyi jo STI-arvojen 0.10 ja 0.35 välillä ja kasvoi edelleen tilanteessa STI=0.65. Taustäänen huminaa (peiteääntä) ei koettu missään tilanteessa häiritseväksi, vaan koettu häiritsevyys liittyi puheääniin ja niiden erottuvuuteen.

Tutkimus II: Eri peiteäänten soveltuvuus puheen erotettavuuden pienentämiseen

Tutkimuksessa verrattiin viittä peiteääntä kognitiivisen suoriutumisen ja akustisen tyytyväisyyden osalta. Tutkitut äänet olivat suodatettu kohina (-5 dB/oktaavi), ilmanvaihdon ääni, puronsolina, laulua sisältävä musiikki ja instrumentaalimusiikki. Peiteäänät soitettiin yhdessä taustapuheen kanssa (STI 0.35-0.40). Peiteäänitilanteita verrattiin hiljaisuuteen (STI 0.00) ja hyvin erottuvaan puheeseen (STI 0.62). Kokeessa suoritettiin lyhytkestöisen muistin, luovan ajattelun ja oikoluvun tehtävät.

Peiteäänellä ja tilanteen STI-arvolla oli vaikutusta suoriutumiseen lyhytkestöisen muistin tehtävässä. Suoriutuminen oli parhaita hiljaisuudessa. Puronsolina osoittautui peiteäänistä parhaaksi: puronsolina vähensi virheiden määrää hyvin erottuvaan puheeseen verrattuna eikä virheiden määrä eronnut merkittävästi suoriutumisesta hiljaisuudessa. Puheen peittäminen muilla äänillä ei sen sijaan parantanut suoriutumista hyvin erottuvaan puheeseen verrattuna. Puronsolina vaikutti muita ääniä paremmalta myös luovan ajattelun tehtävässä, mutta tulos ei ollut tilastollisesti merkittävä.

Akustisen tyytyväisyyden mittari erotteli peiteääniä ja koetilanteita selkeämmin, kuten Tutkimuksessa I. Tyytyväisyys oli selvästi korkeinta hiljaisuudessa. Peiteääntä sisältäneissä tilanteissa korkein tyytyväisyys saavutettiin puronsolinaa ja suodatettua kohinaa käyttämällä. Peiteäänitilanteista vähiten tyytyväisiä oltiin musiikkiin etenkin, kun se sisälsi laulua. Tyytyväisyys akustisiin olosuhteisiin oli alhaisinta, kun puheen erotettavuus oli suurin eikä peiteääntä käytetty (STI 0.62).

Tutkimus III: Huoneakustisen suunnittelun vaikutus suoriutumiseen ja akustiseen tyytyväisyyteen

Tässä tutkimuksessa selvitettiin STI:n pienentämisen hyötyjä realistisesti toteutetuissa akustisissa olosuhteissa. Laboratorioon rakennettiin neljä erilaista tilannetta, joista kolmessa esitettiin puheääniä (Taulukko 1). Toisin kuin Tutkimuksissa I ja II, puheen STI vaihteli koetilanteiden sisällä, koska osa puhekaiuttimista sijaitsi lähityöpisteessä (2 m etäisyys) ja osa kauempana (6 m etäisyys). Koehenkilöt suorittivat kolme lyhytkestöisen muistin tehtävää sekä tekstin oppimista ja muistamista mittaavan tehtävän.

Huoneakustisella toteutuksella oli vaikutusta kaikkiin lyhytkestöisen muistin tehtäviin, mutta ei tekstin ymmärtämisen tehtävään. Suurimmassa osassa tehtäviä tulos liittyi kuitenkin hiljaisuuden ja puhetta sisältäneiden tilanteiden väliseen eroon, ei eroihin huoneakustisten tilanteiden (1-3, Taulukko 1) välillä. Huoneakustiikalla oli vaikutusta reaktioaikoihin yhdessä tehtävässä, mikä voidaan tulkita siten, että tehtävästä suoriutuminen oli kognitiivisesti vaativampaa koetilanteessa 1, jossa akustinen toteutus oli puutteellisin.

Kuten Tutkimuksissa I ja II, subjektiiviset mittarit tuottivat johdonmukaisempaa ja herkempiä tietoja tilanteiden välisistä eroista. Ääniolosuhteiden koettu häiritsevyys oli alhaisinta hiljaisuudessa (tilanne 4). Optimaaliset huoneakustiset olosuhteet (tilanne 3) koet-

tiin vähemmän häiritseviksi kuin puutteellinen akustiikka (tilanne 1) ja pelkkien vaimennusratkaisujen käyttö (tilanne 2). Peiteäänen käyttö oli häiritsevyyden vähentämisen kannalta välttämätöntä, sillä pelkkä vaimennuksen lisääminen (tilanne 2) ei parantanut tyytyväisyyttä puutteelliseen akustiikkaan verrattuna. Huoneakustiikalla oli vaikutusta kauempaa kuuluvien puheäänten häiritsevyyteen, mutta ei lähityöpiesteestä kuuluvan puheen kokemiseen.

Tutkimus IV: Häiritsevyysetäisyyden ja koetun melun yhteys 21 toimistossa

Tutkimuksessa selvitettiin ISO 3382-3 standardin mittalukujen suhdetta häiritsevän melun esiintyvyyteen 21 toimiston aineistossa. Analyysissä huomioitiin iän ja sukupuolen vaikutus sekä se, että neljä toimistosta oli monitiloimistoja. Häiritsevää melua koekiviksi määriteltiin ne, jotka olivat 5-portaisella asteikolla vastanneet kokevansa 'melko paljon' tai 'erittäin paljon' melua.

Vastaajista 37 % koki häiritsevää melua. Työpaikkojen välinen vaihtelu häiritsevää melua kokevien osuudessa oli kuitenkin suurta (6-71 %). Yleinen kokemus häiritsevästä melusta korreloi vahvasti puheäänten häiritsevyyden kanssa ($r=0.88$), mikä viittaa siihen, että puheäännet selittävät pitkälti ääniympäristön häiritsevyyttä.

ISO 3382-3 standardin mittaluvuista erityisesti häiritsevyysetäisyys (r_D) oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä häiritsevän melun esiintyvyyteen. Puheen äänitason kasvu 4 m etäisyydellä ($L_{p,A,S,4m}$) oli yhteydessä suurempaan häiritsevyyteen, kun taas taustäänitason kasvu ($L_{p,A,B}$) oli yhteydessä vähäisempään häiritsevyyteen. Näitä tuloksia ($L_{p,A,S,4m}$ ja $L_{p,A,B}$) ei kuitenkaan saatu kaikissa analyyseissä ja ne ovat siksi epävarmempia. Puheen leviämismuunnosaste $D_{2,S}$ ei ollut yhteydessä koettuun meluun.

Tutkimus V: Hiljaisten työtilojen rooli avotoimistoissa

Tutkimuksessa verrattiin kahta organisaatiota, jotka muuttivat omista työhuoneista monitiloimistoon. Toimistot erosivat erityisesti hiljaisten vetäytymistilojen määrässä ja niiden saavutettavuudessa. Työympäristön häiriötekijät lisääntyivät molemmissa organisaatioissa monitiloimistoon muuton jälkeen. Häiriötekijöiden lisääntyminen selitti kielteisiä muutoksia työympäristötyytyväisyydessä, koetussa yhteistyössä sekä stressioireissa. Ongelmat olivat kuitenkin selvästi vähäisempiä organisaatioissa, jossa hiljaisia vetäytymistiloja oli enemmän ja jossa ne sijaitsivat kaikkien työpisteiden läheisyydessä.

4 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Väitöstutkimus osoitti, että avotoimistojen melulla on monenlaisia negatiivisia vaikutuksia työntekijöihin. Avotoimistojen meluongelmissa ei ole kyse pelkästään subjektiivisesta tyytymättömyydestä, vaan ongelmat ulottuvat työssä suoriutumiseen ja työhyvinvointiin. Ympäristön puheäännet ja niiden erotettavuus selittävät pitkälti koettuja ongelmia.

Tutkimus osoitti myös, että koettuja meluongelmia voidaan vähentää akustisen suunnittelun keinoin. Häiritsevyysetäisyyden (r_D) ja koetun melun yhteyttä koskevat tulokset tukevat kokonaisvaltaista akustista suunnittelua, johon kuuluu vaimennusmateriaalien ja sermien lisäksi peiteäänen käyttö. Häiritsevyysetäisyys soveltuu avotoimistojen akustisen laadun arviointiin, kun taas pelkkään vaimennukseen liittyvät mittaluvut ($L_{p,A,S,4m}$ ja $D_{2,S}$) eivät yksin kuvaa koettua akustiikkaa.

Tulokset tukevat vahvasti peiteäänien hyötyjä ja osoittavat, että peiteääntä ei koeta avoimistoissa melun lähteeksi. Korkeampi taustäänitaso on yhteydessä vähäisempään melun häiritsevyyteen, koska se pienentää puheäänien erottuvuutta. Peiteääniksi voidaan suositella tasaisia ääniä, kuten kokeissa käytettyä suodatettua kohinaa (-5 dB/oktaavi). Puronsolina osoittautui parhaaksi peiteääniksi eri äänien vertailussa, mutta sen hyväksyttävyyttä aitoihin työympäristöihin tulisi tutkia erikseen.

Akustisen suunnittelun hyödyt ovat kuitenkin rajallisia, koska puheen erotettavuutta ei voida pienentää riittävästi lähityöpisteiden välillä. Hiljainen työympäristö onkin keskitymisen ja subjektiivisen tyytyväisyyden kannalta paras. Avo- ja monitilatoimistoissa akustista tyytyväisyyttä tulisi edistää myös hiljaiseen työskentelyyn varatuilla työtiloilla.

Väitöskirja tarkastettiin Turun yliopistossa 9.6.2017 ja on luettavissa sähköisesti [8].

VIITTEET

- [1] Banbury S, Berry D, Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements, *Ergonomics*, 48(2005), 25-37.
- [2] Kaarlela-Tuomaala A, Helenius R, Keskinen E, Hongisto V, Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices – longitudinal study during relocation, *Ergonomics*, 52(2009), 1423-1444.
- [3] Schlittmeier SJ, Hellbrück J, Thaden R, Vorländer M, The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance, *Ergonomics*, 51(5) (2008), 719-736.
- [4] Hongisto V, A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance, *Indoor Air*, 15(6) (2005), 458-468.
- [5] ISO 3382-3, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2012.
- [6] Venetjoki N, Kaarlela-Tuomaala A, Keskinen E, Hongisto V, The effect of speech and speech intelligibility on task performance. *Ergonomics*, 49(11) (2006), 1068-1091.
- [7] Hongisto V, Effects of sound masking on workers—a case study in a landscaped office, 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Mashantucket, Connecticut, USA (2008), pp. 21-25.
- [8] Haapakangas A, Subjective reactions to noise in open-plan offices and the effects of noise on cognitive performance – Problems and solutions, Painosalama Oy, Turku, 2017, www.doria.fi/handle/10024/135298