

AVOTOIMISTON AKUSTIIKAN VAIKUTUS TYÖSUORIUTUMISEEN JA AKUSTISEEN TYYTYVÄISYYTEEN – KOEHENKILÖTUTKIMUS AVOTOIMISTOLABORATORIOSSA

Annu Haapakangas, Valtteri Hongisto, Jukka Keränen, David Oliva, Jarkko Hakala

¹ Työterveyslaitos, sisäympäristölaboratorio
Lemminkäisenkatu 14-18 B 20520 Turku
etunimi.sukunimi@ttl.fi

Tiivistelmä

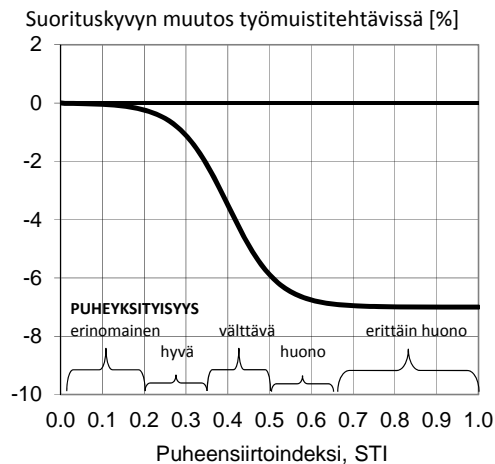
Ei-toivotut puheäännet ovat merkittävä ongelma avotoimistoissa. Laboratorio-kokeissa on osoitettu, että ei-toivottujen puheäännten haitat kasvavat puheen erotettavuuden kasvaessa. Erotettavuutta on säädetty kokeissa puheen ja peittoäännten suhteellisia äänenvoimakkuuksia muuttamalla. Näyttöä puuttuu siitä, voidaanko puheäännten erotettavuutta pienentää avotoimistossa huoneakustisin keinoin siten, että meluhaitat pienenisivät. Tutkimuksen tavoitteena oli osoittaa, että avotoimiston huoneakustisella suunnittelulla on vaikutusta työsuoriutumiseen ja akustiseen tyytyväisyyteen. Tutkimus keskittyi yksin tehtäviin, keskittymistä vaativiin työtehtäviin puheääniä sisältävässä ympäristössä. Tutkimus toteutettiin 12 työpisteen avotoimistolaboratoriossa, johon rakennettiin neljä äänitilannetta: 1) ei vaimennusta eikä peiteääntä, 2) vaimennus, ei peiteääntä, 3) vaimennus ja peiteääni ja 4) hiljaisuus. Äänitilanteiden toteutuksessa käytettiin sermejä, absorptiomateriaaleja ja peittoääninjärjestelmää. Puheäännet tuotettiin nurkkatyöpisteissä olleista kaiuttimista. Tutkimukseen osallistui 97 henkilöä. Koehenkilöt työskentelivät äänitilanteessa lähes 4 tuntia. Koe sisälsi erilaisia kognitiivisia testejä sekä kyselyjä, joilla mitattiin akustista tyytyväisyyttä, olosuhteiden ja eri äänien häiritsevyyttä sekä työn kuormittavuutta. Akustiikalla oli vaikutusta etenkin subjektiivisiin mittareihin, mutta myös suoriutumiseen työmuistitehtävissä. Tulosten perusteella parhaat työskentelyolosuhteet saavutetaan, kun yhdistetään peiteääni ja korkeat sermit ja korkea huoneabsorptio. Näillä ei kuitenkaan voida poistaa lähimmästä työpisteestä tulevan puheäännten haittoja. Huoneakustiikan vaikutukset tulevatkin esiin vasta yli 3 metrin päässä puhujasta.

1 TAUSTA JA TAVOITE

Kenttätutkimusten mukaan toisista työpisteistä kuuluvat puheäännet koetaan häiritsevimmäksi äänilähteeksi avotoimistoissa. [1] Työterveyslaitoksen aikaisemmissa laboratoriotutkimuksissa [2-5] on osoitettu, että häiritsevyys riippuu puheenerotettavuudesta. Mitä korkeampi puheenerotettavuus on, sitä enemmän puheäännet häiritsevät. Puheenerotettavuutta kuvataan puheensirtoindeksillä (STI-arvo). Puheen STI vaikuttaa etenkin puheen subjektiiviseen häiritsevyyteen (akustiseen tyytyväisyyteen), mutta myös objektiivisesti mitattavaan suoriutumiseen (Kuva 1). Erityisen herkkiä puhemelulle ovat kognitiivisesti vaativat, työmuistia kuormittavat tehtävät. Työmuisti on muistijärjestelmä, jossa aktiivisesti ylläpidetään ja prosessoidaan kyseisellä hetkellä tarvittavaa informaatiota. Työmuisti on siksi keskeinen kaikenlaisissa ajattelua ja keskittymistä vaativissa työtehtävissä. Ru-

tiinitehtävät eivät ole vastaavalla tavalla puhemelulle herkkiä, koska ne perustuvat enemmän automatisoituneisiin prosesseihin eivätkä vaadi työmuistia samassa määrin.

Kuva 1. Hongiston [6] malli kuvaa, miten puheen erotettavuus vaikuttaa työsuoriutumiseen. Tyypillisesti huonoissa avotoimistoissa STI-arvot ovat yli 0.70 työpisteiden välillä. Hyvällä suunnittelulla voidaan kuitenkin pienentää STI-arvo alle tason 0.50 oltaessa yli 3 metrin päässä puhujasta. [7]



Laboratoriotutkimuksissa on voitu osoittaa, että puhujan ja kuuntelijan välistä puheen STI-arvoa pienentämällä voidaan puheäänien haittoja pienentää. Tähänastisissa laboratoriokeissa STI-arvon pienentäminen on tapahtunut muuttelemalla puheen ja taustaäänien äänenvoimakkuuksia. Lisäksi testatut STI-arvot ovat olleet vakioita. Todellisissa olosuhteissa puheenerotettavuus kuitenkin vaihtelee puhujan etäisyydestä riippuen. Tutkimuskentältä puuttuu tutkimus, jossa STI-arvoa kontrolloidaan huoneakustisten ratkaisujen avulla, kuten todellisessa toimistoympäristössäkin joudutaan tekemään. Tarvitaan tutkimus, joka selvittää, voidaanko puhetta vaimentaa (ja STI-arvoja pienentää) avotoimistossa huoneakustisin toimenpitein siinä määrin, että sillä olisi positiivista vaikutusta työsuoritukseen. Näin akustisen suunnittelun hyödyt tulisivat paremmin osoitetuiksi.

Tavoitteena on osoittaa, että avotoimiston huoneakustinen suunnittelu vaikuttaa puheäänien aiheuttamiin haittoihin todellisenkaltaisessa työympäristössä, jossa puheääni voi kuulua vuoroin läheltä (2 m) tai kaukaa (3-6 m). Tavoitteena oli selvittää, miten keskeiset työympäristön vaikutuksia kuvaavat mittarit (kognitiivinen suoriutuminen, akustinen tyytyväisyys) poikkeavat toisistaan neljässä huoneakustisesti erilaisessa äänitilanteessa.

2 MENETELMÄT

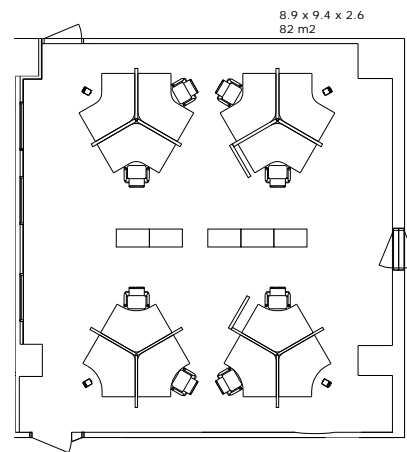
Koe toteutettiin avotoimistolaboratoriossa Turussa keväällä 2011 (Kuva 2). Puheäänien tuotettiin nurkkatyöpisteissä sijaitsevista kaiuttimista. Puheäänien tehotaso pidettiin vakiona ja äänen kuulumista työpisteisiin hallittiin huoneakustiikkaa muuttelemalla. Puheääninä käytettiin radio-ohjelmista editoituja puheääniä. Äänimaisema kuulosti samalta kuin jokaisessa nurkassa olisi käynnissä puhelinkeskustelu, jonka aihe pysyy samana. Vain yksi puheääni kuului kerrallaan kestäen noin 5-25 sekuntia. Puhujan vuoro oli pseudosatunnastettu niin, että kunkin äänitilanteen aikana jokaisesta kaiuttimesta kuului yhtä paljon puhetta.

Tutkitut äänitilanteet ja niissä sovelletut huoneakustiset toimenpiteet on esitetty Taulukossa 1. Äänitilanteiden toteuttamiseksi muuteltiin sermien korkeutta, sermien absorptiota, katon absorptiota, seinien absorptiota ja taustaäänien tasoa ja spektriä (peiteääni päällä/pois). Kaikki olosuhteet ovat sellaisia, että ne voidaan toteuttaa avotoimistoon myös

käytännössä. Koska äänitilanteen muutos (vaimennuksen rakennus tai poisto) edellytti noin viikon rakennustyötä, piti tutkimus toteuttaa ryhmien välisellä asetelmalla. Siksi jokaiseen äänitilanteisiin rekrytoitiin erillinen ryhmä (noin 25 hlöä per äänitilanne).

Tutkimukseen osallistui 97 koehenkilöä. Kerralla testattiin 3-6 henkilöä. Koepäivän alussa koehenkilöt saivat opastuksen koepäivän kulkuun ja harjoittelivat tehtäviä. Tämän jälkeen suoritettiin 3 testijaksoa. Koe sisälsi neljä testiä: lyhytkestoinen muisti, kaksi työmuistitehtävää sekä tekstitehtävä, joka mittaa oppimista ja pitkäkestoista muistia. Testit suoritettiin tietokoneella. Osa tehtävistä tehtiin kolmeen kertaan, mikä mahdollisti altistusajan vaikutuksen seuraamisen. Kokeen lopussa koehenkilöt vastasivat työympäristön ja erityisesti ääniympäristön kokemista kartoittavaan kyselyyn. Koe kesti noin 3,5 tuntia.

Tulokset analysoitiin SPSS-ohjelmistolla. Kognitiiviset testit analysoitiin ANCOValla, johon sisällytettiin kovariaattina työmuistikapasiteetti sekä meluherkkyysluokka. Näin pystyttiin huomioimaan yksilöllisen kognitiivisen kapasiteetin sekä meluherkkyuden vaikutusta tuloksiin. Akustisen tyytyväisyyden analysoinnissa käytettiin ANOVAa ja muut kyselytulokset analysoitiin epäparametrisilla menetelmillä (Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U). Parivertailuihin tehtiin Benjamini-Hochberg –painotukset.



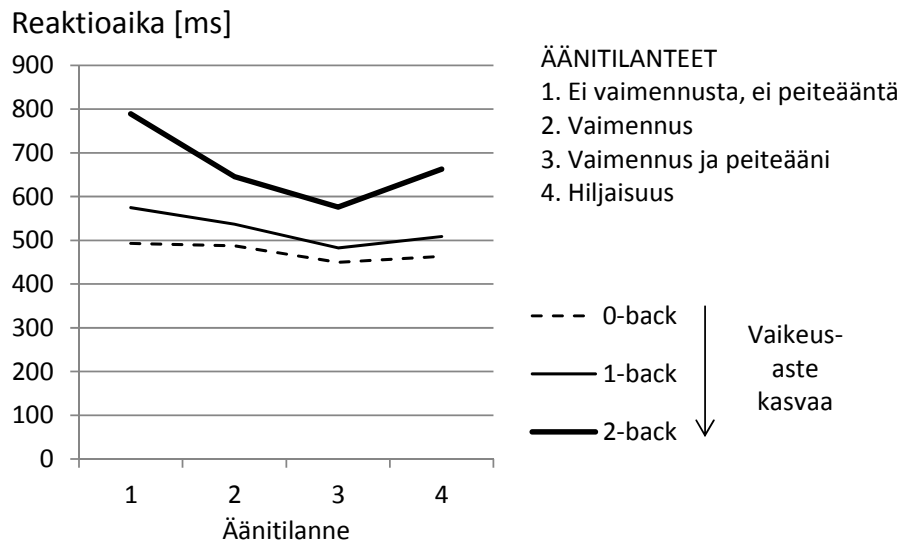
Kuva 2. Avotoimistolaboratorio. Valokuvassa sermikorkeus on 130 cm (äänitilanne 1). Puheäänikaiuttimet sijaitsivat nurkkatyöpisteissä 120 cm korkeudella.

Taulukko 1. Äänitilanteiden nimet ja toteutus.

Äänitilanteiden nimet	Puheen erotettavuuden subjektiivinen luonnehdinta (Huoneakustiset ratkaisut, joilla äänitilanne luotiin)
1. Ei vaimennusta, ei peiteääntä	Puhe erottuu täydellisesti sekä läheltä että kaukaa <i>Kova katto, seinät ja semit, sermikorkeus 130 cm, taustaäänitaso 35 dBA</i>
2. Vaimennus	Puhe erottuu täydellisesti läheltä, kohtalaisesti kaukaa <i>Absorboiva katto, seinät ja semit, sermikorkeus 170 cm, taustaäänitaso 35 dBA</i>
3. Vaimennus ja peiteääni	Puhe erottuu kohtalaisesti läheltä, huonosti kaukaa <i>Kuten 2 mutta taustaäänitaso 45 dBA</i>
4. Hiljaisuus	Puheäänet kokonaan pois käytöstä. Tämä on vertailutilanne. <i>Taustaäänitaso 35 dBA. Huoneakustiikalla ei merkitystä.</i>

3 TULOKSET

Selkein näyttö huoneakustiikan vaikutuksesta työsuoritukseen saatiin N-back -tehtävästä. Kyse on työmuistitehtävästä, jossa muistikuormitusta kasvatetaan nollassa kahteen yksikköön. Äänitilanteella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus reaktioaikoihin N-back-tehtävässä ($p=.006$; Kuva 3). Reaktioaika on mittari, joka kuvaa kognitiivisen prosessin nopeutta. Reaktioaikojen hidastuminen kertoo tehtävän vaikeutumisesta tai kognitiivisen prosessin kuormittumisesta. Jatkovertailut osoittivat, että reaktioajat olivat hitaampia äänitilanteessa 1 verrattuna äänitilanteeseen 3 ($p<.01$). Muita tilastollisesti merkitseviä eroja ei äänitilanteiden väliltä löytynyt. Akustiikan ja tehtävän vaikeustason välillä oli lisäksi yhdysvaikutus ($p=.008$; Kuva 3): huoneakustiikalla oli sitä enemmän vaikutusta, mitä vaativammaksi tehtävä kävi. Varsinaiseen tarkkuuteen eli oikeiden vastausten määrään huoneakustiikalla ei ollut vaikutusta. Tämä johtunee osittain siitä, että tehtävä oli koehenkilöille näiltä osin liian helppo. N-back-tehtävän tulokset tarkoittavat, että tehtävän suorittaminen vaati enemmän kognitiivisia resursseja huoneakustisen toteutuksen ollessa huonompi, vaikka varsinaisessa suoritustasossa ei näkynyt eroja.

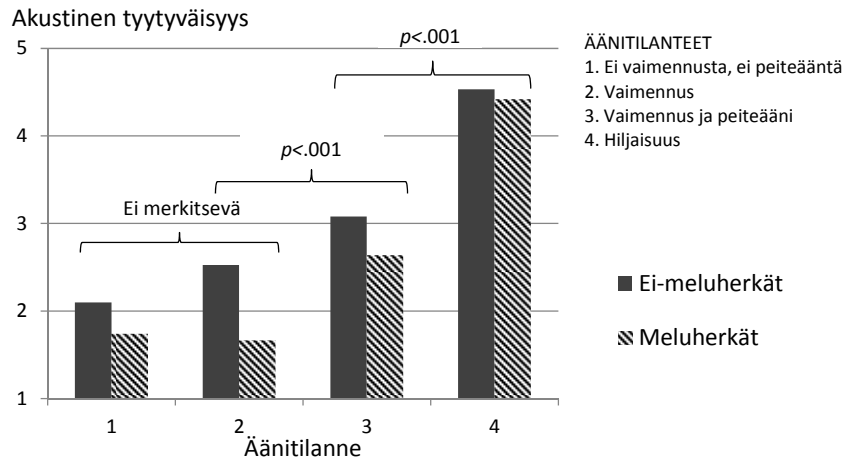


Kuva 3. Keskimääräiset reaktioajat (ms) N-back-tehtävässä, jossa oli 3 vaikeusastetta.

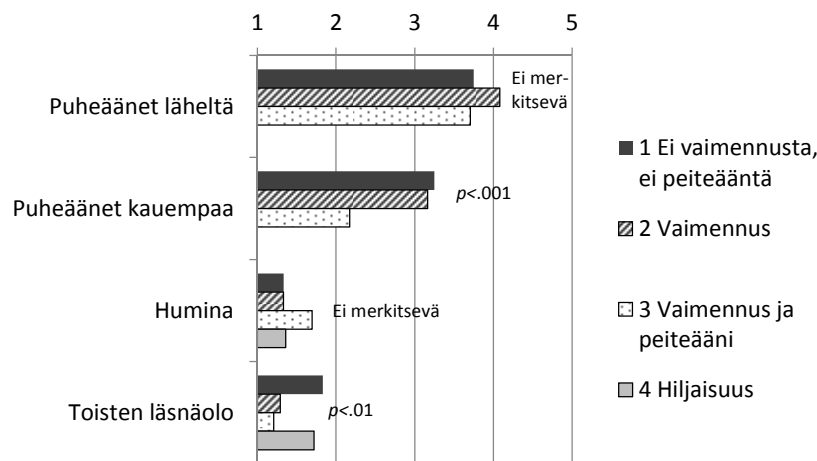
Muista tehtävistä tilastollisesti merkitseviä tuloksia ilmeni lyhytkestaisen muistin tehtävässä ($p<.05$) ja toisessa työmuistitehtävässä ($p<.05$). Näissä tulokset osoittivat lähinnä äänitilanteen 4 (hiljaisuus) paremmuutta muihin äänitilanteisiin verrattuna eikä tuloksista saatu esiin huoneakustiikan vaikutusta puhetta sisältävien äänitilanteiden 1-3 välillä. Meluherkkyydellä oli vaikutusta suoriutumiseen kahdessa tehtävässä (lyhytkestoinen muisti, toinen työmuistitehtävä) siten, että meluherkät suoriutuivat heikommin kuin ei-meluherkät ($p<.05$). Meluherkkyydellä ja äänitilanteella ei kuitenkaan ollut yhdysvaikutusta eli meluherkkyyden vaikutus suoriutumiseen ei eronnut äänitilanteiden välillä.

Ääniympäristökysymyksistä muodostettiin summamuuttuja *akustinen tyytyväisyys* kuvaamaan kokonaiskokemusta ääniolosuhteista. Äänitilanteella oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus akustiseen tyytyväisyyteen ($p=.007$; Kuva 4). Akustinen tyytyväisyys oli alhaisin äänitilanteissa 1 ja 2, hieman parempi äänitilanteessa 3 ja korkeimmillaan äänitilanteessa 4. Tulokset olivat hyvin samankaltaisia yksittäisissä, summamuuttujaan sisälty-

neissä kysymyksissä. Kuvan 4 perusteella vaikuttaisi siltä, että ei-meluherkät olivat hie-
man tyytyväisempiä akustiikkaan kuin meluherkät, mutta ryhmien välinen ero ei kuiten-
kaan ole tilastollisesti merkitsevää ($p=.016$).



Kuva 4. Akustinen tyytyväisyys keskimäärin eri tilanteissa meluherkkyysryhmittäin. Arvo 1 kuvaa alhaisinta tyytyväisyyttä ja 5 korkeinta.



Kuva 5. Eri äänilähteistä ja toisten koehenkilöiden läsnäolosta koettu häiritsevyys keskimäärin. Asteikko: 1 ei lainkaan, 5 erittäin paljon.

Lähityöpisteistä kuuluvista puheäänistä koettiin paljon haittaa eikä huoneakustiikalla ollut vaikutusta niiden kokemiseen (Kuva 5). Äänitilanteella oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kauempaa kuuluvien puheäänien häiritsevyyteen ($p < .001$). Äänitilanteessa 3 niistä koettiin odotetusti vähiten haittaa ja kyseinen äänitilanne erosi tilastollisesti merkitsevästi kahdesta muusta puhetta sisältäneestä äänitilanteesta ($p < .01$). Äänitilanteet 1 ja 2 eivät eronneet toisistaan eli pelkällä vaimennuksella ei ollut vaikutusta kaukaa kuuluvien puheäänien häiritsevyyteen. Peiteäänien häiritsevyyttä kartoitettiin kysymällä ilmastonin huminan aiheuttamaa haittaa, koska peiteääni kuulosti ilmanvaihdon ääneltä. Huminan häiritsevyydessä ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevää eroa äänitilanteiden välillä, vaikka äänitasoissa oli 10 dB ero. Toisten koehenkilöiden läsnäolo

koettiin vähiten häiritseväksi tilanteessa 3. Sen sijaan hiljaisuudessa ja tilanteessa 1 toisten läsnäolo koettiin merkitsevästi häiritsevämmäksi ($p < .05$).

4 POHDINTA

Huoneakustiikalla on selvästi vaikutusta siihen, miten ääniympäristö koetaan. Parhaat tulokset saatiin äänitilanteessa 3, jossa puheyksityisyys pyrittiin maksimoimaan käyttämällä sekä suurta vaimennusta (absorboiva katto, seinät ja sermit, korkeat sermit) että puheenpeiteääntä (45 dBA). Näilläkään ei kuitenkaan voida poistaa lähimmästä työpis- teestä tulevan puheäänien aiheuttamaa keskittymishaittaa. Huoneakustiikan vaikutukset tulevat esiin vasta yli 3 metrin päässä puhujasta. Huonoimmat tulokset saatiin, jos kum- paakaan näistä ei tehty tai jos käytettiin pelkästään vaimennusta.

Parhaiten äänitilanteiden erot saatiin esiin kyselyiden avulla. Kognitiivisten testien koh- dalla yhtä selviä eroja ei syntynyt. Osasyynä tähän saattoi olla ryhmien välinen asetelma, jossa yksilöiden väliset erot saattavat heijastua tuloksiin, koska eri tilanteissa tutkitaan eri henkilöitä. N-back-tehtävän reaktioajoissa todetut erot olivat kuitenkin erittäin suuria, mikä objektiivisena mittarina kertoo puutteellisen huoneakustiikan kognitiivisesta kuor- mittavuudesta. Tehtävän vaativimmalla tasolla ero huonoimman ja parhaimman äänitilan- teen 1 ja 3 välillä oli yli 200 ms, kun reaktioaikatutkimuksissa jo 50 millisekunnin suu- ruusluokassa olevat vaikutukset ovat yleensä johtopäätösten kannalta merkittäviä.

VIITTEET

- [1] Haapakangas A, Helenius R, Keskinen E, Hongisto V, 9th Int. Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, 434-441, July 21-25, Connecticut, USA.
- [2] Venetjoki N, Kaarlela-Tuomaala A, Keskinen E, Hongisto V, *Ergonomics* 49(11) 2006, 1068-1091.
- [3] Haka M, Haapakangas A, Keränen J, Hakala J, Keskinen E, Hongisto V, *Indoor Air* 19 (6) 2009 454-467.
- [4] Haapakangas A, Kankkunen E, Hongisto V, Virjonen P, Oliva D, Keskinen E, *acta acustica united with acustica*, 97(4) 2011 641-655.
- [5] Jahncke H, Hongisto, V, Virjonen P, *Applied Acoustics* 74 2013 307-316.
- [6] Hongisto V, *Indoor Air* 15 2005 458-468.
- [7] Keränen J, Hongisto V, Hakala J, *Akustiikkapäivät* 2013.