



**TURUN
YLIOPISTO**

Vastamelukuulokkeet avotoimistoissa

Voidaanko puhemelun haittavaikutuksia vähentää kuulokkeiden, vastamelutoiminnon tai kuulokkeista toistetun peittoäänen avulla?

Psykologian
pro gradu -tutkielma

Laatija:
Iida-Kaisa Tervahartiala

14.3.2023
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä

Pro gradu -tutkielma

Oppiaine: psykologia

Tekijä: Iida-Kaisa Tervahartiala

Otsikko: Vastamelukuulokkeet avotoimistoissa: Voidaanko puhemelum haittavaikutuksia vähentää kuulokkeiden, vastamelutoiminnon tai kuulokkeista toistetun peittoäänän avulla?

Ohjaajat: psykologian tohtori Jenni Radun & emeritusprofessori Jukka Hyönä

Sivumäärä: 37 sivua

Päivämäärä: 14.3.2023

Taustapuhe on useiden tutkimusten perusteella häiritsevintä melua avotoimistoissa. Avotoimistojen puhemelu häiritsee esimerkiksi keskittymistä, lisää kuormittuneisuutta ja laskee motivaatiota. Subjektiiivisten vaikutusten lisäksi puhemelu heikentää kognitiivista suorituskyykyä. Puhemelum haittoja pyritään vähentämään avotoimistoissa henkilökohtaisilla välineillä, kuten vastamelukuulokkeilla, mutta tutkimustietoa niiden toimivuudesta on erittäin vähän. Tämän pro gradu -tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voidaanko puhemelum haittavaikutuksia vähentää kuulokkeilla, niiden vastamelutoiminnolla tai kuulokkeista toistetulla peittoäänellä. Koehenkilöt (n = 52) suorittivat kokeen viidessä äänitilanteessa, joiden aikana huoneessa esitettiin jatkuvaa puheääntä 52 dB(A):n tasolla. Tilannetta, jossa koehenkilöillä ei ollut kuulokkeita verrattiin vastamelukuulokkeiden asetuksilla luotuihin asetelmiin (kuulokkeet itsenäisesti, kuulokkeet ja vastamelutoiminto, kuulokkeista toistettu peittoääni ja kuulokkeista toistettu peittoääni yhdistettynä vastamelutoimintoon). Riippuvina muuttujina kokeessa tarkasteltiin kognitiivista suoriutumista (sarjamuisti ja 3-back) ja subjektiivisia kokemuksia (esim. puheäänän häiritsevyys, kuormittavuus, ja ääniympäristön miellyttävyys). Lisäksi meluherkkyyttä käytettiin tutkimuksessa kovariaattina, sillä se on yhteydessä melun suoritusvaikutuksiin ja subjektiivisiin arvioihin. Tutkimuksen perusteella pelkät kuulokkeet tai niihin yhdistetty vastamelutoiminto eivät itsenäisesti käytettynä vähennä puhemelum suoritusvaikutuksia tai koettuja haittoja. Kuulokkeista toistetun peittoäänän yhdistäminen vastamelutoimintoon vähensi puhemelum häiritsevyyttä ja koettua keskittymishaittaa. Muihin subjektiivisiin kokemuksiin kuulokkeista toistettu peittoääni ei vaikuttanut. Meluherkkien ryhmään kuuluvilla kuulokkeista soitettu peittoääni vähensi puhemelum suoritusvaikutuksia sarjamuistitehtävässä.

Avainsanat: puhemelu, melu, avotoimistot, kuulokkeet, vastamelukuulokkeet, aktiivinen melunpoisto, peittoääni

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
1.1	Avotoimistot	3
1.2	Melu avotoimistoissa	4
1.3	Äänen kokeminen meluksi	5
1.4	Melun arviointi	6
1.5	Melun vaikutukset toimistoissa	7
1.5.1	Melun subjektiiviset vaikutukset toimistoissa	7
1.5.2	Melun kognitiiviset vaikutukset	9
1.5.3	Melun kognitiivisia vaikutuksia selittävät teoriat	10
1.6	Puheen häiritsevyyden vähentäminen toimistoissa	11
1.6.1	Tilaratkaisut ja toimistoetiketti	11
1.6.2	Huoneakustiset menetelmät	12
1.6.3	Kuulokkeet ja vastamelukuulokkeet	13
1.7	Tutkimuksen tarve ja tutkimuskysymykset	15
2	Menetelmät	17
2.1	Koeasetelma	17
2.2	Koehenkilöt	17
2.3	Kokeen ääniympäristö	17
2.3.1	Puheääni	17
2.3.2	Taustakohina	18
2.3.3	Kokeen äänitilanteet	18
2.4	Kognitiiviset tehtävät	19
2.4.1	Orientaatiotehtävä	20
2.4.2	Sarjamuistitehtävä	20
2.4.3	N-back	21
2.5	Subjektiiviset kokemukset	22
2.6	Melusherkyys	23
2.7	Tutkimuksen kulku	24
2.8	Aineiston analyysi	26

3	Tulokset	27
3.1	Kognitiiviset tehtävät	28
3.1.1	Sarjamuistitehtävä	28
3.1.2	3-back -tehtävä	28
3.2	Subjektiiiviset kokemukset	30
3.2.1	Puheäänen häiritsevyys ja kuormittavuus tehtävien tekemisen aikana	30
3.2.2	Yleiset arviot ääniympäristöstä	31
4	Pohdinta	33
4.1	Puhemelun vähentäminen kuulokkeilla ja vastamelutoiminnolla	33
4.2	Puhemelun vähentäminen kuulokkeista toistetulla peittoäänellä	34
4.3	Rajoitukset	35
4.4	Vahvuudet	38
4.5	Johtopäätökset	38
	Lähteet	40

1 Johdanto

Melu on avotoimistojen yleisin häiriötekijä (Pejtersen ym., 2006), joka on yhdistetty moniin muihin avotoimistojen ongelmiin (Hedge, 1982). Kaikkein häiritsevintä melua avotoimistoissa on taustapuhe (ks. esim. Pierrette ym., 2015). Puhemelu lisää esimerkiksi avotoimistotyöntekijöiden kokemia keskittymisvaikeuksia ja laskee motivaatiota (di Blasio ym., 2019). Lisäksi puhemelu häiritsee verbaalisen lyhytkestaisen muistin (Jones ym., 1992) ja työmuistin (Keus Van De Poll ym., 2014) toimintaa. Taustapuheen häiritsevyyden ja suoritusvaikutusten kannalta puheen erotettavuus on puheäänien voimakkuutta olennaisempi tekijä (Roelofsen, 2008). Puheen haittavaikutuksia voidaan pienentää vähentämällä puheen erotettavuutta (Haapakangas ym., 2020).

Avotoimistoissa käytetään kuulokkeita ja vastamelukuulokkeita henkilökohtaisina meluntorjuntavälineinä (di Blasio ym., 2019). Korvien päälle asetettavien kuulokkeiden tiedetään vaimentavan taustaääniä akustisen eristyksen vuoksi noin 10dB(A). Vastamelukuulokkeiden melunvaimennus perustuu lisäksi aktiiviseen melunpoistoon. Vastamelutoiminto vaimentaa kuitenkin vain puheen matalimpia taajuuksia, jotka eivät vaikuta merkittävästi puheen erotettavuuteen. Kuulokkeista soitettavien peittoäänien avulla voidaan vähentää puheen erotettavuutta paremmin, mutta tutkimustietoa niiden toimivuudesta puhemelum haittavaikutusten vähentämisessä tarvitaan lisää. Kuulokkeista toistetun peittoäänien ja vastamelutoiminnon yhdistämistä ei ole tietävästi tutkittu aiemmin. Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on selvittää, voidaanko puhemelum subjektiivisia haittoja ja suoriutumisaikutuksia vähentää kuulokkeiden, vastamelutoiminnon tai kuulokkeista toistetun peittoäänien avulla.

1.1 Avotoimistot

Avotoimistojen (*open-plan office*) määrä on lisääntynyt 1960-luvulta asti (Vos & van der Voordt, 2002) ja nykyään avotoimistot ovat yleisimpiä toimistoratkaisuja (Lee ym., 2020). Avotoimistoissa työntekijät jakavat yhteisen työtilan, jossa työpisteitä ei ole erotettu toisistaan seinillä (Bodin Danielsson & Bodin, 2008). Keskeisimpiä syitä avotoimistoihin muuttamiseen ovat kustannusten vähentäminen ja toimistotilan käytön joustavuuden lisääminen (Davis ym., 2011; Hedge, 1982). Lisäksi avotoimistojen on uskottu parantavan työntekijöiden viestintää ja yhteistyötä. Tutkimukset eivät kuitenkaan tue uskomusta, vaan esimerkiksi konfliktien on

huomattu olevan yleisempiä avotoimistoissa kuin huonetoimistoissa (Danielsson ym., 2015). Tutkimukset ovat osoittaneet myös monia muita avotoimistojen ongelmia.

Usean tutkimuksen mukaan avotoimistojen työntekijät ovat tyytymättömämpiä työympäristöönsä verrattuna huonetoimistoissa työskenteleviin (ks. esim. Bodin Danielsson & Bodin, 2009; Kim & de Dear, 2013). Työympäristötyytyväisyyden on osoitettu olevan suoraan yhteydessä esimerkiksi työtyytyväisyyteen (Carlopio & Gardner, 1992). Monien tutkimusten mukaan avotoimistoissa työskentelevien työtyytyväisyys on alhaisempi kuin omissa tai jaetuissa toimistohuoneissa työskentelevillä (de Croon ym., 2005). Huonetoimistosta avotoimistoon muuttamisen on huomattu vähentävän muun muassa työntekijöiden koettua terveyttä (Bergström ym., 2015), motivaatiota (Oldham & Brass, 1979) ja tuottavuutta (Kaarlela-Tuomaala ym., 2009). Melu on yksi keskeisimmistä stressitekijöistä, joka on yhdistetty moniin avotoimistoissa havaittuihin ongelmiin (Hedge, 1982).

1.2 Melu avotoimistoissa

Melu on epätoivottua ääntä (Basner ym., 2014). Melu on ympäristön stressitekijä, joka koetaan epämiellyttävänä, häiritsevänä tai terveydelle haitallisena (Jauhiainen ym., 2007). Melua koetaan avotoimistoissa enemmän kuin huonetoimistoissa, jaetuissa toimistohuoneissa tai monitilatoimistoissa (di Blasio ym., 2019; Pejtersen ym., 2006). Melu on avotoimistojen yleisin häiriötekijä ja se on keskeinen syy tyytymättömyyteen avotoimistoissa työskentelyyn (Banbury & Berry, 2005; Pejtersen ym., 2006). Useiden tutkimusten mukaan epäolennainen taustapuhe on kaikkein häiritsevintä melua avotoimistoissa (ks. esim. Kang ym., 2017; Pierrette ym., 2015; Sundstrom ym., 1994).

Melun vaikutukset voidaan jakaa auditorisiin ja ei-auditorisiin vaikutuksiin (Basner ym., 2014). Auditorisilla vaikutuksilla tarkoitetaan melun suoria vaikutuksia kuulon toimintaan. Yleisin auditorinen vaikutus on voimakkaan äänienergian sisäkorvaan aiheuttama kuulovamma. Auditorisia vaikutuksia aiheutuu voimakkailla äänitasoilla 75 dB:stä alkaen. Avotoimistoissa taustamelun taso on keskimäärin 46–58 dB(A) (Navai & Veitch, 2003), joten auditoriset vaikutukset eivät ole yleisesti ottaen ongelmana avotoimistoissa.

Sen sijaan melu vaikuttaa toimistotyöntekijöihin ei-auditorisesti. Yleisin melun ei-auditorinen haittavaikutus on häiritsevyys (*annoyance*) (Cohen & Weinstein, 1981; Kjellberg ym., 1996). Melun häiritsevyys on laaja käsite, jolla voidaan tarkoittaa sekä äänen välitöntä häiritsevyyttä kognitiivisen toiminnan kannalta että subjektiivista kokemusta äänen häiritsevyydestä (Guski

ym., 1999). Melun subjektiiviseen häiritsevyyteen liitettyjä käsitteitä ovat esimerkiksi haitta, häiriö, epämiellyttävyys, hermoille käyminen ja ärsytys. Melun häiritsevyyteen voi liittyä kielteisiä reaktioita, kuten vihaa, ärsytystä ja uupumusta (Öhrström ym., 2006). Melun häiritsevyys voi johtaa myös stressireaktioon, stressioireisiin ja sitä kautta sairastumiseen (van Dijk ym., 1987).

1.3 Äänen kokeminen meluksi

Monet tekijät vaikuttavat siihen, koetaanko ääni meluna vai ei. Äänen kokeminen meluksi on subjektiivista, eli kaikki eivät koe melua samoin. Banbury ja Berry (2005) kokosivat yhteen tietoa tutkimuksista, joissa on käsitelty avotoimistoissa työskentelevien kokemuksia melusta. Keskeisenä havaintona oli, että toimistotyöntekijöiden raportoimat häiriöt eivät liittyneet avotoimistojen yleiseen taustamelutasoon, vaan yksittäiset poikkeavat äänet häiritsivät työntekijöitä eniten. Toisaalta taustäänitason noustessa liian voimakkaaksi, myös se aiheuttaa vastustusta (Warnock, 1973; Haapakangas ym., 2017). Yleensä toimistoissa muut tekijät vaikuttavat melun häiritsevyyteen äänen voimakkuutta enemmän (Kjellberg & Landström, 1994). Epäsäännöllinen melu on haitallisempaa suoriutumiseen kuin jatkuva melu, jossa ei ole taukoja tai intensiteetti muutoksia (Szalma & Hancock, 2011). Jatkuvat äänet ovat ennustettavia, minkä takia niihin on helpompi tottua (Kjellberg ym., 1996). Tasaiset ja ennustettavat äänet eivät yleisesti ottaen häiritse subjektiivisesti tai vaikuta kognitiiviseen suoriutumiseen.

Äänen fysikaalisten ominaisuuksien ohella myös muut äänen piirteet, kuten sen kontrolloitavuus (Kjellberg ym., 1996), tarpeellisuus ja informaation sisältö (Oswald ym., 2000) vaikuttavat melun kokemiseen. Kokemus mahdollisuudesta vaikuttaa ääneen vähentää sen häiritsevyyttä (Kjellberg ym., 1996). Informaation sisällöltään vähäisiä tai kuulijalle olennaisia ääniä ei koeta niin herkästi meluna (Oswald ym., 2000).

Taustapuhe on erityisen haitallista, koska se on vaihtelevaa, epäsäännöllistä ja informaatiota sisältävää, mutta tarpeetonta. Taustapuheen vaikutusten kannalta puheen erotettavuus on voimakkuutta olennaisempi tekijä (Roelofsen, 2008). Meta-analyysin mukaan epäsäännöllinen taustapuhe häiritsee suorituskyykyä jatkuvaa puhetta enemmän (Szalma & Hancock, 2011). Lisäksi on huomattu, että vain toispuoleisen keskustelun kuuleminen koetaan dialogeja häiritsevämmäksi (Marsh ym., 2018). Avotoimistoissa taustapuhe sisältää paljon puhelinkeskusteluja, joista kuuluu vain keskustelun toinen puoli.

Myös yksilölliset tekijät vaikuttavat äänen kokemiseen meluksi (Shepherd ym., 2010). Yksi keskeisimmistä henkilökohtaisista ominaisuuksista, joka on yhteydessä melun kokemiseen ja sen aiheuttamiin reaktioihin, on meluherkkyys (*noise sensitivity*) (Kjellberg ym., 1996; Park ym., 2017). Meluherkkyys on yhteydessä yksilön kokemaan melun häiritsevyyteen (Park ym., 2018; Ryu & Jeon, 2011). Lisäksi meluherkät ovat alttiimpia melusta johtuvalle kognitiivisen suorituskyvyn heikkenemiselle (Belojević ym., 1992) ja melun fysiologisille vaikutuksille (Waye ym., 2002). Meluherkkyys on ainakin osittain perinnöllistä (Heinonen-Guzejev ym., 2005). Se on yhteydessä keskushermostossa tapahtuviin äänen prosessoinnin mekanismeihin (Kliuchko ym., 2018). Meluherkillä aivojen harmaan aineen määrä on lisääntynyt auditorisen tiedon käsittelyyn osallistuvilla aivoalueilla. Lisäksi meluallistuksen aikana meluherkkien aivosähkökäyrät (EEG) reagoivat kaikkiin ääniin, kun muilla vastaava reaktio syntyy vain kaikkein häiritsevimpiin ääniin.

Yksilöllisistä ominaisuuksista myös ikä (Gerven ym., 2009) ja sukupuoli (Kjellberg ym., 1996) ovat yhteydessä melun kokemiseen. Naisten arviot melun häiritsevyydestä ovat miehiä korkeampia. Iällä ja melun kokemisella on kurvilineaarinen yhteys (Gerven ym., 2009). Keski-ikäiset raportoivat häiritsevästä melusta nuoria ja vanhoja enemmän.

1.4 Melun arviointi

Melun objektiivinen arviointi ei ole yksinkertaista, sillä kuten edellä on mainittu, useat eri tekijät vaikuttavat melun kokemiseen, eivätkä ihmiset koe ääntä meluksi samalla tavalla. Äänen voimakkuutta mitataan tyypillisesti desibeliasteikolla (dB). Desibelit eivät vastaa täysin kokemusta äänen voimakkuudesta sillä kuulon herkkyys on taajuusriippuvainen (Cohen & Weinstein, 1981). Käyttäytymistutkimuksissa käytetään tästä syystä usein A-taajuuspainotettua desibeliskaalaa (dB(A)) (*A-weighted equivalent sound pressure level*), joka kuvaa paremmin ihmisten kokemusta äänestä. Toisaalta tutkimukset ovat osoittaneet, ettei äänenvoimakkuus kuvaa äänen häiritsevyyttä kovinkaan hyvin, kun on kyse taustapuheesta (Ellermeier & Hellbrück, 1998). Äänen voimakkuuden sijaan tulisi keskittyä puheen erotettavuuden arviointiin, sillä se on keskeisin puheen häiritsevyyteen vaikuttava tekijä.

Puheen erotettavuus on subjektiivinen käsite, joka kertoo, kuinka suuri osa puheesta kuullaan oikein. Puheen erotettavuutta voidaan arvioida subjektiivisin kuuntelukokein (Liebl ym., 2012) tai objektiivisesti mittaamalla signaali-kohinasuhdetta tai puheensirtoindeksiä (STI, *Speech Transmission Index*) (Steeneken & Houtgast, 1980). Puhensirtoindeksi on objektiivisista menetelmistä parempi, koska se huomioi akustisia tekijöitä signaali-kohinasuhdetta paremmin.

Puheensiirtoindeksiä käytetään yleisesti huoneakustiikan arvioinnissa ja suunnittelussa (ISO 3382-3, 2012). Se kertoo laskennallisesti oikein kuulujen tavujen osuuden taustapuheesta. Esimerkiksi STI-arvo 0,40 tarkoittaa, että noin 40 % tavuista kuullaan oikein. Puheensiirtoindeksin laskennassa huomioidaan äänilähteen etäisyys kuulijasta sekä tilan akustiset ominaisuudet eli kaiunta-aika ja taustäänitaso (Virjonen ym., 2009). Tutkimusten mukaan puheensiirtoindeksillä voidaan ennustaa sekä puheen aiheuttamia kognitiivisia vaikutuksia (Haapakangas ym., 2020) että subjektiivista häiritsevyyttä (Haka ym., 2009). Ympäristöministeriön ohjeen mukaan avoimien toimistotilojen puheensiirtoindeksin tulisi olla enintään 0,5, kun etäisyys puhujaan on yli 8 metriä (Kylliäinen & Hongisto, 2019).

1.5 Melun vaikutukset toimistoissa

Melulla on havaittu subjektiivisia, kognitiivisia ja fysiologisia vaikutuksia ihmiseen. Szalman & Hancockin (2011) meta-analyysissä melun haittavaikutuksia voitiin selittää parhaiten maksimaalisen sopeutumiskyvyn mallilla (Hancock & Warm, 1989) ja resurssipohjaisella kompensatiomallilla (Robert & Hockey, 1997). Molemmat pohjautuvat näkemykseen, jonka mukaan suorituskykyä voidaan ylläpitää samana erilaisissa stressitilanteessa, kuten melussa, kompensoimalla tilannetta mentaalisilla lisäresursseilla. Toisin sanoen melun vaikutuksia suorituskykyyn voidaan estää muuttamalla toimintastrategiaa. Kognitiivinen suorituskyky voidaan ylläpitää samana melun aikana lisäämällä esimerkiksi ponnisteluja tai tarkkaavuutta tehtävää kohtaan. Mentaalisten lisäresurssien myötä melun subjektiivinen häiritsevyys voi kuitenkin lisääntyä. Jos toimintastrategian muutokset eivät ole riittäviä tai ne vievät liikaa kapasiteettia ensisijaisesta tehtävästä, melun vaikutukset näkyvät myös suoriutumisen. Täten melututkimuksissa on tärkeä huomioida sekä subjektiiviset kokemukset, että kognitiivinen suorituskyky. Useimmiten melu vaikuttaa subjektiivisiin kokemuksiin herkemmin kuin kognitiiviseen suoriutumiseen (ks. esim. Schlittmeier ym., 2008), mutta joissakin tutkimuksissa tulos on ollut päinvastainen (Jahncke ym., 2016).

1.5.1 Melun subjektiiviset vaikutukset toimistoissa

Avotoimistotyöntekijöiden kokemuksia melusta on selvitetty useissa kenttätutkimuksissa, joissa melu on yhdistetty esimerkiksi heikompaan työtyytyväisyyteen (Sundstrom ym., 1994), keskittymisvaikeuksiin, itsearvioituun työsuoriutumiseen (Kaarlela-Tuomaala ym., 2009) ja itsearvioituun tuotteliaisuuteen (Mak & Lui, 2012). Vaikka monet tutkimukset ovat osoittaneet puhemelun olevan kaikkein häiritsevintä melua avotoimistoissa (ks. esim. Pierrette ym., 2015),

vain harvassa kenttätutkimuksessa on eritelty juuri puhemelum yhteyksiä työntekijöiden kokemuksiin. Di Blasio ym. (2019) selvittivät avotoimistoissa ja jaetuissa toimistohuoneissa työskentelevien kokemuksia taustapuheesta. Tutkimuksen mukaan taustapuheen yleisin subjektiivinen haittavaikutus oli siitä johtuva keskittymishaitta. Seuraavaksi eniten taustapuheen koettiin aiheuttavan emotionaalisia seurauksia, kuten vihaa ja motivaation laskua, sekä fyysisiä oireita, kuten väsymystä ja päänsärkyä. Kaikkia puhemelum haittavaikutuksia raportoitiin merkitsevästi enemmän avotoimistoissa kuin jaetuissa toimistohuoneissa.

Avotoimistomelum subjektiivisia vaikutuksia on tutkittu myös laboratoriokokeissa. Wittersehin ym. (2004) ja Sanderin ym. (2021) tutkimuksissa verrattiin koehenkilöiden kokemuksia, kun he tekivät kognitiivisia tehtäviä avotoimiston ääniympäristössä ja tyhjän toimiston ääniolosuhteissa. Avotoimistoa simuloivat äänitilanteet sisälsivät puhetta ja muita avotoimiston ääniä. Vertailutilanteissa oli vain ilmastoinnin ja tuulettimien ääniä. Wittersehin ym. (2004) tutkimuksessa avotoimistomelum aikana koettiin väsymystä ja keskittymisvaikeuksia merkitsevästi enemmän kuin vertailutilanteessa. Sanderin ym. (2021) tutkimuksessa avotoimistojen äänitilanne alensi erityisesti mielialaa. Edellä mainituissa laboratoriokokeissa melu sisälsi myös muuta kuin puheääntä ja oli äänenvoimakkuudeltaan kovempaa kuin vertailutilanteessa, joten tuloksia ei voida yleistää juuri puhemelumusta johtuviksi.

Parhaiten puhemelum itsenäisiä vaikutuksia voidaan tutkia laboratoriokokeissa, joissa puhemelum verrataan äänenvoimakkuudeltaan ja spektriltään samantasoiseen meluun, joka ei sisällä puhetta. Tällaista asetelmaa ovat käyttäneet esimerkiksi Radun ym. (2021) ja Venetjoki ym. (2006). Kokeissa koehenkilöt suorittivat äänitilanteiden aikana kognitiivisia tehtäviä ja vastasivat ääniympäristöä käsitteleviin kyselyihin. Tutkimusten perusteella puhe oli merkitsevästi häiritsevämpää kuin puhetta sisältämätön melu. Lisäksi tehtävien tekeminen arvioitiin merkitsevästi kuormittavammaksi puhemelum aikana verrattuna tilanteeseen, jossa ei ollut puhetta.

Puheen erotettavuuden on huomattu olevan yhteydessä melun subjektiivisiin vaikutuksiin. Puhensiirtoindeksin kasvaessa, eli puheen erotettavuuden lisääntyessä, koettu äänen häiritsevyys lisääntyy, vaikka äänenpainetaso pysyisi samana (Haapakangas ym., 2014; Haka ym., 2009; Schlittmeier ym., 2008). Tutkimuksissa on huomattu, että puheen erotettavuuden vähentyessä akustinen tyytyväisyys lisääntyy (Haapakangas ym., 2011; Haka ym., 2009; Veitch ym., 2002). Lisäksi puheen erotettavuuden kasvaessa työkuorma koetaan suurempana (Haapakangas ym., 2011) ja tehtävät haastavampina (Ebissou ym., 2015; Haka ym., 2009).

Yhden tutkimuksen mukaan keskittyminen korkean puheen erotettavuuden aikana koettiin haastavampana ja työskentely turhauttavampana sekä psyykkisesti vaativampana verrattuna työskentelyyn matalalla puheen erotettavuudella (Liebl ym., 2012).

1.5.2 Melun kognitiiviset vaikutukset

Toimistoissa tehtävä tietotyö edellyttää usein tarkkaa keskittymistä ja muita kognitiivisia prosesseja. Laboratoriotutkimuksissa on huomattu, että useat kognitiiviset toiminnot heikkenevät melun vaikutuksesta (ks. esim. Szalma & Hancock, 2011). Suoriutuminen heikkenee enemmän puhetta sisältävän toimistomelun vaikutuksesta kuin puhetta sisältämättömän toimistomelun vaikutuksesta (Banbury & Berry, 1998). Lisäksi puhe heikentää suorituskkyä enemmän kuin jatkuva melu samalla äänitasolla (Ellermeier & Zimmer, 1997). Szalman ja Hancockin (2011) meta-analyysin perusteella puheen efekti suorituskkyyn vaihtelee pienen ja keskikokoisen välillä (Hedgen $g = .43$). Ajoittaisella puheella oli meta-analyysissä suuri efekti kognitiiviseen suorituskkyyn (Hedgen $g = .80$). Lisäksi puhemelun vaikutuksen suuruus suorituskkyyn riippuu kognitiivisesta tehtävästä.

Colle ja Welsh (1976) havaitsivat, että epäolennainen taustapuhe heikentää suoriutumista sarjamuistitehtävässä, jonka suorittaminen edellyttää verbaalista lyhytkestoista muistia (*The Irrelevant Speech Effect*). Myöhemmin monet muut tutkimukset ovat toistaneet tuloksen (ks. esim. Haapakangas ym. 2020; Renz ym., 2018). Lisäksi puhemelun on huomattu häiritsevän monia erityisesti työmuistin toimintaan perustuvia tehtäviä, kuten kirjoittamista (Keus Van De Poll ym., 2014), oikolukua (Venetjoki ym., 2006; ks. myös Haka ym., 2009), päättelykykyä (Liebl ym., 2012) ja luetunymmärtämistä (Martin ym., 1988; ks. myös Haka ym., 2009). Vaikuttaa siltä, että melu ja erityisesti puhemelu vähentävät suorituskyvyn tarkkuutta ja lisäävät virheitä.

Tehtävän haastavuus vaikuttaa puhemelun suoriutumisvaikutuksiin (Kjellberg & Sköldström, 1991). Kaikkein yksinkertaisimpiin tehtäviin, kuten tarkkaavuustehtäviin tai Stroop-tehtävään puhemelu ei näytä vaikuttavan (Venetjoki ym., 2007). Myöskään erityisen monimutkaisiin tehtäviin, jotka edellyttävät esimerkiksi semanttista prosessointia tai visuaalista muistia, taustapuheen ei ole todettu vaikuttavan (Haka ym., 2009; Jahncke ym., 2013). Kaikkein eniten puhemelun häiritsee verbaaliseen lyhytkestoiseen muistiin ja työmuistiin toimintaa (Szalma & Hancock, 2011). Lyhytkestoinen muisti ja työmuisti ovat keskeisimpiä prosesseja ihmisten tiedonkäsittelyn kannalta. Puhemelu voi vaikuttaa niiden kautta moniin kognitiivisiin

toimintoihin, joita myös toimistotyötehtävien suorittaminen edellyttää (Jahncke ym., 2011; Liebl ym., 2012; Schlittmeier & Hellbrück, 2009).

Haapakangas ym. (2020) julkaisivat hypoteettisen mallin, joka ennustaa kognitiivisen suorituskyvyn heikkenemistä puheensiirtoindeksin avulla. Malli perustuu 34 kokeeseen, joissa on selvitetty puheensiirtoindeksin arvon vaikutusta kognitiiviseen suoriutumiseen. Tutkimuksen perusteella puheensiirtoindeksi oli vahvasti ja johdonmukaisesti yhteydessä kognitiiviseen suoriutumiseen tehtävissä, jotka edellyttivät verbaalista lyhytkestoista muistia. Selvästi erottuva puhe heikensi suoriutumista sarjamuistitehtävässä jopa 16 %. Lisäksi verbaalisen työmuistin ja puheensiirtoindeksin välisestä yhteydestä oli jonkin verran näyttöä. Mallin mukaan kognitiivinen suorituskyky alkaa heiketä puheensiirtoindeksin arvon ollessa 0,21, ja suurin heikentymisen taso saavutetaan puheensiirtoindeksin arvossa 0,44, josta eteenpäin heikentymisen taso pysyy samana.

1.5.3 Melun kognitiivisia vaikutuksia selittävät teoriat

Ei ole selvää, millä mekanismeilla melu häiritsee kognitiivista suorituskykyä. Jones ja Macken (1993) huomasivat, että melu heikentää sarjamuistitehtävässä suoriutumista, jos äänessä on riittävästi akustista vaihtelua. Havaintoa on selitetty muuttuvan äänitilan vaikutuksella (*Changing-state effect*), jonka mukaan auditoriset muutokset sekoittavat järjestyksen mielessä pitämistä. Mallin mukaan kaikki taustamelu, joka sisältää sävelkorkeudeltaan vaihtelevia ääniä, heikentää järjestyksen muistamista. Lisäksi erityisesti puhemelun on huomattu vaikuttavan suorituskykyyn monissa tehtävissä, joihin muuttuvan äänitilan selitystä ei voida soveltaa. Prosessien interferenssiteoria (*Interference-by-process theory*) voidaan nähdä muuttuvan äänitilan vaikutuksen laajenuksena, joka selittää paremmin puhemelun erityisyyttä. Sen mukaan äänet vaikuttavat kognitiiviseen suorituskykyyn, jos äänen ja tehtävän prosessointi edellyttävät samoja prosesseja (Jones & Tremblay, 2000). Prosessien interferenssiteorian mukaan äänet prosessoidaan automaattisesti ja puhemelu on erityisen häiritsevää, koska se on merkityksellistä. Näin ollen suoriutuminen heikkenee puhemelun vaikutuksesta tehtävissä, jotka edellyttävät semanttisen tiedon käsittelyä.

Lisäksi melun aiheuttamaa häiriötä on selitetty huomion kaappaamisen mallilla (*attentional capture*) (Escera ym., 1998). Mallin mukaan uudet ja yllättävät äänet suuntaavat huomiota pois ensisijaisesta tehtävästä, jolloin tehtäväsuoriutuminen heikkenee. Lisäksi äänet voivat suunnata huomion itseensä, jos ne ovat sisällöltään mielenkiintoisia tai kuulijalle relevantteja (Röer ym., 2013). Huomion kaappaamisen teoriaa tukee havainto siitä, että puhemelu ei vaikuta

suoriutumiseen monimutkaisissa tehtävissä lisääntyneen tehtävään uppoutumisen (*task engagement*) takia (Hughes, 2014).

Hughes ym. (2014) ovat yhteensovittaneet selitykset huomion kaappaamisesta ja prosessien interferenssiteoriasta kahden mekanismin malliksi (*The duplex-mechanism account*). Mallin mukaan selitykset eivät ole keskenään ristiriidassa, vaan osa auditorisista vaikutuksista johtuu huomion kaappaamisesta ja osa prosessien interferenssistä. Tämä näkemys taustapuheen vaikutuksista on saanut eniten vahvistusta (Sörqvist, 2010).

1.6 Puheen häiritsevyyden vähentäminen toimistoissa

Puheen ollessa kaikkein häiritsevintä melua avotoimistoissa tulisi melun vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden keskittyä puheen ja sen erotettavuuden vähentämiseen. Melua on pyritty avotoimistoissa vähentämään erilaisin ratkaisuin. Akustisten keinojen tarkoituksena on vaimentaa toimiston yleistä melutasoa tai vähentää puheen erotettavuutta. Puhemelua voidaan toimistoissa rajoittaa myös ajallisesti tai alueellisesti. Lisäksi työpaikoilla tarjotaan yhä enemmän kuulokkeita ja vastamelukuulokkeita henkilökohtaisina meluntorjuntavälineinä.

1.6.1 Tilaratkaisut ja toimistoetiketti

Puhemelun vaikutuksia voidaan säädellä tilojen järjestelyn kautta. Viimevuosina toimistomaailmassa on siirrytty enenevässä määrin monitilatoimistoihin (*activity-based office, flex-office*), joiden keskeisenä ideana on tarjota erilaisia tiloja vastaamaan erilaisten työtehtävien tarpeisiin (Engelen ym., 2019). Erilaisten tilojen avulla myös puhetta rajataan toimistoissa tietyille alueille. Monitilatoimistoissa on usein esimerkiksi hiljaisen työskentelyn tiloja keskittymistä vaativille tehtäville ja neuvotteluhuoneita tiimityöskentelylle, mutta avotoimistotilat ovat usein keskeisiä työympäristöjä myös monitilatoimistoissa. Tutkimusten perusteella puhe häiritsee työntekijöitä myös monitilatoimistoissa (Appel-Meulenbroek ym., 2011). Melu vaikuttaa kuitenkin olevan suurempi ongelma avotoimistoissa kuin monitilatoimistoissa (Rolfö ym., 2017; Haapakangas, 2017).

Taustapuhetta voidaan pyrkiä säätelemään avotoimistoissa myös toimistoetiketillä (Bradley, 2003). Työntekijöitä voidaan kannustaa puhumaan mahdollisimman vähän tai toimistoissa saatetaan määrittää erilliset hiljaisen työskentelyn ajat (Schlittmeier & Liebl, 2015). Tämä edellyttää kuitenkin työntekijöiltä jatkuvaa panostusta. Yhden kenttätutkimuksen mukaan

suurin osa työntekijöistä koki, ettei yhteisiä sääntöjä puhemelun vähentämiseksi noudatettu tai niitä ei ollut edes laitettu käytäntöön (Brennan ym., 2002).

1.6.2 Huoneakustiset menetelmät

Yleisimmät huoneakustiset menetelmät, joiden avulla pyritään vähentämään melun haittavaikutuksia toimistoissa, ovat absorptiomateriaalien ja peittoäänien käyttö (Virjonen ym., 2009). Absorptiomateriaalien tarkoituksena on vähentää äänen heijastumista pinnoilta ja vaimentaa äänienergiaa. Absorptiomateriaaleja lisätään avotoimistoissa tyypillisesti seiniin, kattoihin ja sermeihin (Keränen ym., 2020). Absorptiomateriaalit eivät itsessään vähennä riittävästi puhemelun häiritsevyyttä (Haapakangas ym., 2014). Taustapuheen lisäksi ne vaimentavat myös muita ääniä samassa suhteessa, jolloin puheen erotettavuus ei vähene (Virjonen ym., 2007). Puheen erotettavuuden vähentämiseksi absorptiomateriaalien lisäksi tulisi käyttää peittoääntä.

Peittoäänien tarkoituksena on vähentää puheen erotettavuutta lisäämällä hallitusti toimiston taustamelutasoa (Haapakangas ym., 2011). Peittoääninä käytetään usein tasaisia ja ennustettavia ääniä, jolloin niiden avulla voidaan peittää haitallisemman puhemelun vaikutuksia. Tutkimustulokset peittoäänien toimivuudesta eroavat toisistaan paljon, mikä johtuu ainakin osittain siitä, että peittoäänijärjestelmät on standardoitu huonosti (Jahncke ym., 2016).

Peittoäänien eroavat toisistaan niin äänimateriaalin kuin voimakkuudenkin osalta. Yleisimmin peittoääninä käytetään erilaisia keinotekoisia ääniä (Keus Van De Poll ym., 2015). Tutkimusten mukaan peittoäänien tulisi vastata spektriltään puhetta (Veitch ym., 2002). Hongiston ym. (2015) tutkimuksessa selvitettiin, minkälainen peittoäänien spektri on yhteydessä parhaaseen akustiseen tyytyväisyyteen ja pienimpään häiritsevyyteen. Tutkimuksen perusteella matalataajuiset äänet, joiden spektri laskee 7 dB oktaavilla, koetaan miellyttävänä peittoääninä. Esimerkiksi suodatettu pinkki kohina, joka muistuttaa ilmanvaihdon ääntä, on todettu tutkimuksissa toimivaksi peittoääniksi (Haka ym., 2009). Lisäksi peittoääninä on käytetty luonnossa esiintyviä ääniä, joiden on ajateltu olevan luonnollisuutensa vuoksi hyväksyttävämpiä (Hongisto ym., 2015). Monissa muissa tutkimuksissa luontoäänien ei kuitenkaan ole osoittautuneet tehokkaiksi peittoääniksi, sillä niiden taajuus eroaa usein puheen spektristä, jolloin niitä tulee esittää kovemmalla äänenvoimakkuudella (Schlittmeier & Liebl, 2015). Tutkimuksilla on selvitetty myös parasta peittoäänien tasoa. Niiden perusteella suositeltava peittoäänijärjestelmän taso on 42 dB(A) (Hongisto & Kylliäinen, 2019). Yli 45

dB(A):n peittoäänien on huomattu aiheuttavan häiritsevyyttä ja vastustusta (Warnock, 1973; Lenne ym. 2020). Vastaavasti liian hiljainen peittoääni ei ole riittävä vähentämään taustapuheen erotettavuutta (Haapakangas ym., 2011).

1.6.3 Kuulokkeet ja vastamelukuulokkeet

Avotoimistojen työntekijät käyttävät myös henkilökohtaisia välineitä kuten kuulokkeita ja vastamelukuulokkeita torjuakseen melun haittavaikutuksia. Henkilökohtaisesti kontrolloitavien välineiden käyttöön saattaa liittyä muutamia etuja. Fyysiseen työympäristön liittyvällä kontrollintunteella on havaittu myönteisiä vaikutuksia työntekijöiden työympäristötyytyväisyyteen (Frontczak & Wargocki, 2011) sekä koettuun häiritsevyyteen ja suorituskyykyyn (Lee & Brand, 2010). Lisäksi henkilökohtaisilla välineillä työntekijät pystyvät sovittamaan meluntorjunnan määrää oman meluherkkyytensä ja tilanteesta johtuvan tarpeen mukaan. Kuulokkeiden käyttö saattaa myös viestittää muille työntekijöille, ettei työntekijää tule häiritä. Tutkimustietoa kuulokkeiden toimivuudesta puhemelun haittavaikutusten vähentämiseksi on erittäin niukasti.

Kuulokkeet voidaan jakaa neljään erilaiseen malliin (Rämö ym., 2013). Kuppikuulokkeet (*circum-aural*) asetetaan korvan ympärille, korvalappukuulokkeet (*supra-aural*) korvaleden päälle, nappikuulokkeet (*intra-concha*) korvakäytävän suulle ja tulppakuulokkeet (*in-ear*) korvakäytävään. Kuppikuulokkeet ja korvalappukuulokkeet suodattavat korvaan kantautuvaa ulkoista melua, sillä kuulokkeet muodostavat akustisen eristeen korvan päälle. Ne eivät kuitenkaan vähennä puheen erotettavuutta merkittävästi, sillä ne vaimentavat tasaisesti kaikkia ulkopuolelta tulevia ääniä. Nappikuulokkeiden ja tulppakuulokkeiden istuvuus korvakäytävässä vaikuttaa merkittävästi melunvaimennuksen toimivuuteen.

Jahncke ym. (2016) selvittivät kuulokkeiden toimivuutta puheäänien häiritsevyyden vähentämisessä. Kokeessa koehenkilöt kuuntelivat kuulokkeista ennalta äänitettyjä nauhoituksia. Nauhoitteissa keinopään korviin kantautuvaa ääntä oli äänitetty tilanteissa, joista toisessa keinopään korvien päälle oli asetettu kuulokkeet ja toisessa tilanteessa korvat olivat vapaana ilman kuulokkeita. Tutkimuksessa kuulokkeiden käyttämistä simuloiva äänitilanne ei vähentänyt puhemelun suoritusvaikutuksia sarjamuistitehtävässä verrattuna äänitteeseen, jossa ei ollut käytetty kuulokkeita. Lisäksi tutkimuksessa oli kaksi äänitilannetta, joissa kuulokeäänitteeseen, oli lisätty jälkikäteen tietokoneen avulla peittoääntä. Toinen peittoääni sisälsi luontoääniä ja toisessa oli yhdistetty samanaikaisesti 7 puheääntä. Tutkimuksessa luontoääniä sisältänyt peittoääni vähensi puheen suoritusvaikutuksia sarjamuistitehtävässä

verrattuna tilanteeseen, joka oli äänitetty ilman kuulokkeita. Kumpikaan peittoäänistä ei vähentänyt kokemusta tehtävän kuormittavuudesta.

Oldhamin ym. (1995) kenttätutkimuksessa osa avotoimiston halukkaista työntekijöistä sai kuunnella kuulokkeista musiikkia työpäivän aikana. Musiikkia kuunnelleiden ryhmässä työsuoriutumisen, työtyytyväisyys ja mieliala olivat parempia verrokkeihin nähden. Työn vaativuus kuitenkin vaikutti merkittävästi kokemuksiin kuulokkeista kuunnellun musiikin hyödyllisyydestä. Yksinkertaisemmissa töissä kuulokkeista soitetun musiikin vaikutus oli positiivinen, mutta haastavan työnkuvan työntekijöillä vaikutukset olivat negatiivisia.

Perinteisten kuulokkeiden lisäksi henkilökohtaisena meluntorjuntavälineenä käytetään myös vastamelukuulokkeita (*active-noise-cancelling headphones*). Vastamelukuulokkeiden toiminta perustuu akustisen eristyksen lisäksi aktiiviseen melunpoistoon (*active noise cancellation*). Aktiivinen melunpoisto on tekniikka, jolla luodaan melusignaalin kanssa vastavaiheessa oleva ääniaalto (Elliot, 2002). Vastamelukuulokkeiden kuulokeosassa on mikrofoni, joka havaitsee ylimääräisen äänen. Melusignaali prosessoidaan ja prosessoidun signaalin perusteella luodaan vastavaiheinen äänisignaali kuulokkeista toistettavaksi. Vastavaiheisten ääniaaltojen kohdatessa syntyy summa-aalto, jonka amplitudi on nolla ja teoriassa lopputuloksena on meluäänen vaimentuminen. Aktiivinen äänenpoisto on tehokkaimmillaan, kun poistettavan melun taajuus on matala (alle 1000 Hz) eikä taajuudessa tapahdu äkillisiä muutoksia (Elliot, 2001). Puheäänen taajuus on korkea (500–3000 Hz) ja se muuttuu nopeasti. Vastamelukuulokkeet vaimentavat siis vain puheen alimpia taajuuksia, jotka eivät ole olennaisia puheen erotettavuuden kannalta. Näin ollen vastamelukuulokkeiden ei voida olettaa vähentävän taustapuheen koettua häiritsevyyttä tai parantavan kognitiivista suoriutumista.

Di Blasion ym. (2019) mukaan vastamelukuulokkeet ovat yksi yleisimmistä henkilökohtaisista meluntorjuntakeinoista avotoimistoissa. Vastamelukuulokkeiden toimivuudesta puhemelun haittavaikutusten vähentämisessä ei ole juurikaan tutkimusta. Vastameluominaisuuden sisältävien nappikuulokkeiden toimivuutta melun häiritsevyyden vähentämisessä selvitettiin avotoimistossa toteutetussa kenttäkokeessa (Kari ym., 2017). Niiden koettiin vaimentavan melua, mutta tutkimuksessa ei kiinnitetty erityistä huomiota puhemeluun. Työntekijät kokivat vastamelukuulokkeiden käytön hankalaksi ja epämiellyttäväksi, eikä niiden käyttöä suositeltu tutkimuksen perusteella. Tutkimuksessa ei mainittu, tuliko työntekijöiden pitää vastamelutoimintoa päällä jatkuvasti. Müllerin ym. (2019) konferenssitutkimuksen mukaan korvien päälle asetettavilla vastamelukuulokkeilla ei ollut vaikutusta työmuistitehtävässä

suoriutumiseen, mutta keskittymiskyky arvioitiin paremmaksi vastamelutoiminnon ollessa päällä verrattuna tilanteeseen, jossa kuulokkeita ei käytetty. Kuulokkeet vähensivät myös subjektiivista kokemusta melun häiritsevyydestä, mutta vastamelutoiminto ei itsenäisesti vaikuttanut häiritsevyyteen.

1.7 Tutkimuksen tarve ja tutkimuskysymykset

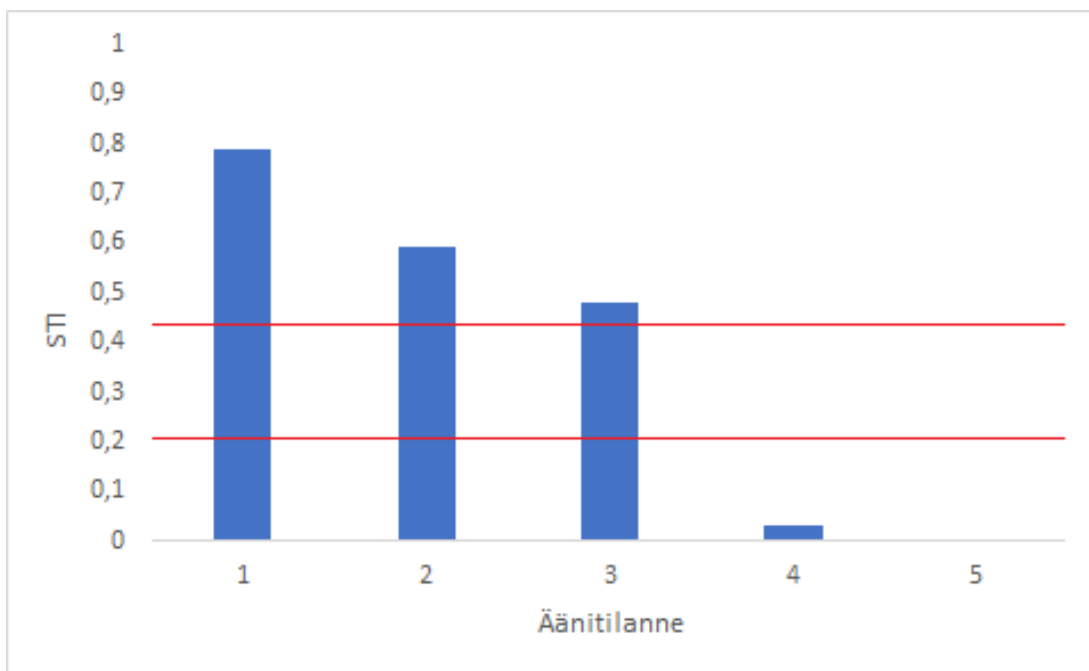
Puhemelu häiritsee useita toimistotyöntekijöitä ympäri maailmaa, mikä voi johtaa esimerkiksi alentuneeseen työtyytyväisyyteen, työmotivaatioon ja suorituskykyyn. Tutkimusnäyttö puhemelun haittavaikutuksista osoittaa, että tarvitaan yhä enemmän tietoa keinoista, joilla voidaan vähentää puheen häiritsevyyttä avotoimistoissa. Puheen erotettavuutta vähentämällä on onnistuttu vähentämään puhemelun subjektiivisia ja kognitiivisia haittavaikutuksia (Haapakangas ym., 2014). Tämä edellyttää kuitenkin useiden melun vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden yhdistämistä. Avotoimistoissa tulee olla riittävät etäisyydet työpisteiden välillä, sopiva peittoäänijärjestelmä, riittävästi absorptiomateriaaleja ja sermejä. Lisäksi yhteinen toimistoetiketti ja riittävä määrä vaihtoehtoisia työskentelytiloja, kuten puhelinkoppeja ja neuvotteluhuoneita, auttavat vähentämään puhemelun määrää. Edellä mainitut toimenpiteet vaativat organisaatiolta merkittäviä resursseja. Henkilökohtaiset välineet saattaisivat olla yksinkertainen ja kustannustehokas vaihtoehto torjua puhemelun haittoja, minkä takia yhä useammassa työpaikassa tarjotaan erityisesti vastamelukuulokkeita työntekijöille. Vastamelukuulokkeiden saatetaan uskoa vähentävän puhemelun haittoja, mutta kuulokkeisiin liittyvien teknisten ominaisuuksien perusteella ne eivät vähennä puheen erotettavuutta merkittävästi. Sen sijaan kuulokkeista tai vastamelukuulokkeista toistetulla peittoäänellä voidaan vähentää puheen erotettavuutta. Tutkimusta vastamelukuulokkeiden ja niistä toistettujen peittoäänien toimivuudesta melun haittavaikutusten vähentämisessä ei tiettävästi ole tehty.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voidaanko kuulokkeilla, niiden vastamelutoiminnolla tai niihin yhdistetyllä peittoäänellä vähentää puhemelun suoritusvaikutuksia tai subjektiivista häiritsevyyttä. Aiempien tutkimusten, kuulokkeiden ja vastamelutoiminnon teknisten ominaisuuksien sekä koetta edeltäneiden psykoakustisten mittauksen (kuva 1) perusteella hypoteesina on, että kuulokkeista soitettavien peittoäänien avulla voidaan vähentää puhemelun häiritsevyyttä ja suoritusvaikutuksia. Sen sijaan ilman peittoääntä kuulokkeiden tai vastameluasetuksen ei uskota vähentävän puhemelun haittoja. Tutkimuksessa huomioidaan koehenkilöiden meluherkkyys, sillä se on tutkimusten perusteella

merkittävässä yhteydessä melun subjektiivisiin ja kognitiivisiin vaikutuksiin (Kjellberg ym., 1996; Park ym., 2017).

Kuva 1

Puheensiirtoindeksi (STI) kokeen äänitilanteissa. Alempi punainen viiva kuvaa puheensiirtoindeksin arvoa, jossa kognitiivinen suorituskky alkaa heiketä ja ylempi punainen viiva kuvaa puheensiirtoindeksin arvoa, jossa saavutetaan suurin heikentymisen taso (Haapakangas ym., 2020)



Äänitilanteet: 1 = ei kuulokkeita, 2 = kuulokkeet, 3 = vastamelutoiminto, 4 = kuulokkeista toistettu peittoääni, 5 = vastamelutoimintoon yhdistetty peittoääni

2 Menetelmät

2.1 Koeasetelma

Tutkimus toteutettiin toistomittauksena, jossa riippumattomana muuttujana oli äänitilanne. Äänitilanteet luotiin käyttämällä vastamelukuulokkeita ja niistä esitettyä peittoääntä eri asetuksin. Riippuvina muuttujina kokeessa tarkasteltiin kognitiivista suoriutumista ja subjektiivisia kokemuksia. Taustatekijänä kokeessa määritettiin koehenkilöiden meluherkkyys, jota käytettiin tutkimuksessa kovariaattina, sillä sen tiedetään olevan yhteydessä melun suoritusvaikutuksiin ja koettuun häiritsevyyteen. Tutkimus noudatti hyvän tieteellisen käytännön periaatteita. Tutkimukseen osallistuminen oli vapaaehtoista ja osallistumisen sai keskeyttää missä tahansa vaiheessa. Koehenkilöt saivat palkkioksi osallistumisestaan 30 euron arvoisen lahjakortin. Turun ammattikorkeakoulun eettinen toimikunta on antanut tutkimussuunnitelmalle puoltavan lausunnon (28.4.2020, Lausunto 1/2020).

2.2 Koehenkilöt

Lopulliseen aineistoon kuului 52 koehenkilöä (29 naista ja 23 miestä). Koehenkilöt olivat 19–48-vuotiaita (ka = 23.7 vuotta). Heidän tuli olla suomea äidinkielen tasoisesti puhuvia, perusterveitä ja normaalikuuloisia, joka varmistettiin kokeessa audiologisella kuulokynnystestillä. Koehenkilöt rekrytoitiin pääasiassa Turun korkeakouluopiskelijoiden sähköpostilistoilta mahdollisimman laajasti eri aloilta. Kokeeseen osallistui yhteensä 57 koehenkilöä, joista viisi jätettiin pois lopullisesta aineistosta. Kolmella koehenkilöllä silmälasit estivät kuulokkeiden huolellisen asettelemisen, yksi koehenkilö keskeytti kokeen tekemisen ja yksi koehenkilö poistettiin aineistosta merkittävän univajeen takia.

2.3 Kokeen ääniympäristö

2.3.1 Puheääni

Tutkimuksen taustaäänenä käytettiin puheääntä, sillä se on häiritsevintä ääntä avotoimistoissa (ks. esim. Schlittmeier & Liebl, 2015). Puheääntä esitettiin jatkuvana kaikkien koeosioiden aikana. Tutkimus tehtiin ilman hiljaista äänitilannetta, koska puhemelun vaikutukset kognitiiviseen suoriutumiseen ja subjektiivisiin kokemuksiin on osoitettu useissa tutkimuksissa (Haapakangas ym., 2020; Haka ym. 2009). Puheäänien taso oli 52 dB(A) kohdassa, jossa koehenkilöt työskentelivät. Ääni vastaa puheäänien tasoa avotoimistoissa, kun puhuja on noin

kahden metrin etäisyydellä (Hongisto ym., 2016). Puhemateriaalina käytettiin Tove Janssonin Muumi-äänikirjoista otettuja lauseita, joiden järjestys oli sekoitettu. Lauseet olivat toisistaan irrallisia lauseita tai pää- ja sivulauseita, jotka muodostuivat 3–8 sanasta. Lauseiden sekoittamisella pyrittiin jäljittelemään puhelinkeskustelun kuulemista. On nimittäin näyttöä, että vain toisen puolen keskustelun kuuleminen häiritsee kokonaisen dialogin kuulemista enemmän (Marsh ym., 2018; Emberson, 2010). Lauseista oli poistettu erisnimet ja muut tunnistettavat yksityiskohdat. Kaikki lauseet olivat saman miehen lukemia. Puheääni esitettiin käyttämällä Windows Media Player 12:ta ja Rubix 22 -äänikorttia (Roland Co.), josta ääni ohjattiin kahteen huoneen perällä olevaan kaiuttimeen (Genelec 8020).

2.3.2 Taustakohina

Koko tutkimuksen ajan tutkimuhuoneessa esitettiin taustakohinaa neljän katossa olevan peittoäänikaiuttimen (Cambridge Qt 100) kautta. Taustakohinan taso oli 33dB(A), joka vastaa ilmastoinnin äänentasa toimistoissa. Koehuoneen taustakohina oli ympäristöministeriön suositusspektrin mukainen (Hongisto & Kylliäinen, 2019). Taustakohinan terssikaista oli 100–10 000 Hz ja sen spektri laski 7dB oktaavilla, mikä on todettu tutkimuksissa miellyttäväksi taustääneksi (Hongisto ym., 2015).

2.3.3 Kokeen äänitilanteet

Kaikki koehenkilöt suorittivat kokeen viidessä erilaisessa äänitilanteessa, jotka luotiin käyttämällä kuulokkeita, niiden vastamelutoimintoa ja kuulokkeista toistettua peittoääntä eri yhdistelmin. Puheääni ja taustääni olivat huoneessa koko ajan samalla tasolla. Äänitilanteet ja niihin liittyvät mittaustulokset on esitetty taulukossa 1. Äänitilanteiden järjestys oli satunnaistettu, koska niiden vastabalansointi ei ollut mahdollista, sillä erilaisia äänitilanteiden järjestyksiä olisi ollut yhteensä 120. Kuulokkeina käytettiin yleisesti markkinoilla olevia keskihintaisia JBL TUNE 750BTNC -vastamelukuppikuulokkeita. Kuppikuulokkeet peittävät korvat, joten ne vaimentavat ääntä 10 dB:n verran. Äänitilanteissa 4 ja 5 kuulokkeista toistettiin peittoääntä 51 dB(A):n tasolla. Peittoääni oli laajaspektristä kohinaa. Sen taajuusalue oli 250–8000 Hz ja äänen spektri laski 5dB oktaavilla.

Kokeen tarkoituksena oli selvittää kuulokkeiden, vastamelutoiminnon ja peittoäänien itsenäisiä vaikutuksia sekä näiden yhdistelmiä puhemelon haittavaikutusten vähentämisessä. Äänitilanteessa 1 koehenkilöt tekivät tehtäviä ilman kuulokkeita. Äänitilannetta käytettiin tutkimuksessa referenssitilanteena, koska tilanteessa puhemelua ei ole pyritty vähentämään.

Äänitilanteessa 2 koehenkilöillä oli pelkät kuulokkeet, eli äänitilanteen tarkoituksena oli tarkastella, voidaanko puhemelum haittavaikutuksia vähentää itsenäisesti kuulokkeiden avulla. Äänitilanteessa 3 kuulokkeiden vastamelutoiminto oli päällä. Sen tarkoituksena oli selvittää, voidaanko vastamelukuulokkeiden avulla vähentää puhemelum vaikutuksia. Äänitilanteessa 4 kuulokkeista toistettiin peittoääntä, jotta voitiin selvittää kuulokkeista toistetun peittoäänän itsenäistä vaikutusta. Viidennessä äänitilanteessa peittoäänän lisäksi myös vastamelutoiminto oli päällä. Kaikki viisi äänitilannetta valittiin kokeeseen, jotta pystyttiin selvittämään vastamelutoiminnon ja peittoäänän itsenäisiä vaikutuksia yhdistelmävaikutusten lisäksi. Kuulokkeet aseteltiin huolellisesti korville kokeenjohtajan opastuksella äänitilanteissa 2–5.

Kaikki äänitilanteet mitattiin ennalta käyttämällä pään ja torson simulaattoria (HBK, HATS 4100), jonka korvissa on mikrofoni. Mittauksissa äänitilanteille laskettiin taulukossa 1 esitetyt puheensiirtoindeksin (STI) arvot. Ennakkomittausten perusteella kuulokkeet tai vastamelutoiminto eivät ole riittäviä puhemelum haittojen vähentämisessä, mutta kuulokkeista toistetulla peittoäänellä voidaan vähentää riittävästi puheensiirtoindeksiä.

Taulukko 1

Kokeen äänitilanteisiin liittyvät äänenpainetasot ja puheensiirtoindeksi (STI).

Äänitilanne	Puheääni	Taustakohina	Kokonaisääni	STI
1. Ei kuulokkeita	52	33	52	0.79
2. Kuulokkeet, ei vastamelutoimintoa tai peittoääntä	42	23	42	0.59
3. Kuulokkeet ja vastamelutoiminto, ei peittoääntä	36	28	36	0.48
4. Kuulokkeet ja peittoääni, ei vastamelutoimintoa	41	51	51	0.03
5. Kuulokkeet, vastamelutoiminto ja peittoääni	36	51	51	0.00

STI (Puheensiirtoindeksi, IEC 60268-1:2011).

2.4 Kognitiiviset tehtävät

Koehenkilöt työskentelivät tietokoneilla, joiden käyttöjärjestelmänä oli Ubuntu. Tehtävät esitettiin MATLAB-ohjelmiston (The MathWorks Inc) versiolla 3.0.14 ja Psychtoolbox – 3 (PTB; psychtoolbox.org) paketilla. Riippuviksi muuttujiksi kokeeseen valittiin verbaalisen lyhytkestoisen muistin ja verbaalisen työmuistin tehtävät, koska niiden tiedetään olevan herkkiä puhemelum haittavaikutuksille. Lisäksi Haapakankaan ym. (2020) tutkimuksessa löydettiin yhteys näiden prosessien ja puheensiirtoindeksin väliltä.

2.4.1 Orientaatiotehtävä

Jokainen viidestä koetilanteesta alkoi orientaatiotehtävällä, jonka tarkoituksena oli totuttaa koehenkilöt uuteen äänitilanteeseen. Orientaatiotehtävässä sovellettiin Kaakisen ym. (2003) luetunymmärtämistehtävää, joka käsittelee etäisiä pikkuvaltioita Andorraa, Anguillaa, Hondurasia ja Pitcairnia. Koehenkilöiden tehtävänä oli lukea teksti ja arvioida sen jälkeen tekstiä käsittelevien väittämien oikeellisuutta. Jokainen tekstipätkä näkyi tietokoneen näytöllä puolitoista minuuttia, jonka jälkeen näytölle ilmestyi neljä väittämää tekstistä. Koehenkilöiden tehtävänä oli vastata, ovatko esitetyt väittämät oikein vai väärin. Vastausaikaa ei rajoitettu, mutta koehenkilöitä pyydettiin vastaamaan melko nopeasti. Jokaisessa koetilanteessa käsiteltiin pikkuvaltioita eri näkökulmista, jotka olivat ilmasto, sijainti ja luonnonolot, historia, hallinto, talous sekä väestö ja kieli. Tekstit esitettiin kaikille koehenkilöille samassa järjestyksessä. Tehtävä edellyttää uuden tiedon prosessointia, kuten luetun ymmärtämistä ja muistiin tallentamista, sekä muistista palauttamista. Tekstissä kuvattiin melko tuntemattomia valtioita, minkä tarkoituksena oli vähentää aiempien tietojen vaikutusta tehtäväsuoritukseen. Tehtävän tarkoituksena oli totuttaa koehenkilöt uusiin äänitilanteisiin, joten se jätettiin analyysien ulkopuolelle.

2.4.2 Sarjamuistitehtävä

Lyhytkestoista muistia mitattiin visuaalisen sarjamuistin tehtävällä (Ellermeier & Hellbrück, 1998). Tehtävä on yleisimmin melututkimuksissa käytetty, ja sen tiedetään olevan herkkä puhemelman vaikutuksille (Szalma & Hancock, 2011). Haapakankaan ym. (2020) tutkimuksessa puheensiirtoindeksillä voitiin ennustaa vahvasti ja johdonmukaisesti sarjamuistitehtävässä suoriutumista, joten tehtävä soveltuu tutkimusasetelmaan hyvin. Tehtävässä numerot 1–9 esitetään koehenkilöille satunnaisessa järjestyksessä tietokoneen näytöltä. Numerot näkyvät yksi kerrallaan sekunnin ajan, ja numeroiden välissä on 1,5 sekunnin tauko. Koko numerosarjan esittämistä seuraa 10 sekunnin tauko, jonka jälkeen koehenkilöiden tehtävänä on toistaa numerot esitysjärjestyksessä klikkaamalla hiirellä numeroita vastausruudukosta. Vastausaika on 15 sekuntia. Vastauksen antamisen jälkeen tai vastausajan päätyttyä seuraava sarja esitetään automaattisesti. Jokaisessa koeosiossa esitettiin yhteensä 11 sarjaa, mutta jokaisessa koeosiossa ensimmäinen sarja jätettiin analyysien ulkopuolelle, jotta koehenkilöt ehtivät tottua tehtävään. Tehtävässä mitattiin oikein menneiden numeroiden osuus toistoittain. Tehtävä kuormittaa erityisesti verbaalista lyhytkestoista muistia ja sillä voidaan arvioida kykyä ylläpitää mielessä muistiaineksen järjestystä. Sarjamuistitehtävän Cronbachin alfa on noin .85 (Ellermeier &

Zimmer, 1997). Lisäksi tehtävä on todettu stabiiliksi, eli sen tulokset ovat pysyviä tutkimuskertojen välillä (Hellbrück, Kuwano, & Namba, 1996).

2.4.3 N-back

Koehenkilöiden työmuistin prosessointikykyä arvioitiin N-back-tehtävän 3-back versiolla (Gray ym., 2003). 3-back-tehtävä edellyttää muistisisältöjen ylläpitämistä ja päivittämistä, kun taas sarjamuistitehtävä edellyttää ainoastaan lyhytkestoisen muistin ylläpitoa. Haapakankaan ym. (2014) tutkimuksessa tehtäväsuoriutuminen N-back tehtävässä riippui puheensirtoindeksistä erityisesti haastavammissa testiversioissa. N-back tehtävää on käytetty erityisesti työmuistiin liittyvissä neurokuvantamistutkimuksissa (Conway ym., 2005). Tehtävässä koehenkilöiden tulee raportoida mahdollisimman nopeasti ja tarkasti, onko tietokoneen näytöllä näkyvä kirjain sama kuin n-kirjainta aiemmin ollut kirjain. Kokeessa koehenkilöt suorittivat tehtävästä 1-back ja 3-back versiot. 1-back versiossa ruudulla näkyvää kirjainta verrataan edelliseen kirjaimeseen ja 3-back versiossa kolme kirjainta aiemmin olleeseen kirjaimeseen. Kokeessa riippuvana muuttujana tarkasteltiin vain 3-back version tarkkuutta eli oikein menneiden vastausten osuutta. 1-back versio otettiin mukaan kokeeseen, jotta 3-back testi on helpompi ymmärtää.

Koehenkilöt vastasivat tehtävään painamalla näppäimistöä vasemmalle tai alaspäin osoittavaa nuolinäppäintä. Vasemmalle osoittavaa nuolinäppäintä tuli painaa, kun ruudulle ilmestynyt kirjain oli sama kuin n-kirjainta aiemmin ollut kirjain. Näppäin oli merkitty keltaisella K (kyllä) -tarralla. Vastaavasti alaspäin osoittava nuolinäppäin oli merkitty keltaisella E (ei) -tarralla ja sitä tuli painaa, kun kirjain ei ollut sama kuin n-kirjainta aiemmin ollut kirjain. Koehenkilöt vastasivat dominoivan käden etu- ja keskisormella siten, että sormet olivat koko tehtävän tekemisen ajan vastausnäppäinten päällä. Tehtävässä oli isoja ja pieniä kirjaimia. Uusi kirjain ilmestyi ruudulle heti, kun koehenkilö oli vastannut kohteeseen tai viimeistään 2,5 sekunnin kuluttua. Jokaisessa osiossa esitettiin 30 + n kirjainta kummallakin vaikeustasolla. Kokeessa käytetyt listat pseudorandomisoitiin siten, että jokaisessa sarjassa yhteensä 9 kohdetta edellyttivät kyllä-vastausta. Tehtävässä esitetyistä kirjaimista puolet ovat isoja ja puolet pieniä kirjaimia. Isoja ja pieniä kirjaimia esitetään satunnaisessa järjestyksessä, jolloin koehenkilöiden tulee prosessoida kirjaimia semanttisella tasolla pelkän visuaalisen tunnistamisen sijaan.

N-back -tehtävän psykometrisiä ominaisuuksia on tutkittu melko vähän ja tehtävän reliabiliteettiestimaatit eroavat paljon tutkimusten välillä (Jaeggi, 2010). Yleisesti ottaen haastavammilla tasoilla (2- ja 3-back) saavutetaan parempia reliabiliteetti-arvoja, kuin

yksinkertaisemmilla tasoilla (0- ja 1-back). Tutkimuksessa käytetyn 3-back testiversion sisäinen konsistenssi on hyvä. Yhden tutkimuksen perusteella testiversion Cronbachin alfa on 0.84 (Shamosh ym. 2008). Tutkimuskertojen välinen reliabiliteetti 3-back tehtävän tarkkuudessa on .73, joka vastaa keskikokoista stabiliteettia (Hockey & Geffen, 2004). Tutkimusta N-back-tehtävän ja puheensiirtoindeksin yhteydestä on vielä melko vähän. Haapakankaan ym. (2014) tutkimuksessa tehtäväsuoriutumisen N-back-tehtävässä riippui puheensiirtoindeksistä erityisesti haastavammalla tasolla suoritettuna. Lisäksi N-back tehtävän avulla voitiin pidentää eri äänitilanteiden äänialtistuksen kestoa.

2.5 Subjektiiiviset kokemukset

Koehenkilöiden subjektiivisia kokemuksia ääniympäristöstä ja sen vaikutuksista selvitettiin tehtävien kyselyillä, joihin koehenkilöt vastasivat niitä käsittelevien äänitilanteiden aikana. Jokaisen tehtävätyypin (luetunymmärtämistehtävä, sarjamuistitehtävä ja N-back) suorittamisen jälkeen koehenkilöt täyttivät välikyselyn 1. Jokaisen koeosion (1–5) päätteeksi koehenkilöt täyttivät välikyselyn 2. Kysymykset, joita käytettiin kokeessa riippuvina muuttujina, on esitetty taulukossa 2.

Välikyselyssä 1 kartoitettiin kokemuksia ääniympäristön häiritsevyydestä ja kuormittavuudesta. Häiritsevyyuskysymykset muotoiltiin ISO/TS 15666:n mukaisesti (ISO, 2003). Koehenkilöt vastasivat välikyselyn 1 kysymykseen asteikolla 0 (Ei lainkaan) – 10 (Erittäin paljon). Kyselyssä vain ääripää oli nimetty sanallisesti. Välikyselyssä 2 kysyttiin koehenkilöiden kokemuksista ääniympäristössä työskentelystä ja väsymisestä. Kokemuksia kartoitettiin käyttämällä valikoiden Haapakankaan ym. (2011) akustisen tyytyväisyyden kyselyä. Kyselyssä arvioidaan ääniympäristön miellyttävyyttä ja sen vaikutuksia keskittymiskykyyn ja tehtäväsuoriutumiseen Likert-asteikolla (1–5). Vain asteikon ääripää ”täysin eri mieltä” ja ”täysin samaa mieltä” oli esitetty sanallisesti. Lisäksi kyselyssä tuli arvioida samanlaisella asteikolla, voisiko ääniympäristössä työskennellä tehokkaasti pitkiä aikoja. Väsymystä arvioitiin mukautetulla SOFI-kyselyllä (*Swedish Occupational Fatigues Inventory*) (Åhsberg & Gamberale, 1998), josta käytettiin henkisen työn tekemiseen liittyviä faktoreita koehenkilöiden vireystilan sekä motivaation ja energian puutteen kartoittamiseksi. SOFI-kyselyn vastauksia ei käytetty tutkimuksessa riippuvina muuttujina, vaan kyselyn tarkoituksena oli havaita koehenkilöt, jotka olivat liian väsyneitä kokeen tarkoituksenmukaiseen suorittamiseen.

Taulukko 2

Kokeessa esitetyt tarkat kysymykset ja muuttujien arvojen teoreettiset välit.

Muuttujan nimi	Tarkka kysymys	Väli	Kohta
Kuormittavuus	Kuinka kuormittavaa edellisen tehtävän tekeminen mielestäsi oli?	0–10	Välikysely 1
Puheäänen häiritsevyys	Kuinka paljon puheääni häiritsee, ärsyttää tai vaivaa sinua? *	0–10	Välikysely 1
Muun äänen häiritsevyys	Kuinka paljon muu ääni häiritsee, ärsyttää tai vaivaa sinua? *	0–10	Välikysely 1
Ääniympäristön miellyttävyys	Ääniympäristö oli miellyttävä	1–5	Välikysely 2
Keskittymishaitta	Ääniympäristö häiritsi keskittymiskykyäni	1–5	Välikysely 2
Suoriutumishaitta	Ääniympäristö heikensi tehtäväsuoriutumistani	1–5	Välikysely 2
Ääniympäristössä työskentely	Jos sinun pitäisi työskennellä päivittäin samankaltaisten tehtävien parissa ja samanlaisessa ääniympäristössä kuin juuri äsken koit: Voisin työskennellä tehokkaasti pitkiäkin aikoja	1–5	Välikysely 2

*Puheäänen ja muun äänen häiritsevyyttä käsittelevät kysymykset muotoiltu ISO/TS 15666 mukaan (ISO, 2003)

Kysymyksellä muun äänen häiritsevyydestä ei onnistuttu täysin tavoittamaan haluttua ilmiötä. Yhdeksän koehenkilöä (17 %) oli nimittäin arvioinut muun äänen häiritsevän myös äänitilanteissa 1–3, joissa muuta ääntä ei esitetty. Kysymys jätettiin analyysien ulkopuolelle väärinymmärrysten takia.

2.6 Meluherkkyys

Ennen kokeen alkua selvitettiin koehenkilöiden meluherkkyys Weinsteinin 21-kohtaisella meluherkkyyskyselyllä (Weinstein, 1978). Meluherkkyyskyselyssä koehenkilöiden tulee arvioida, kuinka hyvin eri väittämät kuvaavat heitä. Väittämät käsittelevät koehenkilön kokemuksia melusta esimerkiksi ”Minun on vaikea rentoutua meluisassa paikassa” ja ”Tulen ärtyneeksi, kun naapurini aiheuttavat melua”. Kysymyksiin vastattiin Likert-asteikolla 1 (Olen täysin samaa mieltä) – 6 (Olen täysin eri mieltä). Kyselyssä on yhteensä 21 väittämää, joista osassa asteikko on käännetty. Tämän aineiston meluherkkyyskyselylle laskettu Cronbachin alfakerroin oli 0.89, joten sen reliabiliteetti oli hyvä.

Meluherkkyyskyselyn vastauksista muodostettiin summamuuttuja, jonka perusteella koehenkilöt jaettiin kolmeen ryhmään. Alhaisen meluherkkyuden ryhmään kuuluivat koehenkilöt, joiden meluherkkyyskyselyn pistemäärä oli alle 68, keskitasoisen meluherkkyuden ryhmään kuuluivat koehenkilöt, joiden pistemäärä oli 68–78 ja korkean

meluherkkyyden ryhmään kuuluivat koehenkilöt, joiden meluherkkyyksikyselyn pistemäärä oli yli 78. Samanlaista kolmeen meluherkkyydsryhmään luokittelua on käytetty myös aiemmissa tutkimuksissa (Kliuchko ym., 2016; Radun ym., 2021). Meluherkkyydsryhmää käsiteltiin tutkimuksessa kovariaattina, koska meluherkkyyden tiedetään olevan yhteydessä sekä melun subjektiivisiin vaikutuksiin että kognitiiviseen suoriutumiseen.

2.7 Tutkimuksen kulku

Tutkimuksen aineisto kerättiin Turun ammattikorkeakoulun psykofysiikkalaboratoriossa helmi-huhtikuussa 2021. Kokeeseen osallistui 1 tai 2 tutkittavaa kerrallaan, mutta koehenkilöt tekivät kokeet yksin erillisissä tutkimushuoneissa. Huoneet olivat keskenään samanlaisia, äänieristettyjä ja sisustukseltaan neutraaleja. Työpöytä ja -tuoli olivat säädettäviä ja jokaista koehenkilöä pyydettiin säätämään työskentelyasento sopivaksi ennen kokeen alkua. Huoneiden lämpötilat vaihtelivat 20.9–21.7 celsiusasteen välillä (ka = 21.3 °C).

Tutkimuksen kulku on esitetty kokonaisuudessaan taulukossa 3. Tutkimushuoneeseen saavuttuaan koehenkilöt lukivat ensimmäiseksi tiedotteen, joka sisälsi yleistä tietoa tutkimuksesta, sen sisällöstä, tietosuojasta ja tutkittavien oikeuksista. Luettuaan tiedotteen koehenkilöt allekirjoittivat sen suostumukseksi tutkimukseen osallistumisesta. Suostumuksen antamisen jälkeen koehenkilöt täyttivät alkukyselyn ja suorittivat kuulokynnystestin. Kuulokynnys mitattiin ilmajohteisesti äänesaudiometrialaitteella (Madsen Micromate 304, Otometrics). Kuulokynnystaso tutkittiin ensin oikeasta ja sitten vasemmasta korvasta. Tutkimuksessa käytetyt taajuudet olivat esitysjärjestyksessä 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 500 Hz, 250 Hz. Tutkimuksen sisäänottokriteerinä pidettiin yleisesti normaalikuuloisuuden rajana pidettyä 20 desibelin tasoa (ISO, 6189). Alkukyselyssä koehenkilöt vastasivat Weinsteinin (1978) meluherkkyyksikyselyyn. Lisäksi alkukysely sisälsi kysymyksiä, joiden tarkoituksena oli selvittää tutkittavien tilaa heidän saapuessaan kokeeseen. Kysymykset käsitelivät esimerkiksi edeltävän yön nukkumista ja erilaisten fyysisten oireiden esiintymistä. Kysymysten tarkoituksena oli tunnistaa koehenkilöt, joilla oli merkittäviä toimintakykyyn tai subjektiivisiin arvioihin vaikuttavia tekijöitä, jotka estävät kokeen tarkoituksenmukaiseen ja luotettavaan suorittamiseen. Lisäksi koehenkilöt pukivat alkuvalmistelujen aikana sykevyön, jolla tarkasteltiin koehenkilöiden sykevälivaihtelua eri äänitilanteissa fysiologisen stressivasteen selvittämiseksi. Sykevälivaihteluun liittyvä aineisto on kuitenkin jätetty tämän tutkielman ulkopuolelle. Alkuvalmistelujen suoritusjärjestys vaihteli riippuen siitä, oliko koetilanteessa kerrallaan yksi vai kaksi koehenkilöä. Alkuvalmisteluihin kului keskimäärin 22 minuuttia.

Alkuvalmisteluja seurasi harjoitteluosuus, jossa kaikki kokeen kognitiiviset tehtävät käytiin yksitellen läpi. Harjoitteluosuudessa kokeenjohtaja kertoi ensin suullisesti tehtävien ohjeet, minkä jälkeen koehenkilöt kertasivat ohjeet lukemalla ne tietokoneen näytöltä. Ohjeiden kuulemisen ja lukemisen jälkeen koehenkilöt harjoittelivat tehtävää tietokoneella. Jokaisen tehtävän harjoittelun jälkeen kokeenjohtaja kysyi, onko koehenkilöillä jotakin kysyttävää tehtävästä ja vastasi mahdollisiin kysymyksiin. Ensimmäisenä harjoiteltiin orientaatiotehtävänä käytettyä luetunymmärtämisen tehtävää ja sen jälkeen sarjamuistitehtävää. Viimeisenä koehenkilöt harjoittelivat N-back -tehtävää, josta harjoiteltiin ensin 1-back ja sen jälkeen 3-back versio. Harjoitteluosuus kesti keskimäärin 18 minuuttia.

Kokeessa äänitilanteiden järjestys oli satunnaistettu. Tehtävät esitettiin koeosioissa aina samassa järjestyksessä (orientaatiotehtävä, sarjamuistitehtävä ja N-back). Jokaisen tehtävätyypin suorittamisen jälkeen koehenkilöt vastasivat välikyselyyn 1 ja jokaisen koeosion (1–5) päätteeksi koehenkilöt vastasivat välikyselyyn 2. Yksittäisten koeosion suorittamiseen meni keskimäärin 20 minuuttia. Koeosioiden välissä pidettiin 1 tai 2 taukoa koehenkilön kokeman tarpeen mukaan. Tauko pidettiin useimmiten toisen koeosion jälkeen.

Koeosioiden suorittamisen jälkeen oli lyhyt lopetusvaihe, johon kuului loppukyselyn täyttäminen ja koehenkilöpalkkion kuittaaminen. Loppukyselyssä kysyttiin muun muassa erilaisten oireiden esiintymisestä vastaavasti kuin alkukyselyssä. Lisäksi loppukyselyssä oli mahdollisuus kommentoida vapaasti esimerkiksi koepäivään liittyviä asioita. Kysymysten tarkoituksena oli saada tietoa mahdollisista kokeeseen vaikuttaneista virhetekijöistä. Koko tutkimukseen meni keskimäärin 2 tuntia ja 18 minuuttia.

Taulukko 3

Kokeen kulku, eri vaiheiden kesto ja niiden sisältämät tehtävät

Vaihe	Kesto	Tehtävät
Alkuvalmistelut	22 min	Tutkimustiedotteen lukeminen, audiologisen kuulokynnystestin tekeminen, HRV-vyön pukeminen ja alkukyselyn täyttäminen
Harjoitteluvaihe	18 min	Kognitiivisten tehtävien opastus ja harjoittelu
Koeosio 1	20 min	Luetunymmärtämistehtävä, VK1, Sarjamuistitehtävä, VK1, N-back, VK1, VK2
Koeosio 2	20 min	Luetunymmärtämistehtävä, VK1, Sarjamuistitehtävä, VK1, N-back, VK1, VK2
Koeosio 3	20 min	Luetunymmärtämistehtävä, VK1, Sarjamuistitehtävä, VK1, N-back, VK1, VK2
Koeosio 4	20 min	Luetunymmärtämistehtävä, VK1, Sarjamuistitehtävä, VK1, N-back, VK1, VK2
Koeosio 5	20 min	Luetunymmärtämistehtävä, VK1, Sarjamuistitehtävä, VK1, N-back, VK1, VK2
Lopetusvaihe	6 min	Loppukyselyn täyttäminen ja koehenkilöpalkkion kuittaaminen

VK1 = välikysely 1, VK2 = välikysely 2

2.8 Aineiston analyysi

Aineisto analysoitiin IBM SPSS Statistics 26 -ohjelmalla. Parametristen testien edellyttämä normaalijakaumaoletus testattiin Shapiro Wilkin -testillä. Jos muuttujat olivat normaalisti jakautuneita tai niiden vinouksien ja huipukkuuksien itseisarvot olivat alle 2, analyysit tehtiin toistomittausten kovarianssianalyysillä. Kovariaattina malleissa käytettiin kolmiluokkaista meluherkkyyttä. Muuttujien varianssien homogeenisyys testattiin Mauchlyn sfäärisyystestillä. Jos sfäärisysoletus ei toteutunut, käytettiin vapausasteisiin Greenhouse-Geisser-korjauskertoimia. Äänitilanteen päävaikutuksen ollessa merkitsevä, tehtiin jatkovertailut ennalta suunniteltuina kontrasteina, joissa äänitilannetta 1 verrattiin äänitilanteisiin 2–5. Äänitilanne 1 oli tutkimuksessa verrokkitilanteena, sillä se vastaa tilannetta, jossa puhetta ei pyritä vähentämään. Mikäli meluherkkyydellä oli yhdysvaikutus, jatkovertailut tehtiin erikseen kullekin meluherkkyyksiryhmälle. Tilanteessa jatkovertailut suoritettiin toistettujen mittausten t-testeillä. Jos parametristen testien käyttöedellytykset eivät täytyneet, käytettiin Friedmanin testiä, jolloin kovariaatti tuli jättää pois mallista.

Kaikissa merkitsevyytestauksissa kriteerinä oli p-arvo .05. Efektikokojen estimaattina tutkimuksessa käytettiin tilanteen mukaan osittais-etan neliötä (η_p^2), toistomittausasetelmiin mukautettua Cohenin D:tä (d_{rm}) (Morris & DeShon, 2002) tai Kendallin W -arvoa. Osittais-etan neliötä käytettiin toistomittausten kovarianssianalyysissä ja sen kontrastivertailuissa. Cohenin D:n toistomittauksiin mukautettua -efektikokoa käytettiin tilanteissa, joissa jatkovertailut tehtiin erikseen meluherkkyyksiryhmille, koska tilanteissa ei käytetty kovariaattikorjattuja parametreja. Friedmanin testien yhteydessä efektikokona käytettiin Kendallin W -arvoa.

Efektikojen tulkinnassa käytettiin Cohenin (1988) asettamia efektikokojen raja-arvoja (viitattu Ellis, 2010). Sen perusteella osittais-etan neliön raja-arvo pienelle efektille on (.01), keskisuurelle (.06) ja suurelle (.14). Toistomittauksiin sovitettuun Cohenin d:n tulkinnassa pienen efektin raja-arvo on (.20), keskikokoisen efektin raja-arvo on (.50) ja suuren efektin raja-arvo on (.80). Kendallin W:n tulkinnassa raja-arvoina oli pieni efekti (.10), keskikokoinen efekti (.30) ja suuri efekti (.50).

3 Tulokset

Tutkimuksen äänitilanteisiin liittyvät kuvailevat tunnusluvut ja päätulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4

Äänitilanteisiin liittyvät kuvailevat tunnusluvut ja tutkimuksen päätulokset

Muuttuja	Väli	Äänitilanne					p-arvo	Kontrastivertailujen p-arvot			
		1	2	3	4	5					
		<i>ka</i> (<i>kh</i>)	<i>ka</i> (<i>kh</i>)	<i>ka</i> (<i>kh</i>)	<i>ka</i> (<i>kh</i>)	<i>ka</i> (<i>kh</i>)		1 vs 2	1 vs 3	1 vs 4	1 vs 5
Kognitiivinen suoriutuminen											
Visuaalinen sarjamuisti	0–1	0.54 (0.19)	0.55 (0.17)	0.55 (0.20)	0.58 (0.18)	0.59 (0.18)	.137			x	x
3-back vastaustarkkuus	0–1	0.82 (0.09)	0.81 (0.11)	0.82 (0.10)	0.81 (0.09)	0.80 (0.10)	.802				
Subjektiiiviset kokemukset											
Kuormittavuus	0–10	5.87 (2.79)	5.65 (2.95)	5.71 (2.81)	5.69 (2.91)	5.59 (3.07)	.280				
Puheäänen häiritsevyys	0–10	5.64 (2.88)	5.49 (3.22)	5.14 (3.01)	3.51 (2.93)	3.02 (2.91)	.003	.695	.853	.090	.008
Ääniympäristön miellyttävyys	1–5	2.12 (1.08)	2.23 (1.13)	2.62 (1.24)	2.27 (1.22)	2.17 (1.17)	.285				
Keskittymishaitta	1–5	3.96 (1.03)	4.06 (1.02)	3.83 (1.04)	3.62 (1.24)	3.48 (1.32)	.048	.576	.194	.132	.006
Suoriutumishaitta	1–5	3.85 (1.06)	3.90 (1.05)	3.69 (1.06)	3.52 (1.31)	3.39 (1.33)	.342				
Ääniympäristössä työskentely	1–5	1.69 (1.00)	1.79 (1.05)	1.88 (1.08)	1.85 (1.07)	1.96 (1.12)	.466				

Väli = muuttujien teoreettinen vaihteluväli

Äänitilanteet: 1 = ei kuulokkeita, 2 = kuulokkeet, 3 = vastamelutoiminto, 4 = kuulokkeista toistettu peittoääni, 5 = kuulokkeista toistettu peittoääni yhdistettynä vastamelutoimintoon

x = meluherkkyyssryhmän ja äänitilanteen yhdysvaikutus

p-arvo = äänitilanteen päävaikutus.

Tilastollisesti merkitsevät p-arvot ($p < .05$) on merkitty lihavoidulla fontilla

3.1 Kognitiiviset tehtävät

3.1.1 Sarjamuistitehtävä

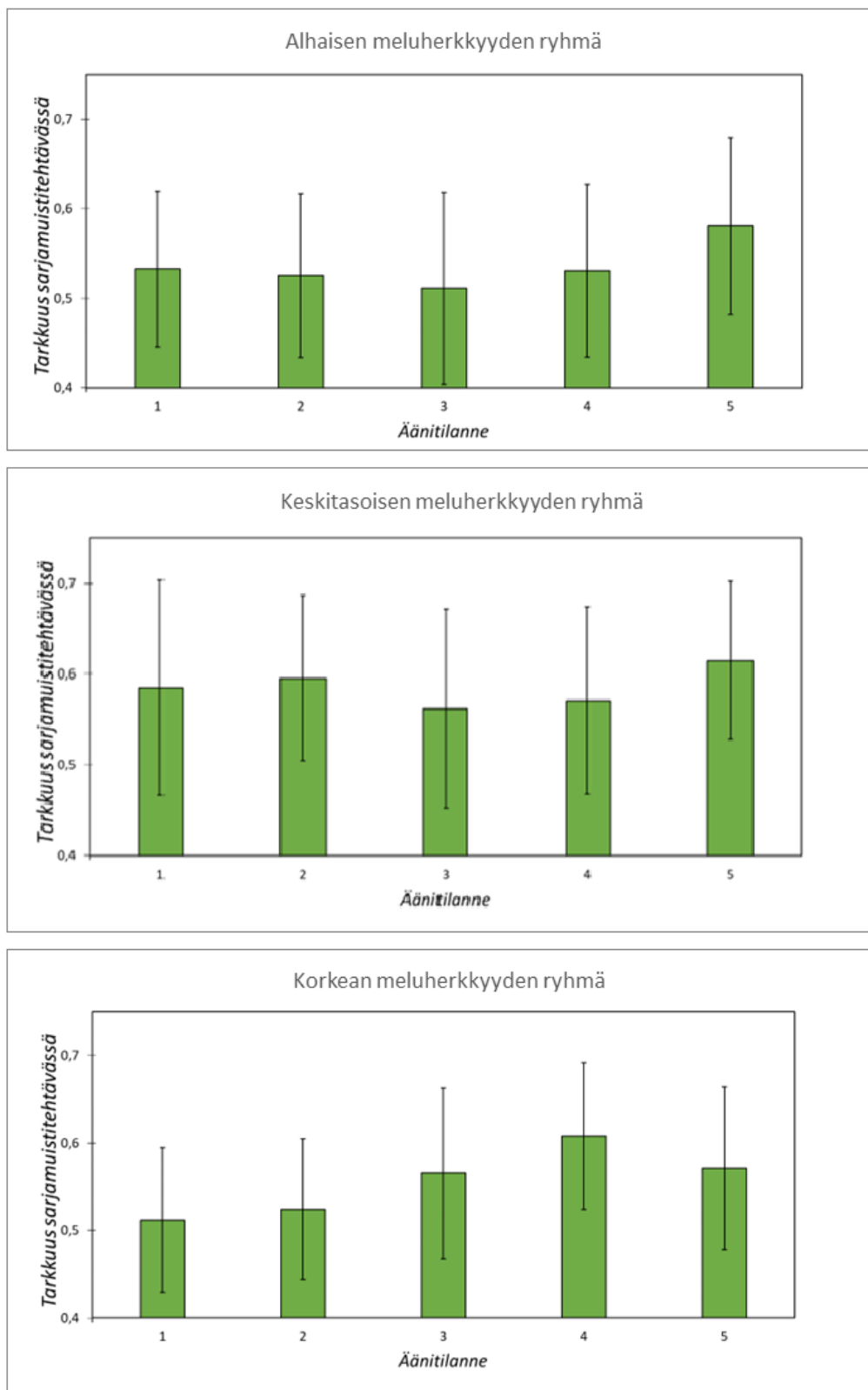
Äänitilanteella ei ollut merkitsevää päävaikutusta sarjamuistitehtävässä suoriutumiseen, $F(4, 200) = 1.77, p = .137, \eta_p^2 = .034$, mutta äänitilanteella ja meluherkkyydellä oli yhdysvaikutus, $F(4, 200) = 2.44, p = .048, \eta_p^2 = .046$. Kuvaajat eri meluherkkyyksiryhmien suoritustarkkuudesta eri äänitilanteissa on esitetty kuvassa 2. Jatkovertailuissa huomattiin, että korkeimman meluherkkyyden ryhmään kuuluvat suoriutuivat sarjamuistitehtävästä merkitsevästi paremmin tilanteissa 4 ($t(20) = -4.43, p < .001, d_{rm} = 0.971$) ja tilanteessa 5 ($t(20) = -2.51, p < .021, d_{rm} = 0.590$) verrattuna tilanteeseen 1. Näin ollen meluherkät hyötyivät kuulokkeista toistetusta peittoäänestä. Muissa meluherkkyyksiryhmissä äänitilanteiden välillä ei ollut eroa suoriutumisessa. Meluherkkyyksiryhmät eivät eronneet toisistaan sarjamuistitehtävässä suoriutumisessa, $F(1,50) = 0.26, p = .612, \eta_p^2 = .005$.

3.1.2 3-back -tehtävä

3-back -tehtävästä tuli poistaa yhden koehenkilön tiedot ohjeiden väärinymmärtämisen takia. Lisäksi tehtävästä poistettiin yksittäiset arvot, joissa reaktioaika poikkesi koehenkilön omasta keskiarvosta yli 2,5 keskihajontaa. Äänitilanteella ei ollut päävaikutusta 3-back -tehtävän tarkkuuteen, $F(4, 196) = 0.57, p = .686, \eta_p^2 = .011$, eikä äänitilanteella ja meluherkkyydellä ollut yhdysvaikutusta, $F(4, 196) = 0.49, p = .744, \eta_p^2 = .010$. Meluherkkyyksiryhmät eivät eronneet toisistaan 3-back tehtävän suoriutumisessa, $F(1, 49) = 0.01, p = .931, \eta_p^2 = .000$.

Kuva 2

Sarjajamustehtävän suoritustarkkuuden keskiarvot ja niille lasketut 95 % luottamusvälit eri äänitilanteissa meluherkkyysryhmittäin



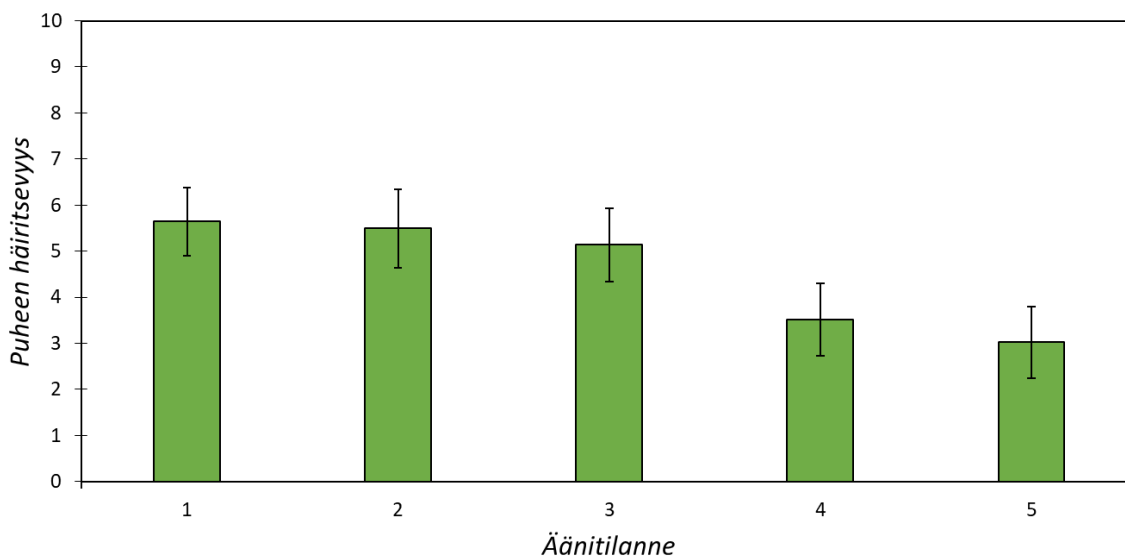
Äänitilanteet: 1 = ei kuulokkeita, 2 = kuulokkeet, 3 = vastamelutoiminto, 4 = kuulokkeista toistettu peittoääni, 5 = vastamelutoimintoon yhdistetty peittoääni

3.2 Subjektiiiviset kokemukset

3.2.1 Puheäänien häiritsevyys ja kuormittavuus tehtävien tekemisen aikana

Äänitilanteella oli päävaikutus puheäänien häiritsevyyteen, $F(3.2, 160.3) = 4.16, p = .003, \eta_p^2 = .077$. Kuvassa 3 on esitetty puheäänien häiritsevyyteen liittyvät keskiarvot ja luottamusvälit eri äänitilanteissa. Puhe häiritsi merkitsevästi vähemmän äänitilanteessa 5 kuin äänitilanteessa 1, $F(1, 50) = 7.59, p = .008, \eta_p^2 = .132$. Äänitilanteiden 4 ja 1 välillä ei ollut p-arvotarkastelussa merkitsevää eroa ($p = .090$), mutta äänitilanteiden välinen efektikoko oli keskikokoisen rajalla ($\eta_p^2 = .06$). Arviot puheäänien häiritsevyydestä eivät eronneet äänitilanteissa 2 ($p = .695, \eta_p^2 = .003$) tai 3 ($p = .853, \eta_p^2 = .001$) äänitilanteesta 1. Äänitilanteella ja meluherkkyyssryhmällä ($F(3.2, 160.3) = .31, p = .835, \eta_p^2 = .01$) tai äänitilanteella ja tehtävyydellä ($F(3.4, 168.5) = .20, p = .915, \eta_p^2 = .00$) ei ollut yhdysvaikutuksia kokemuksissa puheäänien häiritsevyydestä. Äänitilanteella, tehtävällä, ja meluherkkyydellä ei ollut yhdysvaikutusta, $F(3.4, 168.5) = .121, p = .960, \eta_p^2 = .00$. Meluherkkyyssryhmien arviot puheäänien häiritsevyydestä eivät eronneet toisistaan, $F(1,50) = 1.35, p = .251, \eta_p^2 = .026$.

Kuva 3



Puheäänien häiritsevyyden keskiarvot ja niille määritetyt 95 % luottamusvälit eri äänitilanteissa

Äänitilanteet: 1 = ei kuulokkeita, 2 = kuulokkeet, 3 = vastamelutoiminto, 4 = kuulokkeista toistettu peittoääni, 5 = vastamelutoimintoon yhdistetty peittoääni

Äänitilanteiden välillä ei ollut eroja kokemuksissa tehtävien tekemisen kuormittavuudesta ($F(4, 200) = 1.28, p = .280, \eta_p^2 = .025$), eikä äänitilanteella ja meluherkkyydellä ollut yhdysvaikutusta

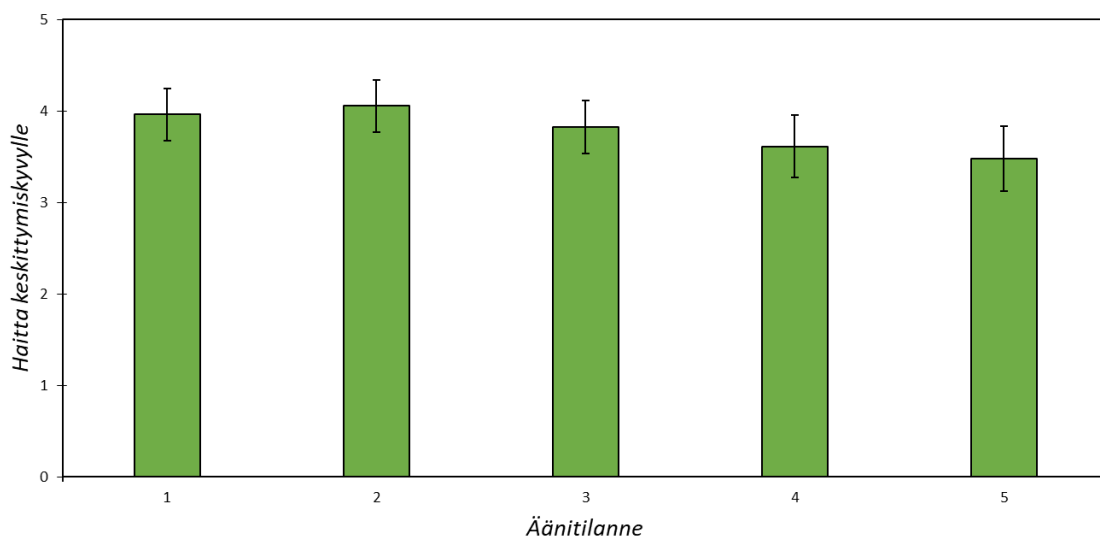
($F(4, 200) = 1.08, p = .368, \eta_p^2 = .021$). Äänitilanteella ei ollut yhdysvaikutusta tehtävyyden kanssa tehtävien tekemisen kuormittavuuden kokemuksissa, $F(4, 200) = 1.25, p = .292, \eta_p^2 = .024$. Myöskään äänitilanteella, meluherkkyysryhmällä ja tehtävyydellä ei ollut yhdysvaikutusta, $F(4, 200) = 1.13, p = .344, \eta_p^2 = .022$. Meluherkkyysryhmien kokemukset tehtävien tekemisen kuormittavuudesta eivät eronneet merkitsevästi toisistaan, $F(1, 50) = 0.91, p = .346, \eta_p^2 = .018$.

3.2.2 Yleiset arviot ääniympäristöstä

Äänitilanne vaikutti kokemuksiin ääniympäristön haitasta keskittymiskykyyn, $F(3.1, 155.4) = 2.67, p = .048, \eta_p^2 = .051$ (Kuva 4). Äänitilanteen 5 koettiin heikentävän vähemmän keskittymiskykyä kuin äänitilanteen 1 ($p = .006, \eta_p^2 = .141$). Muut äänitilanteet eivät eronneet äänitilanteesta 1. Äänitilanteella ja meluherkkyydellä ei ollut yhdysvaikutusta koettuun keskittymishaittaan ($F(3.1, 155.4) = 1.12, p = .346, \eta_p^2 = .022$), eivätkä meluherkkyysryhmien arviot äänitilanteen vaikutuksesta keskittymiseen eronneet merkitsevästi toisistaan, $F(1,50) = 2.13, p = .150, \eta_p^2 = .041$.

Kuva 4

Äänitilanteiden keskiarvot ja niille määritetyt 95 % luottamusvälit kokemuksista ääniympäristön haitasta keskittymiskykyyn



Äänitilanteet: 1 = ei kuulokkeita, 2 = kuulokkeet, 3 = vastamelutoiminto, 4 = kuulokkeista toistettu peittoääni, 5 = kuulokkeista toistettu peittoääni yhdistettynä vastamelutoimintoon

Kokemuksissa ääniympäristön miellyttävyydestä ei ollut eroa äänitilanteiden välillä, ($F(4, 200) = 1.27, p = .285, \eta_p^2 = .025$). Äänitilanteella ja meluherkkyysryhmällä ei ollut yhdysvaikutusta

miellyttävyyden kokemuksissa ($F(4, 200) = 0.95, p = .439, \eta_p^2 = .019$), eikä meluherkkyyssryhmien kokemukset eronneet merkitsevästi toisistaan, $F(1, 50) = 1.41, p = .241, \eta_p^2 = .027$.

Subjektiiivisissa arvioissa ääniympäristön vaikutuksesta tehtäväsuoriutumiseen ei ollut eroa äänitilanteiden välillä ($F(3.2, 160.1) = 1.13, p = .342, \eta_p^2 = .022$). Äänitilanteella ja meluherkkyydellä ei ollut yhdysvaikutusta suoriutumishaittaan ($F(3.2, 160.1) = 0.63, p = .605, \eta_p^2 = .012$). Meluherkkyyssryhmien välillä ei ollut eroa arvioissa ääniympäristön aiheuttamasta suoritushaitasta, $F(1, 50) = 1.20, p = .209, \eta_p^2 = .031$. Äänitilanteiden välillä ei ollut eroa siinä, kuinka tehokkaasti ääniympäristössä arvioitiin voitavan työskennellä samankaltaisten tehtävien parissa ($\chi^2(4) = 3.576, p = .466, W = .017$).

4 Pohdinta

Tässä pro gradu -tutkielmassa tarkasteltiin, voidaanko puhemelum suoritusvaikutuksia tai subjektiivisia haittoja vähentää kuulokkeiden, vastamelutoiminnon, tai peittoäänien avulla. Aiempien tutkimusten (Jahncke ym., 2016; Müller ym. 2019), kuulokkeiden teknisten ominaisuuksien ja koetta edeltäneiden psykoakustisten mittauksen perusteella hypoteesina oli, että kuulokkeista toistetun peittoäänien avulla voidaan vähentää melun subjektiivista häiritsevyyttä ja kognitiivisia suoritusvaikutuksia. Sen sijaan kuulokkeiden tai vastamelutoiminnon ei oletettu itsenäisesti vähentävän puhemelum haittavaikutuksia.

Tulokset olivat osittain hypoteesien mukaisia. Tutkimuksen perusteella kuulokkeet tai vastamelutoiminto eivät itsenäisesti vähennä puhemelum subjektiivisia haittoja tai suoritusvaikutuksia. Kuulokkeista toistettavaan peittoäänien liittyvät tulokset eivät ole yhtä selkeitä. Kuulokkeista toistettu peittoääni vähensi vastamelutoimintoon yhdistettynä puhemelum koettua häiritsevyyttä ja keskittymishaittaa. Muihin subjektiivisiin kokemuksiin peittoäänien ei kuitenkaan vaikuttaneet. Lisäksi peittoääni vähensi puhemelum suoriutumisasiikutuksia meluherkillä.

4.1 Puhemelum vähentäminen kuulokkeilla ja vastamelutoiminnolla

Tutkimuksen perusteella perinteiset kuppikuulokkeet eivät itsenäisesti tai vastamelutoimintoon yhdistettynä vähennä puhemelum suoritusvaikutuksia tai subjektiivista häiritsevyyttä. Sarjaluistitehtävässä koehenkilöt muistivat keskimäärin 54 % numeroista oikein ilman kuulokkeita tehdyssä äänitilanteessa. Kuulokkeilla ja vastamelutoiminnolla koehenkilöt muistivat keskimäärin 55 % numeroista oikein, eli tulos oli lähes sama. Myös 3-back tehtävässä koehenkilöiden tulokset olivat lähes samoja ilman kuulokkeita, kuulokkeilla tai vastamelutoiminnolla. Tulos on linjassa kognitiivisen suorituskyvyn osalta niin perinteisillä (Jahncke ym., 2016) kuin vastamelukuulokkeillakin (Müller ym., 2019) tehtyjen tutkimusten kanssa. Tulos oli lisäksi Haapakankaan ym. (2020) puheensirtoindeksin ja kognitiivisen suorituskyvyn yhteyttä arvioivan mallin mukainen. Koetta edeltäneissä äänitilannemittauksissa puheensirtoindeksi oli perinteisillä kuulokkeilla 0,59 ja vastamelutoiminnolla 0,48. Haapakankaan ym. (2020) mallin perusteella kognitiivisen suorituskyvyn suurimman heikentymisen taso saavutetaan jo puheensirtoindeksin arvossa 0,44, joten kuulokkeiden tai vastamelutoiminnon ei odotettukaan vähentävän haittavaikutuksia.

Subjekttiivisten kokemusten osalta tutkimus oli osittain samansuuntainen aiempien tutkimusten kanssa. Myöskään Jahncken ym. (2016) tutkimuksessa perinteiset kuulokkeet eivät vähentäneet puhemelun haittoja. Müllerin ym. (2019) konferenssitutkimuksessa keskittymiskyky arvioitiin paremmaksi vastamelukuulokkeilla, mutta tässä tutkimuksessa keskittymiskyky, tai muutkaan subjektiiviset arviot, ei parantuneet vastamelutoiminnolla.

Vaikka tutkimuksen perusteella kuulokkeet tai vastamelutoiminto eivät vähennä puhemelun haittoja, saattaa niistä olla muuta etua avotoimistoissa. Kuulokkeet voivat lisätä yksityisyyden tunnetta ja ne saattavat viestittää muille työntekijöille, ettei kuulokkeiden käyttäjää tule häiritä. Lisäksi kuulokkeiden käyttö saattaa lisätä työntekijöiden kontrollin tunnetta. Koettu kontrolli ääneen on yhdistetty melun koetun häiritsevyyden vähenemiseen (Lee & Brand, 2010). Tämän tutkimuksen perusteella edellä mainittuihin mahdollisiin hyötyihin ei voida ottaa kantaa.

4.2 Puhemelun vähentäminen kuulokkeista toistetulla peittoäänellä

Tulokset kuulokkeista toistetun peittoäänien hyödyllisyydestä puhemelun haittavaikutusten vähentämisessä ovat vaihtelevampia. Peittoääni vähensi kokemuksia puheäänien häiritsevyydestä ja keskittymishaitasta vastamelutoimintoon yhdistettynä. Perinteisten kuulokkeiden ja peittoäänien yhdistelmällä edelliset tulokset eivät olleet merkitseviä. Toisaalta perinteisten kuulokkeiden ja peittoäänien yhdistelmän ja ilman kuulokkeita toteutetun äänitilanteen välillä oli keskisuuri efekti. Kaikissa muissa tuloksissa p-arvojen ja efektikokojen perusteella tehdyt johtopäätökset olivat samoja.

Peittoäänien eivät vaikuttaneet kokemukseen kuormittavuudesta, ääniympäristön miellyttävyydestä tai itsearvioidusta haitasta tehtäväsuoriutumiseen. Tulos saattaa johtua siitä, että myös peittoääni on voinut aiheuttaa vastustusta. Tutkimuksessa peittoääntä toistettiin kuulokkeista 52 dB(A):n voimakkuudella, mutta aiemmissa tutkimuksissa yli 48 dB(A):n peittoäänien on koettu häiritsevinä ja niiden on huomattu aiheuttavan vastustusta (Veitch ym., 2002; Warnock, 1973). Tulos on samansuuntainen aiemman tutkimuksen kanssa, jossa kuormittavuuden kokemus ei vähentynyt tilanteessa, jossa simuloitiin puheäänien vähentämistä kuulokkeilla ja niistä toistetulla peittoäänellä (Jahncke ym., 2016).

Meluherkkien ryhmässä peittoääni paransi suoriutumista sarjajamuittehtävissä, mutta kahdella muulla meluherkkyysryhmällä ei. 3-back tehtävän tarkkuudessa ei ollut eroa äänitilanteiden välillä. Peittoääniin liittyvät tulokset olivat odotusten vastaisia erityisesti keskimääräisen meluherkkyuden ja alhaisen meluherkkyuden ryhmissä. Useiden tutkimusten perusteella

jatkuvat äänet eivät häiritse kognitiivista suoriutumista voimakkaillakaan äänitasoilla (Hongisto ym., 2005). Kokeen ennakkomittausten perusteella peittoääntä sisältävissä äänitilanteissa puheensirtoindeksi oli niin pieni, ettei puheen pitäisi vaikuttaa kognitiiviseen suoriutumiseen. Haapakankaan ym. (2020) mallin perusteella suorituskyky alkaa heiketä STI:n arvossa 0,21 ja peittoääntä sisältävissä äänitilanteissa STI:n arvot olivat 0,00 ja 0,02. Aiemmassa tutkimuksessa kuulokkeista toistettu luonto-peittoääni paransi suoriutumista sarjajamustitehtävissä (Jahncke ym., 2016). Tutkimusten välinen ero saattaa selittyä tutkimusten metodologisilla eroilla. Jahncken ym. (2016) tutkimuksessa käytettiin kuulokkeista toistettua simulaatioäänitettä, johon oli jälkikäteen lisätty tietokoneella peittoääni, joka oli tasoltaan voimakkaampaa (63 dB(A)).

Ero tutkimusta edeltäneisiin mittauksiin saattaa johtua siitä, että puheensirtoindeksi riippuu kuulokkeiden istuvuudesta. Saattaa olla, etteivät kuulokkeet ole istuneet koehenkilöiden korville yhtä hyvin kuin ennakkomittauksissa käytetylle keinopäälle, jonka kohdalla kuulokkeiden vuodon istuvuus pystyttiin varmistamaan paremmin. Mikäli kuulokkeet eivät istuneet koehenkilöiden korville hyvin, on yksittäisiä sanoja saattanut kuulua, mikä kasvattaa puheensirtoindeksiä.

4.3 Rajoitukset

Yleinen ongelma kaikkiin laboratoriotutkimuksiin liittyen on ekologinen validiteetti eli tulosten yleistettävyyden laboratorion ulkopuolelle (tässä avotoimistoihin). Tutkimuksessa käytetyt tehtävät eivät olleet toimistotehtäviä, joten kognitiivisten tehtävien tutkimustuloksia ei voida suoraan yleistää toimiston työtehtäviin. Toisaalta tutkimuksessa käytetyt tehtävät ovat aiempien tutkimusten mukaan ainakin joiltakin osin yleistettäviä myös toimistojen tietotyötehtäville niiden perustuessa lyhytkestoiseen muistiin ja työmuistiin (Jahncke ym., 2011; Liebl ym., 2012). Kuten Haapakankaan (2017) väitöskirjatutkimuksessa mainitaan, realistisia toimistotehtäviä on vaikea kehittää varsinkaan toistomittausasetelmiin sopiviksi. Toistomittausten haasteena on tehtävien oppimisvaikutus. Myös tässä tutkimuksessa sarjajamustitehtävissä oli oppimisvaikutus, mikä toi aineistoon äänitilanteesta johtumatonta virhevarianssia, joka saattaa peittää äänitilanteiden välisiä todellisia eroja.

Kuulokkeiden, vastamelutoiminnon ja niistä toistettavien peittoäänten etuna voidaan pitää käyttäjän henkilökohtaista mahdollisuutta säädellä niiden käyttöä. Tutkimusten perusteella kontrollin tunne vähentää melun koettua häiritsevyyttä (Lee & Brand, 2010). Kokemus mahdollisuudesta kontrolloida melua on yhdistetty parempaan työtyytyväisyyteen ja

suorituskykyyn (Cohen & Weinstein, 1981). Kokeessa koehenkilöillä ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta vaikuttaa kuulokkeiden tai peittoäänien käyttöön, joten mahdolliset kontrolliin liittyvät hyödyt eivät tulleet todennäköisesti kokeessa esiin. Saattaa olla, että jos kuulokkeita käytetään omasta valinnasta, niin ne myös koetaan hyödyllisempänä. Lisäksi peittoääntä saatetaan sietää paremmin, jos sen taso on henkilökohtaisesti säädetty.

Tämän tutkimuksen tulokset käsittävät vain puhemelun ja peittoäänien, jotka vastaavat tasoltaan tutkimuksessa käytettyjä. Koeasetelmassa käytettiin melko äärimmäistä taustapuhetta, joka vastaa tilannetta, jossa puhuja on noin kahden metrin päässä kuulijasta. Näin ollen tuloksia voidaan tarkastella lähinnä vierekkäisestä työpisteestä kantautuvaan puhemeluun, vaikka avotoimistoissa altistutaan paljon vaihtelevammalle melulle. Kauemmilta työpisteiltä kantautuvan puhemelun häiritsevyyteen kuulokkeista toistettu peittoääni saattaa sopia paremmin, koska tilanteessa puheenpeitto saavutetaan hiljaisemmalla peittoäänellä, joka ei yhtä todennäköisesti aiheuta vastustusta.

Taustapuheen yleistettävyyteen liittyy myös muita huomioita. Tutkimuksessa käytetty puhe oli jatkuvaa. Szalman ja Hancockin (2011) meta-analyysin mukaan ajoittainen taustapuhe heikentää suorituskykyä enemmän kuin jatkuva puhe. Lisäksi puhetta esitettiin koko tutkimuksen ajan samasta suunnasta, samalla äänenvoimakkuudella ja saman henkilön puhumana. Avotoimistoissa puheen tulosuunta, etäisyys ja voimakkuus vaihtelevat tyyppillisesti. Tutkimuksessa käytetty taustapuhe ei ollut mielenkiintoista. Sen sijaan avotoimistoissa työntekijät saattavat kiinnittää taustapuheeseen huomiota eri tavalla, sillä se voi olla kiinnostavaa ja sisältää heille relevantteja sisältöjä. Kenttätutkimuksessa avotoimistojen työntekijöitä on häirinnyt erityisesti keskustelujen sisältö (Nemecek & Grandjean, 1973). Tutkimuksessa käytetty taustapuhe oli sisällöltään neutraalia ja siitä oli poistettu tunnistettavat yksityiskohdat. Tutkimuksen taustapuhe ei edusta edeltävien huomioiden perusteella kaikkein häiritsevintä puhemelua.

Tuloksissa tulee huomioida, että kuulokkeiden istuvuus käyttäjälle vaikuttaa niiden kykyyn vaimentaa taustääniä. Myös silmälasit tai suuret korvakorut saattavat heikentää kuulokkeiden ja niistä toistetun peittoäänien hyötyä. Tämä huomioitiin tutkimuksessa siten, että suuret korvakorut poistettiin ennen koetta ja silmälasit asetettiin niin, etteivät ne menneet lainkaan kuulokkeiden alle. Myös kuulokkeiden välillä saattaa olla eroja ja erityisesti vastamelutoiminto voi vielä kehittyä. Tämän tutkielman julkaisun aikoihin markkinoille on tulossa Applen 2. sukupolven AirPods Pro -kuulokkeet, joissa on valmistajan mukaan parannettu aktiivinen

taustamelun vaimennus. Kuulokkeiden vastamelutoimintoa on paranneltu laskennallisilla algoritmeilla ja uudella mikrofonin sijoittelulla. Valmistajan mukaan kuulokkeiden taustamelun vaimennus on jopa kaksinkertainen. Käyttäjäperustaisia tai puhemeluun keskittyviä tutkimuksia AirPods Pro -kuulokkeista ei kuitenkaan ole tiettävästi tehty.

Koe kesti kokonaisuudessaan keskimäärin 2 tuntia ja 18 minuuttia, eli tutkimus oli paljon lyhyempi kuin keskimääräinen työpäivä. Yksittäiset äänitilanteet kestivät n. 20 minuuttia. Saattaa olla, että pidemmällä altistusajalla jatkuvaan peittoääneen olisi voinut tottua paremmin, sillä ääni on ennustettavaa (Kjellberg ym., 1996). Sen sijaan puheääniin ei ole mahdollista tottua (Banbury & Berry 2005). Lisäksi pidemmällä altistusajalla kognitiivisia lisäponnisteluja ei todennäköisesti jaksaisi tehdä yhtä hyvin, jolloin kognitiivinen suoriutuminen heikkenee enemmän.

Aineiston edustavuuden kannalta tulee huomioida se, että suurin osa koehenkilöistä oli alle 30-vuotiaita. Tutkimuksissa alle 30-vuotiaat ovat raportoineet vähiten toimistojen eri häiriötekijöitä (McElroy & Morrow 2010). Lisäksi pääosa koehenkilöistä oli korkeakouluopiskelijoita, vaikka tutkimus käsittelee ensisijaisesti avotoimistotyöntekijöitä. Koehenkilöiden rekrytointimateriaaleissa oli tieto siitä, että tutkimus käsittelee ääniympäristöä, joten saattaa olla, että henkilöt, jotka kokevat ääniympäristön erityisen tärkeänä osallistuivat kokeeseen herkemmin.

Tulosten perusteella yksittäisten kysymysten ymmärtämisessä on ollut haasteita. Selvimmin tämä näkyi muun äänen häiritsevyyttä käsitelleessä kysymyksessä, jossa neljäsosa koehenkilöistä oli ilmoittanut muun äänen häiritsevän tilanteissa, joissa sitä ei esitetty. Lisäksi ääniympäristön miellyttävyyttä käsitellyt kysymys erottui mahdollisesti väärinpäin ymmärrettyinä. Muut samalla sivulla esitetyt kysymykset käsitelivät ääniympäristöä negatiivisesta näkökulmasta, eli asteikon oikeassa päässä oli negatiivisin kokemus. Ääniympäristön miellyttävyyden asteikko oli päinvastainen, eli asteikon oikeassa päässä oli positiivisin kokemus. Osassa vastauksista oli havaittavissa, ettei vastaustapaa ollut muutettu kysymyksenasettelun mukaisesti, vaan myös tämä kysymys oli käsitetty niin, että suuremmat arvot vastasivat negatiivisempaa kokemusta. Nämä todennäköiset virhevastaukset saattavat vääristää tuloksia. Kognitiivisten tehtävien tuloksissa tulee huomioida mahdollisuus, ettei 3-back tehtävä ollut riittävän herkkä puheensiirtoindeksin muutoksille. Tutkimusnäyttöä puhemelun häiritsevyydestä 3-back-tehtävässä on ainakin toistaiseksi vasta melko vähän

(Haapakangas ym. 2014). Toisaalta 3-back tehtävä valittiin kokeeseen myös siksi, että sen avulla äänitilanteiden kestoa voitiin pidentää.

4.4 Vahvuudet

Tutkimuksen erityisiksi vahvuuksiksi voidaan nostaa sen ajankohtaisuus, tarpeellisuus ja tutkimuksen monitieteellisyys. Työpaikoilla tarjotaan vastamelukuulokkeita ratkaisuna meluongelmiin, mutta tutkimusta niiden toimivuudesta ei ole riittävästi. Tämä oli tietävästi ensimmäinen tutkimus, jossa selvitettiin vastamelutoimintoon yhdistetyn peittoäänien hyödyllisyyttä puhemelun haittavaikutusten vähentämisessä. Tutkimuksen suunnittelusta ja toteutuksesta vastasi tutkimusryhmä, jossa yhdistyy akustiikan ja psykologian asiantuntemus.

Koe suoritettiin psykofysiikkalaboratoriossa, jonka olosuhteet oli tarkasti säädetyt. Koehuoneiden valaistus, ilmanvaihto ja sisustus olivat samanlaisia jokaisella koehenkilöllä. Kokeeseen kuulumattomat ulkoiset ympäristötekijät oli kontrolloitu, eli koehuoneisiin ei kuulunut esimerkiksi kokeeseen kuulumattomia ääniä. Tutkimuksessa käytettiin toistomittausasetelmaa, joten havaitut erot eivät johtuneet äänitilanteiden erojen sijaan koehenkilöiden välisistä eroista. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät olivat yleisesti melututkimuksissa käytettyjä ja paljon tutkittuja.

Kokeessa huomioitiin myös koehenkilöihin liittyviä taustamuuttujia. Koehenkilöiden normaalikuuloisuus varmistettiin ja koehenkilöiden tilaa selvitettiin esimerkiksi nukkumisen ja erilaisten oireiden varalta. Näin pystyttiin jättämään tutkimuksen ulkopuolelle koehenkilöt, jotka eivät äärimmäisten taustatietojensa perusteella voineet suorittaa koetta normaalisti tai luotettavasti. Tutkimuksen tarkoitus, tai ainakaan hypoteesit eivät olleet todennäköisesti koehenkilöille arvattavissa, joten sosiaalisesti suotavaa vastaamista ei ole todennäköisesti voinut tapahtua ainakaan johdonmukaisesti.

4.5 Johtopäätökset

Tutkimuksen perusteella kuulokkeiden tai vastamelukuulokkeiden tarjoaminen ratkaisuksi avotoimistojen meluongelmiin ei riitä, vaan puhemelun haittavaikutusten vähentäminen edellyttää avotoimistoissa kokonaisvaltaista akustista suunnittelua. Vastamelutoimintoon yhdistettynä peittoäänien näyttävät vähentävän puheäänien häiritsevyyttä ja ääniympäristön haittaa keskittymiskyvylle. Toisaalta tutkimuksen perusteella peittoääni ei vähennä esimerkiksi tehtävien koettua kuormittavuutta tai paranna ääniympäristön miellyttävyyttä. Lisäksi

kuulokkeista toistettu peittoääni saattaa vähentää melun suoritusvaikutuksia erityisesti meluherkillä. Kuulokkeista toistettujen peittoäänten kyvystä vähentää puhemelun haittavaikutuksia tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimustietoa.

Lähteet

- Appel-Meulenbroek, R., Janssen, I., & Groenen, P. (2011). An end-user's perspective on activity-based office concepts. *Journal of Corporate Real Estate*, *13*(2), 122–135.
<https://doi.org/10.1108/14630011111136830>
- Banbury, S. P., & Berry, D. C. (1998). Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology*, *89*(3), 499–517. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1998.tb02699.x>
- Banbury, S. P., & Berry, D. C. (2005). Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics*, *48*(1), 25–37.
<https://doi.org/10.1080/00140130412331311390>
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, *383*(9925), 1325–1332.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-x](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-x)
- Belojević, G., Öhrström, E., & Rylander, R. (1992). Effects of noise on mental performance with regard to subjective noise sensitivity. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *64*(4), 293–301. <https://doi.org/10.1007/bf00378288>
- Bergström, J., Miller, M., & Horneij, E. (2015). Work environment perceptions following relocation to open-plan offices: A twelve-month longitudinal study. *Work*, *50*(2), 221–228.
<https://doi.org/10.3233/wor-131798>
- Bodin Danielsson, C., & Bodin, L. (2008). Office type in relation to health, well-being, and job satisfaction among employees. *Environment and Behavior*, *40*(5), 636–668.
<https://doi.org/10.1177/0013916507307459>
- Bodin Danielsson, C., & Bodin, L. (2009). Difference in satisfaction with office environment among employees in different office types. *Journal of Architectural and Planning Research*, *26*(3), 241–257.
- Bodin Danielsson, C., Bodin, L., Wulff, C., & Theorell, T. (2015). The relation between office type and workplace conflict: A gender and noise perspective. *Journal of Environmental Psychology*, *42*, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.04.004>
- Bradley, J. (2003). The Acoustical design of conventional open plan offices. *Canadian Acoustics*, *31*(2), 23–31 <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ircpubs>
- Brennan, A., Chugh, J. S., & Kline, T. (2002). Traditional versus open office design: A longitudinal field study. *Environment and Behavior*, *34*(3), 279–299. <https://doi.org/10.1177/0013916502034003001>
- Carlopio, J. R., & Gardner, D. (1992). Direct and interactive effects of the physical work environment on attitudes. *Environment and Behavior*, *24*(5), 579–601. <https://doi.org/10.1177/0013916592245001>
- Cohen, S., & Weinstein, N. (1981). Nonauditory effects of noise on behavior and health. *Journal of Social Issues*, *37*(1), 36–70. <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.1981.tb01057.x>
- Colle, H. A., & Welsh, A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *15*(1), 17–31. [https://doi.org/10.1016/s0022-5371\(76\)90003-7](https://doi.org/10.1016/s0022-5371(76)90003-7)

- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*, 769–786. <https://doi.org/10.3758/BF03196772>
- Davis, M. C., Leach, D. J., & Clegg, C. W. (2011). The physical environment of the office: Contemporary and emerging issues. *International Review of Industrial and Organizational Psychology*, *26*, 193–237. <https://doi.org/10.1002/9781119992592.ch6>
- de Croon, E., Sluiter, J., Kuijer, P., Frings-Dresen, M., de Croon, E. M., Sluiter, J. K., Paul, P., Kuijer, F. M., & Frings-Dresen, M. H. W. (2005). The effect of office concepts on worker health and performance: A systematic review of the literature. *Ergonomics*, *48*(2), 119–134. <https://doi.org/10.1080/00140130512331319409>
- di Blasio, S., Shtrepi, L., Puglisi, G. E., & Astolfi, A. (2019). A cross-sectional survey on the impact of irrelevant speech noise on annoyance, mental health and well-being, performance and occupants' behavior in shared and open-plan offices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(2), 280. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020280>
- Ebissou, A., Parizet, E., & Chevret, P. (2015). Use of the Speech Transmission Index for the assessment of sound annoyance in open-plan offices. *Applied Acoustics*, *88*, 90–95. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.07.012>
- Ellermeier, W., & Hellbrück, J. (1998). Is level irrelevant in “Irrelevant Speech”? effects of loudness, signal-to-noise ratio, and binaural unmasking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*(5), 1406–1414. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.5.1406>
- Ellermeier, W., & Zimmer, K. (1997). Individual differences in susceptibility to the “irrelevant speech effect.” *The Journal of the Acoustical Society of America*, *102*(4), 2191–2199. <https://doi.org/10.1121/1.419596>
- Ellis, P. D. (2010). Interpreting effects. *The Essential Guide to Effect Sizes*, 31–44. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511761676.003>
- Elliott, S.J. (2002). Active sound control, responsive systems for active vibration control. *NATO Science Series*, *85*. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0483-1_2
- Elliott, S. J. (2001). Signal processing for active control. *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-237085-4.x5000-5>
- Emberson, L. L., Lupyan, G., Goldstein, M. H., & Spivey, M. J. (2010). Overheard cell-phone conversations: when less speech is more distracting. *Psychological Science*, *21*(10), 1383–1388. <https://doi.org/10.1177/0956797610382126>
- Engelen, L., Chau, J., Young, S., Mackey, M., Jeyapalan, D., & Bauman, A. (2019). Is activity-based working impacting health, work performance and perceptions? A systematic review. *Building Research and Information*, *47*(4), 468–479. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1440958>

- Escera, C., Alho, K., Winkler, I., & Näätänen, R. (1998). Neural mechanisms of involuntary attention to acoustic novelty and change. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(5), 590–604.
<https://doi.org/10.1162/089892998562997>
- Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, *46*(4), 922–937.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>
- Gerven, P. W. M. van, Vos, H., Boxtel, M. P. J. van, Janssen, S. A., & Miedema, H. M. E. (2009). Annoyance from environmental noise across the lifespan. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *126*(1), 187. <https://doi.org/10.1121/1.3147510>
- Gray, J. R., Chabris, C. F., & Braver, T. S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, *6*(3), 316–322. <https://doi.org/10.1038/nn1014>
- Guski, R., Felscher-Suhr, U., & Schuemer, R. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration*, *223*(4), 513–527.
<https://doi.org/10.1006/jsvi.1998.2173>
- Haapakangas, A. (2017). subjective reactions to noise in open-plan offices and the effects of noise on cognitive performance problems and solutions. [Väitöskirja, Turun yliopisto]. UTUPub.
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-29-6860-2>
- Haapakangas, A., Hongisto, V., Eerola, M., & Kuusisto, T. (2017). Distraction distance and perceived disturbance by noise-An analysis of 21 open-plan offices. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *141*(1), 127–136. <https://doi.org/10.1121/1.4973690>
- Haapakangas, A., Hongisto, V., Hyönä, J., Kokko, J., & Keränen, J. (2014). Effects of unattended speech on performance and subjective distraction: The role of acoustic design in open-plan offices. *Applied Acoustics*, *86*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.04.018>
- Haapakangas, A., Hongisto, V., & Liebl, A. (2020). The relation between the intelligibility of irrelevant speech and cognitive performance—A revised model based on laboratory studies. *Indoor Air*, *30*(6), 1130–1146. <https://doi.org/10.1111/ina.12726>
- 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. <https://doi.org/10.3813/aaa.918444>
- Haka, M., Haapakangas, A., Keränen, J., Hakala, J., Keskinen, E., & Hongisto, V. (2009). Performance effects and subjective disturbance of speech in acoustically different office types - A laboratory experiment. *Indoor Air*, *19*(6), 454–467. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00608.x>
- Hancock, P. A., & Warm, J. S. (2003). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, *31*(1), 519–537. <https://doi.org/10.7771/2327-2937.1024>
- Hedge, A. (1982). The open-plan office: A Systematic investigation of employee reactions to their work environment. *Environment and Behavior*, *14*(5), 519–542. <https://doi.org/10.1177/0013916582145002>

- Heinonen-Guzejev, M., Vuorinen, H. S., Mussalo-Rauhamaa, H., Heikkilä, K., Koskenvuo, M., & Kaprio, J. (2005). Genetic component of noise sensitivity. *Twin Research and Human Genetics*, 8(3), 245–249. <https://doi.org/10.1375/1832427054253112>
- Hockey, A., & Geffen, G. (2004). The concurrent validity and test–retest reliability of a visuospatial working memory task. *Intelligence*, 32(6), 591–605. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2004.07.009>
- Hongisto, V. (2005). A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. *Indoor Air*, 15(6), 458–468. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00391.x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.12.004>
- 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. <https://doi.org/10.1121/1.4913273>
- Hughes, R. W. (2014). Auditory distraction: A duplex-mechanism account. *PsyCh Journal*, 3(1), 30–41. <https://doi.org/10.1002/pchj.44>
- IEC 60268-16 (2011) rev. 4. “Sound system equipment — Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index,” International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- ISO (2012) ISO 3382–3, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization
- ISO (2003) ISO/TS 15666 Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394–412. <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- Jahncke, H., Björkeholm, P., Marsh, J. E., Odellius, J., & Sörqvist, P. (2016). Office noise: Can headphones and masking sound attenuate distraction by background speech? *Work*, 55(3), 505–513. <https://doi.org/10.3233/wor-162421>
- Jahncke, H., Hongisto, V., & Virjonen, P. (2013). Cognitive performance during irrelevant speech: Effects of speech intelligibility and office-task characteristics. *Applied Acoustics*, 74(3), 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2012.08.007>
- Jahncke, H., Hygge, S., Halin, N., Green, A. M., & Dimberg, K. (2011). Open-plan office noise: Cognitive performance and restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 31(4), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.07.002>
- Jauhiainen, T., Vuorinen H. S., Heinonen-Guzejev, M., (2007) Ympäristömelun vaikutukset. Helsinki: Ympäristöministeriö. <http://hdl.handle.net/10138/38400>
- Jones, D. M., & Tremblay, S. (2000). Interference in memory by process or content? A reply to Neath. *Psychonomic Bulletin & Review*, 7(3), 550–558. <https://doi.org/10.3758/bf03214370>

- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1993). Irrelevant tones produce an irrelevant speech effect: Implications for phonological coding in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *19*(2), 369–381. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.19.2.369>
- Jones, D., Madden, C., & Miles, C. (1992). Privileged Access by Irrelevant Speech to Short-term Memory: The Role of Changing State. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *44*(4), 645–669. <https://doi.org/10.1080/14640749208401304>
- Kaakinen, J. K., Hyönä, J., & Keenan, J. M. (2003). How prior knowledge, WMC, and relevance of information affect eye fixations in expository text. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*(3), 447–457. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.3.447>
- Kaarlela-Tuomaala, A., Helenius, R., Keskinen, E., & Hongisto, V. (2009). Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices - Longitudinal study during relocation. *Ergonomics*, *52*(11), 1423–1444. <https://doi.org/10.1080/00140130903154579>
- Kang, S., Ou, D., & Ming Mak, C. (2017). The impact of indoor environmental quality on work productivity in university open-plan research offices. *Building and Environment* *124*(1), 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.003>
- Kari, T., Makkonen, M., & Frank, L. (2017). The effect of using noise cancellation earplugs in open-plan offices of the work well-being and work Performance of software professionals. *MCIS 2017: 11th Mediterranean Conference on Information Systems (pp. 36)*. <http://aisel.aisnet.org/mcis2017/36/>
- Keränen, J., Hakala, J., & Hongisto, V. (2020). Effect of sound absorption and screen height on spatial decay of speech – Experimental study in an open-plan office. *Applied Acoustics*, *166*(3), 107340. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107340>
- Keus Van De Poll, M., Carlsson, J., & Marsh, J. E. (2015). Unmasking the effects of masking on performance: The potential of multiple-voice masking in the office environment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *138*, 807. <https://doi.org/10.1121/1.4926904>
- Keus Van De Poll, M., Ljung, R., Odelius, J., & Sörqvist, P. (2014). Disruption of writing by background speech: The role of speech transmission index. *Applied Acoustics*, *81*, 15–18. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.02.005>
- Kim, J., & de Dear, R. (2013). Workspace satisfaction: The privacy-communication trade-off in open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, *36*, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.06.007>
- Kjellberg, A. (1991). Noise annoyance during the performance of different nonauditory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, *73*(4), 39. <https://doi.org/10.2466/pms.73.4.39-49>
- Kjellberg, A., & Landström, U. (1994). Noise in the office: Part II — The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *14*(1–2), 93–118. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90008-6)
- Kjellberg, A., Landström, U., Tesarz, M., Söderberg, L., & Åkerlund, E. (1996). The effects of nonphysical noise characteristics, ongoing task and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work. *Journal of Environmental Psychology*, *16*(2), 123–136. <https://doi.org/10.1006/jevp.1996.0010>

- Kliuchko, M., Heinonen-Guzejev, M., Vuust, P., Tervaniemi, M., & Brattico, E. (2016). A window into the brain mechanisms associated with noise sensitivity. *Scientific Reports*, *6*.
<https://doi.org/10.1038/srep39236>
- Kliuchko, M., Puoliväli, T., Heinonen-Guzejev, M., Tervaniemi, M., Toiviainen, P., Sams, M., & Brattico, E. (2018). Neuroanatomical substrate of noise sensitivity. *NeuroImage*, *167*, 309–315.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.041>
- Kylliäinen, M., & Hongisto, V. (2019). Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus. *Ympäristöministeriön julkaisuja 2019*: 28. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161953>
- Lee, S. Y., & Brand, J. L. (2010). Can personal control over the physical environment ease distractions in office workplaces? *Ergonomics*, *53*(3), 324–335. <https://doi.org/10.1080/00140130903389019>
- Lee, Y., Nelson, E. C., Flynn, M. J., & Jackman, J. S. (2020). Exploring soundscaping options for the cognitive environment in an open-plan office. *Building Acoustics*, *27*(3), 185–202.
<https://doi.org/10.1177/1351010x20909464>
- Liebl, A., Haller, J., Jödicke, B., Baumgartner, H., Schlittmeier, S., & Hellbrück, J. (2012). Combined effects of acoustic and visual distraction on cognitive performance and well-being. *Applied Ergonomics*, *43*(2), 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.06.017>
- Lenhard, W. & Lenhard, A. (2016). Computation of effect sizes. *Psychometrika*.
<https://doi.org/10.13140/rg.2.2.17823.92329>
- Mak, C. M., & Lui, Y. P. (2012). The effect of sound on office productivity. *Building Services Engineering Research and Technology*, *33*(3), 339–345. <https://doi.org/10.1177/0143624411412253>
- Marsh, J. E., Ljung, R., Jahncke, H., MacCutcheon, D., Pausch, F., Ball, L. J., & Vachon, F. (2018). Why are background telephone conversations distracting? *Journal of Experimental Psychology* *24*(2), 222–235. <https://doi.org/10.1037/xap0000170>
- Martin, R. C., W~galter, M. S., & Forlano, J. G. (1988). Reading comprehension in the presence of unattended speech and music. *Journal of memory and language*, *27*(4), 382–398.
[https://doi.org/10.1016/0749-596x\(88\)90063-0](https://doi.org/10.1016/0749-596x(88)90063-0)
- McElroy, J. C., & Morrow, P. C. (2010). Employee reactions to office redesign: A naturally occurring quasi-field experiment in a multi-generational setting. *Human Relations*, *63*(5), 609–636.
<https://doi.org/10.1177/0018726709342932>
- Morris, S. B., & DeShon, R. P. (2002). Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychological Methods*, *7*(1), 105–125.
<https://doi.org/10.1037/1082-989x.7.1.105>
- Müller, B. J., Liebl, A., & Martin, N. (2019). Influence of active-noise-cancelling headphones on cognitive performance and employee satisfaction in open space offices. *23rd international congress on acoustics*
- Nemecek, J., & Grandjean, E. (1973). Noise in landscaped offices. *Applied Ergonomics*, *4*(1), 19–22.
[https://doi.org/10.1016/0003-6870\(73\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0003-6870(73)90006-9)

- Öhrström, E., Skånberg, A., Svensson, H., & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2006). Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *Journal of Sound and Vibration*, *295*(1–2), 40–59.
<https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.11.034>
- Oldham, G. R., & Brass, D. J. (1979). Employee reactions to an open-plan office: A naturally occurring quasi-experiment. *Administrative Science Quarterly*, *24*(2), 267. <https://doi.org/10.2307/2392497>
- Oldham, G. R., Cummings, A., Mischel, L. J., Schmidtke, J. M., & Zhou, J. (1995). Listen while you work? Quasi-experimental relations between personal-stereo headset use and employee work responses. *Journal of Applied Psychology*, *80*(5), 547–564. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.80.5.547>
- Oswald, C. J. P., Tremblay, S., & Jones, D. M. (2000). Disruption of comprehension by the meaning of irrelevant sound. *Memory*, *8*(5), 345–350. <https://doi.org/10.1080/09658210050117762>
- Park, J., Chung, S., Lee, J., Sung, J. H., Cho, S. W., & Sim, C. S. (2017). Noise sensitivity, rather than noise level, predicts the non-auditory effects of noise in community samples: A population-based survey. *BMC Public Health*, *17*(1). <https://doi.org/10.1186/S12889-017-4244-5>
- Park, S. H., Lee, J., & Ho Jeong, J. (2018). Effects of noise sensitivity on psychophysiological responses to building noise. *Building and Environment*, *136*(5), 302–311.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.061>
- Pejtersen, J., Allermann, L., Kristensen, T. S., & Poulsen, O. M. (2006). Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. *Indoor Air*, *16*(5), 392–401.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00444.x>
- Persson Waye, K., Bengtsson, J., Rylander, R., Hucklebridge, F., Evans, P., & Clow, A. (2002). Low frequency noise enhances cortisol among noise sensitive subjects during work performance. *Life Sciences*, *70*, 745–758. [https://doi.org/10.1016/s0024-3205\(01\)01450-3](https://doi.org/10.1016/s0024-3205(01)01450-3).
- Pierrette, M., Parizet, E., Chevret, P., & Chatillon, J. (2015). Noise effect on comfort in open-space offices: Development of an assessment questionnaire. *Ergonomics*, *58*(1), 96–106.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2014.961972>
- Radun, J., Maula, H., Rajala, V., Scheinin, M., & Hongisto, V. (2021). Speech is special: The stress effects of speech, noise, and silence during tasks requiring concentration. *Indoor Air*, *31*(1), 264–274.
<https://doi.org/10.1111/ina.12733>
- Rämö, J., Alanko, M., Tikander, M., & Välimäki, V. (2013). Tulppakuulokkeiden akustiikkaa.
<https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2013/08/Ramo.pdf>
- Renz, T., Leistner, P., & Liebl, A. (2018). Effects of the location of sound masking loudspeakers on cognitive performance in open-plan offices: Local sound masking is as efficient as conventional sound masking. *Applied Acoustics*, *139*, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.04.003>
- Roelofsen, P. (2008). Performance loss in open-plan offices due to noise by speech. *Journal of Facilities Management*, *6*(3), 202–211. <https://doi.org/10.1108/14725960810885970>

- Röer, J. P., Bell, R., & Buchner, A. (2013). Self-relevance increases the irrelevant sound effect: Attentional disruption by one's own name. *Journal of Cognitive Psychology, 25*(8), 925–931.
<https://doi.org/10.1080/20445911.2013.828063>
- Rolfö, L., Eklund, J., & Jahncke, H. (2017). Perceptions of performance and satisfaction after relocation to an activity-based office. *Ergonomics, 61*(5), 644–657.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1398844>
- Ryu, J. K., & Jeon, J. Y. (2011). Influence of noise sensitivity on annoyance of indoor and outdoor noises in residential buildings. *Applied Acoustics, 72*(6), 336–340.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.12.005>
- Sander, E., Marques, C., Birt, J., Stead, M., & Baumann, O. (2021). Open-plan office noise is stressful: Multimodal stress detection in a simulated work environment. *Journal of Management & Organization, 27*(6), 1021-1037. <https://doi.org/10.1017/jmo.2021.17>
- Schlittmeier, S. J., Hellbrück, J., Thaden, R., & Vorländer, M. (2008). The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. *Ergonomics, 51*(5), 719–736. <https://doi.org/10.1080/00140130701745925>
- Schlittmeier, S. J., & Liebl, A. (2015). The effects of intelligible irrelevant background speech in offices – cognitive disturbance, annoyance, and solutions. *Facilities, 33*, 61–75.
<https://doi.org/10.1108/F-05-2013-0036>
- Seddigh, A., Berntson, E., Bodin Danielson, C., & Westerlund, H. (2014). Concentration requirements modify the effect of office type on indicators of health and performance. *Journal of Environmental Psychology, 38*, 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.01.009>
- Shamosh, N. A., Deyoung, C. G., Green, A. E., Reis, D. L., Johnson, M. R., Conway, A. R., Engle, R. W., Braver, T. S., & Gray, J. R. (2008). Individual differences in delay discounting: relation to intelligence, working memory, and anterior prefrontal cortex. *Psychological science, 19*(9), 904–911.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02175.x>
- Shepherd, D., Welch, D., Dirks, K. N., & Mathews, R. (2010). Exploring the relationship between noise sensitivity, annoyance and health-related quality of life in a sample of adults exposed to environmental noise. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 7*(10), 3579–3594.
<https://doi.org/10.3390/ijerph7103580>
- Steeneken, H. J. M., & Houtgast, T. (1980). A physical method for measuring speech-transmission quality. *The Journal of the Acoustical Society of America, 67*(1), 318–326. <https://doi.org/10.1121/1.384464>
- Sundstrom, E., Town, J. P., Rice, R. W., Osborn, D. P., & Brill, M. (1994). Office noise, satisfaction, and performance. *Environment and Behavior, 26*(2), 195–222.
<https://doi.org/10.1177/001391659402600204>
- Szalma, J. L., & Hancock, P. A. (2011). Noise effects on human performance: A meta-analytic synthesis. *Psychological Bulletin, 137*(4), 682–707. <https://doi.org/10.1037/a0023987>

- Sörqvist, P. (2010). The role of working memory capacity in auditory distraction: A review. *Noise and Health, 12*(49), 217–224. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.70500>
- van Dijk, F. J. H., Ettema, J. H., & Zielhuis, R. L. (1987). Non-auditory effects of noise in industry. VII. Evaluation, conclusions and recommendations. *International Archives of Occupational and Environmental Health, 59*(2), 147–152. <https://doi.org/10.1007/bf00378492>
- Veitch, J. A., Bradley, J. S., Legault, L. M., Norcross, S. G., & Svec, J. M. (2002). Masking speech in open-plan offices with simulated ventilation noise: Noise level and spectral composition effects on acoustic satisfaction. *National Research Council Canada* <https://doi.org/10.4224/20386334>
- Venetjoki, N., Kaarlela-Tuomaala, A., Keskinen, E., & Hongisto, V. (2006). The effect of speech and speech intelligibility on task performance. *Ergonomics, 49*(11), 1068–1091. <https://doi.org/10.1080/00140130600679142>
- Virjonen, P., Keränen, J., Helenius, R., Hakala, J., & Hongisto, V. (2007). Speech privacy between neighboring workstations in an open office - a laboratory study. *Acta Acustica United with Acustica, 93*, 771–782.
- 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. <https://doi.org/10.3813/AAA.918150>
- Vos, P., & van der Voordt, T. (2002). Tomorrow's offices through today's eyes: Effects of innovation in the working environment. *Journal of Corporate Real Estate, 4*(1), 48–65. <https://doi.org/10.1108/14630010210811778>
- Warnock, A. C. C. (1973). Acoustical privacy in the landscaped office. *The Journal of the Acoustical Society of America, 53*(6), 1535–1543. <https://doi.org/10.1121/1.1913498>
- Weinstein, N. D. (1978). Individual differences in reactions to noise: A longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology, 63*(4), 458–466. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.63.4.458>
- Wittersch, T., Wyon, D. P., & Clausen, G. (2004). The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. *Indoor Air, 14*(8), 30–40 <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00305.x>.
- Yadav, M., Cabrera, D., Kim, J., Fels, J., & de Dear, R. (2021). Sound in occupied open-plan offices: Objective metrics with a review of historical perspectives. *Applied Acoustics, 177*, 107943. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2021.107943>
- Åhsberg, E., & Gamberale, F. (1998). Perceived fatigue during physical work: an experimental evaluation of a fatigue inventory. *International Journal of Industrial Ergonomics, 21*(2), 117–131. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(96\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(96)00071-6)