

TYÖPISTEKOHTAINEN PEITTOÄÄNI AVOTOIMISTOSSA

Jani Kankare, Kalle Lehtonen, Vesa Viljanen, Tero Virjonen

Akustiikkatoimisto Promethor Oy
Hämeenkatu 32 E, 20700 TURKU
jani.kankare@promethor.fi

1 JOHDANTO

Avotoimistossa toisten työntekijöiden hajanaisten puheiden ja jutustelun kuuleminen on melulähde, johon ei ole ollut toimivaa ratkaisua. Kaikuisissa tiloissa puheääni kantautuu helposti nostaen puheensorinan äänitasoa ja tällaiset äänet tuntuvat häiritseviltä. Akustinen vaimennus (lyhyt jälkikaiunta-aika) pienentää äänitasoja ja tila tuntuu äänellisesti rauhallisemmalta, mutta häiriötä aiheutuu kuitenkin puheen erotettavuuden paranemisesta. Ihmisen kuullessa toisen puhetta keskittyminen heikkenee ja omat ajatukset keskeytyvät ja kääntyvät puheen kuuntelemiseen.

Avotoimistojen aikaisempaa parempi huoneakustinen suunnittelu ei kokonaisuudessaan ratkaise muiden työntekijöiden puheen häiritsevyyttä. Tilanteen parantamiseksi peittoäänen käyttö on toimiva ratkaisu. Ääni tulisi kuitenkin pystyä tuottamaan siten, että sen käytöllä saavutettava hyöty olisi haittoja suurempi.

Tutkimuksessa johtajatuksena oli, että jokaiseen työpisteeseen sijoitetaan hallitusti ja tarkasti suuntaava kaiutin. Tavoitteena oli rakentaa avotoimistoon ”näkyvät seinät” peittämään muualta tulevaa puhetta ja luomaan yksityisyyden tunnetta kuhunkin työpisteeseen. Ratkaisulla saavutettaisiin se hyöty, että äänitaso koko toimistossa ei nouse. Lisäksi laitteistolla toistettava peittoääni voi olla käyttäjän itsensä valittavissa.

2 TUTKIMUS

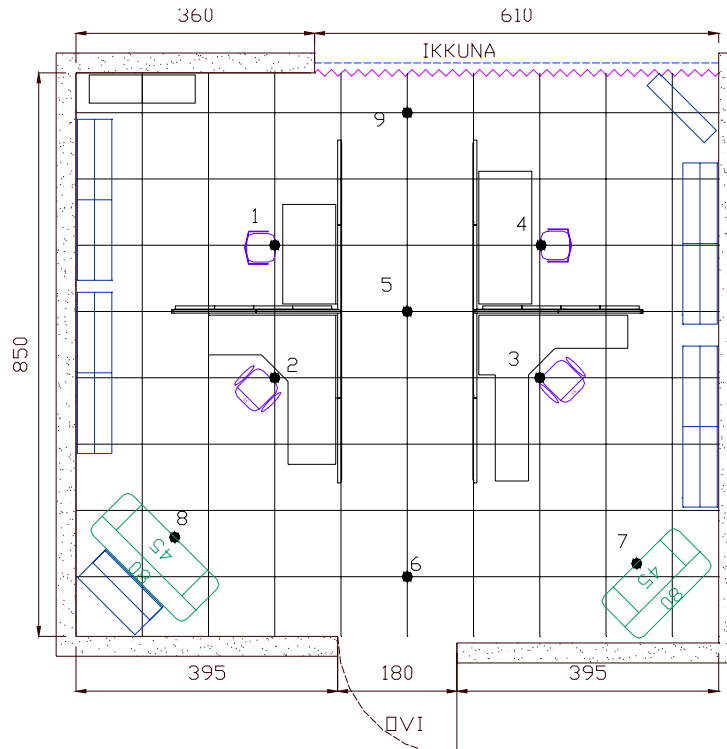
2.1 Laboratoriomittaukset

Hankkeen ensimmäisessä osassa peittoäänilaitteistoa kehitettiin ja testattiin laboratoriotilassa, johon rakennettiin neljän työpisteen avotoimisto. Kehitys- ja testaustyössä käytettiin akustisia mittauksia ja koehenkilöitä. Koetilassa työpisteiden välinen puheenerotettavuus oli erittäin hyvä ilman peittoääntä. Lisättäessä työpisteisiin peittoääntä SII- (ja STI-) arvot laskivat merkittävästi. Keskimääräisellä radiomusiikin taajuusjakaumalla ja työntekijän korvan kohdalla olevalla äänenvoimakkuudella $L_{pA} = 50$ dB SII-arvot laskivat keskimäärin 0,80 yksikköä (0,90 → 0,10). Näin ollen työpisteiden välinen puheenpeitto muuttui vähintäänkin hyväksi.

Koetilan pohjapiirustus on esitetty kuvassa 1 mittauspisteineen (1-9). Avotoimistomaisen tilan kokonaispinta-ala on 83 m² ja korkeus 2,5 m. Koetilaan rakennettiin neljä työpistettä, joita erottivat toisistaan 170 cm korkeat seinäkkeet. Seinäkkeet olivat kipsilevyä, joiden toiselle puolelle oli kiinnitetty 50 mm paksua Tecno-akustovillaa (yhteensä 31 m²).

Seinille villaa kiinnitettiin yhteensä 32 m^2 ja kattoon 54 m^2 . Kattoon villa kiinnitettiin siten, että villa muodosti kaarevan, osittain alas lasketun katon. Seinien vierustoissa oli mineraalivillaa pahvilaatikoissa pienitaajuisten äänien absorboimista varten.

Huoneen ikkuna peitettiin laskostetulla puuvillakangasverholla (pintamassa 320 g/m^2). Verho laskostettiin puoleen leveydestään.



Kuva 1. Koetilan pohjapiirustus mittauspisteineen. Kuvan ruudukon ruutuväli on 1 m.

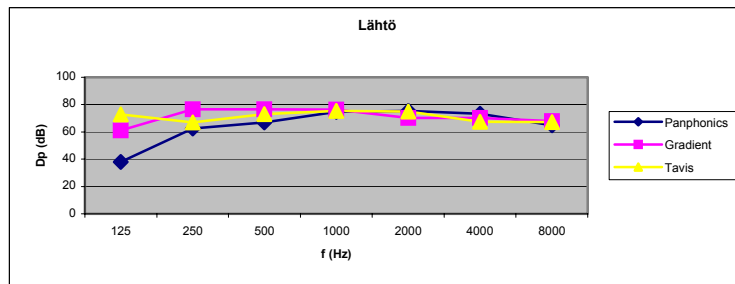
Kokeessa testattiin kolmea erityyppistä kaiutinta:

- Panphonics Soundshower tyyppi S (suuntaava elektrostaattinen dipolikaiutin)
- Gradient (tutkimusta varten suunniteltu suuntaava dynaaminen dipolikaiutin)
- tavallinen (kaupan) kaiutin (bassorefleksikotelo, käytetään myöhemmin nimeä ”Tavis”).

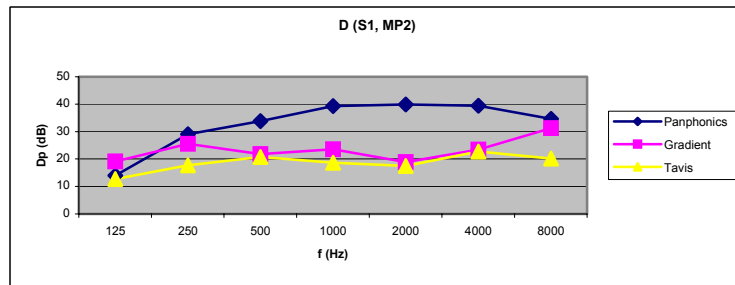
Mittausten tarkoituksena oli verrata kaiuttimia ja löytää niistä mahdollisimman suuntaava kaiutin.

Kuvassa 2 on esitetty eri kaiuttimien tuottama vaaleanpunaisen kohinan spektri ja kuvassa 3 mittauspisteiden välisiä äänitasoeroja taajuuksittain (osa mittauksista). Mittaus kuvaa kaiuttimen alapuolella olevan äänitason ja kaiuttimesta viereiseen työpisteeseen kuuluvan äänitason eroa.

Tuloksista huomataan Panphonicsin ylivoimaisesti paras suuntaavuus etenkin keskisuurilla taajuuksilla. Pienillä taajuuksilla eroa ei juuri ole, mutta toisaalta Panphonicsin elementistä ei ääntä alle 250 Hz :n taajuudella juuri edes saada (kuva 2).



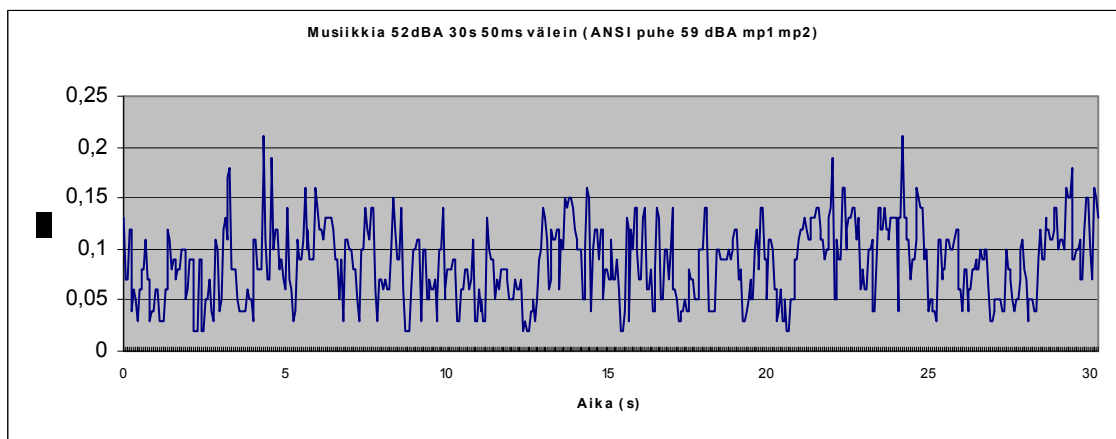
Kuva 2. Eri kaiuttimien tuottama vaaleanpunaisen kohinan spektri.



Kuva 3. Äänitasoero D mittauspisteiden 1 ja 2 välillä eri kaiuttimilla.

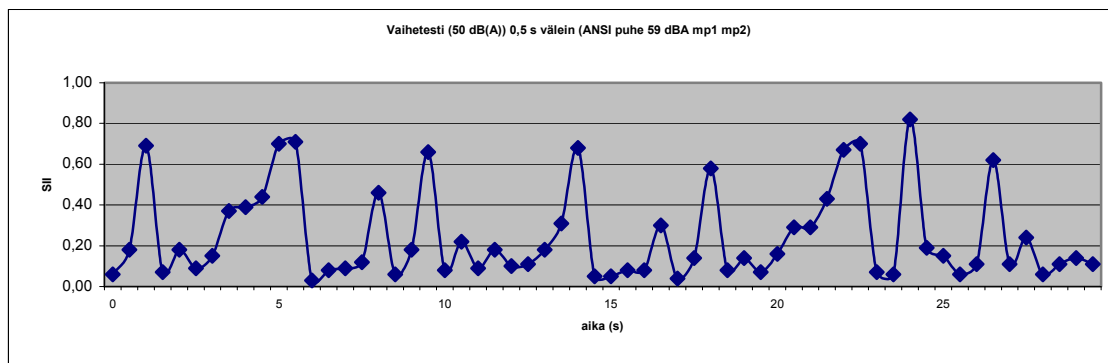
Kun peittoäänenä käytetään kohinaa, ei signaali-kohinasuhde S/N riipu ajasta, mutta peittoäänänen ollessa musiikkia tai puhetta signaali-kohinasuhde S/N riippuu voimakkaasti ajasta. Näin ollen saaduista tuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä tavallisen musiikin sekä puheen käytökelpoisuudesta peittoääneksi.

Kuvassa 4 on esitetty 30 s ajalta SII-arvot 50 ms välein, kun peittoäänenä oli 52 dB(A) voimakkuudella soitettua pop-musiikkia. SII:n keskihajonta oli tällä välillä 50 % eli kohtalaisen suuri. SII-arvon pienyydestä johtuen kuitenkin absoluuttinen muutos oli pieni.



Kuva 4. SII 50 ms välein työpisteiden 1 ja 2 välillä kun peittoäänenä on radiomusiikki.

Kuvassa 5 on esitetty 30 s ajalta SII-arvot 500 ms välein kun peittoäänenä oli 50 dB(A) voimakkuudella soitettua puhetta ("vaihetesti"). SII:n keskihajonta oli 100 % eli suuri.



Kuva 5. SII 0,5 s välein työpisteiden 1 ja 2 välillä kun peittoääninä on puhetta.

Kahdeksan koehenkilöä (4 x 2) kävi tekemässä koetilassa töitään. Koehenkilöiden tehdessä töitä tutkijat puhelivat ajoittain keskenään eri puolilla koetilaa (häirintää). Yleisesti ottaen koehenkilöt olivat tyytyväisiä peittoäänilaitteiston toimintaan, poikkeuskin kuitenkin löytyi.

2.2 Johtopäätökset laboratoriokokeista

2.2.1 Kaiutin

Testien perusteella henkilökohtaisen peittoäänilaitteiston kaiutinelementiksi valittiin Panphonics, joka osoittautui suuntaavuusominaisuuksiltaan ylivoimaisesti parhaaksi. A-painotettu äänitasoero eri työpisteiden välillä oli 10 – 15 dB parempi kuin muilla kaiuttimilla. Eroa syntyi etenkin keskisuurilla taajuuksilla 1000 – 4000 Hz.

Panphonics-kaiuttimen heikkona puolena havaittiin elementin toistama taajuusvaste, sillä pieniä taajuuksia (alle 250 Hz) ei sillä pystytty toistamaan. Tämä alentaa musiikin/radio-ohjelman toiston laatua, mikä saattaa aiheuttaa tyytymättömyyttä joidenkin käyttäjien keskuudessa. Lisäksi kohinan käyttö peittoääninä saattaa olla hankalaa pienien taajuuksien puuttuessa (kohinan laatu kärsii). Laboratoriossa vierailleiden koehenkilöiden mukaan kaiuttimien (Panphonic) tuottama ääni oli kuitenkin hyvää, eikä pienien taajuuksien puutetta kommentoitu.

2.2.2 Mittaustulokset

SII- (ja STI-) arvot laskivat merkittävästi, kun työpisteisiin lisättiin peittoääntä. Keskimääräisellä radiomusiikin taajuusjakaumalla ja äänenvoimakkuudella $L_{pA} = 50$ dB SII-arvot laskivat keskimäärin 0,80 yksikköä arvoon 0,10 (STI-arvoissa tämä muutos vastaa arviolta $\approx 0,60$ muutosta tässä tilassa). Näin ollen työpisteiden välinen puheenpeitto on riittävä, vähintäänkin hyvä.

On kuitenkin huomioitava, että musiikkia kuunneltaessa äänenvoimakkuus ja taajuus vaihtelevat, mikä aiheuttaa myös puheen erotettavuuden vaihtelua. Vaihtelut eivät kuitenkaan ole ratkaisevan suuria puheenpeiton kannalta. Huonoin tilanne puheenpeiton kannalta on aina kappaleiden vaihdon aikana ja kun kuunnellaan puheohjelmia. Puheohjelmat voivat jo itsessään aiheuttaa häiriötä keskittymiseen ja lisäksi puheohjelmien peittovaikutus on vaihtelevan huono johtuen puheen tauoista.

2.3 Kenttämittaukset ja kyselytutkimus

Peittoäänilaitteisto asennettiin kussakin toimistossa kahdeksaan työpisteeseen. Laitteiston kaiutinta pidettiin erikseen tutkimuskäyttöä varten rakennetussa telineessä. Kuvassa 6 on esitetty laitteiston asennus yhteen työpisteeseen koetoimistossa.



Kuva 6. Peittoäänilaitteiston kaiutin.

Koetoimistoissa suoritettiin seuraavat mittaukset:

- 1) STI (puheen siirtoindeksi) työpisteiden välillä
- 2) SII (puheen erotettavuusindeksi) työpisteiden välillä ja
- 3) jälkikaiunta-aika.

Koetoimistoissa suoritettiin kirjallinen kysely peittoäänitutkimukseen osallistuneille henkilöille. Kysely suoritettiin ennen ja jälkeen peittoäänilaitteiston koekäyttöä. Kyselyssä selvitettiin toimistotilojen äänellisiä olosuhteita ja kokemuksia peittoäänilaitteistosta.

2.3.1 Tulokset

Kyselytutkimukseen vastanneiden määrä oli yhteensä 44 henkilöä. Testihenkilöiden työ ei ollut pääsääntöisesti puhetyötä, sillä noin 75 % työntekijöistä käytti alle puolet työajastaan puhumiseen. Suhde pysyi likimain samana koko tutkimuksen ajan.

Kyselytutkimusten mukaan työntekijöitä useimmin haitanneet tekijät pitkällä aikavälillä (12 kk) ovat olleet muiden puhe, melu yleensä ja puhelinten hälytysäänet. Myös melu viereisestä huoneesta ja muiden radioiden äänet on koettu jonkin verran häiritseviksi. Sen sijaan tilojen kaikuisuus, ilmastointimelu, toimistokoneiden ääni tai oman radion ääni ei ole ollut merkittävästi häiritsevää.

Kysytyistä asioista työhön keskittymistä ja työskentelytehoa jo ennen peittoäänilaitteiston asennusta on työntekijöiden mukaan parantanut käytännössä vain oman radion kuuntelu.

Vastaajista 55% arvioi, että oman radion kuuntelu on parantanut työskentelytehoa vähintäänkin vähän. Peittoäänilaitteiston ollessa käytössä kyselytutkimuksen vastaukset eivät kokonaisuudessaan muuttuneet: työskentelytehoa paransi ainoastaan oman radion kuuntelu, josta hyötyvien määrä oli selvästi noussut ensimmäisen vaiheen kyselyyn verrattuna. Nyt 75 % vastaneista koki hyötyä oman radion kuuntelusta. Peittoäänilaitteistolla saavutettiin työtehon parantumista ainakin työntekijöiden itsensä arvioimana.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Laboratoriotutkimuksen perusteella toimiva työpistekohtainen peittoäänilaitteisto on rakennettavissa markkinoilla olevista komponenteista. Laitteiston suuntaavuusominaisuudet osoitautuivat myös erittäin hyväksi ja toisaalta järjestelmän kaiuttimen visuaalisuus mahdollistaa arkkitehtonisesti esteettisen asennuksen kaikkiin avotoimistoihin.

Tutkimustulosten perusteella peittoääntä voidaan käyttää avotoimistoissa parantamaan työympäristön viihtyisyyttä. Lisäksi tutkimuksen perusteella työpistekohtainen peittoäänilaitteisto soveltuu hyvin peittoäänien tuottamiseen avotoimistoissa.

Kyselytutkimuksen perusteella laitteiston suuntaava kaiutin mahdollistaa musiikin tai muun informatiivisen ohjelman kuuntelemisen työpisteessä ilman, että se häiritsee kohtuuttomasti toisia työntekijöitä. Jotkut henkilöt toki kokevat peittoäänilaitteiston tuottaman äänen (sekä oman että viereisten) häiriöksi, mutta tavallista kaiutinjärjestelmää käytettäessä häiriöt (äänen kulkeutuminen) ovat melko varmasti vielä suurempia.

Kyselytutkimuksessa annettujen palautteiden perusteella akustisesti huonosti toimivassa tilassa ongelmaksi saattaa tulla toisen työpisteen radion/musiikin kuuluminen omaan työpisteeseen. Näin saattaa tapahtua, mikäli joku henkilöistä pitää äänenvoimakkuutta merkittävästi muita suuremmalla. Tällöin laitteiston suuntaavuus- ja tilan akustiset ominaisuudet eivät riitä estämään äänen kuulumista.

Henkilökohtainen peittoäänilaitteisto soveltuu hyvin sellaisiin toimistoihin, joissa työpisteet on erotettu toisistaan mahdollisimman korkeilla seinäkkeillä ja työpisteiden välinen etäisyys on riittävä. Toimistoissa, joissa seinäkkeitä ei käytetä ja työpisteet ovat lähekkäin, ei peittoäänilaitteiston toimivuus ole varma. Toimivuuden parantamiseksi ja varmentamiseksi näissä toimistoissa peittoäänilaitteista tulevan signaalin tulee olla samaa. Tällöin yhteen työpisteeseen (yhdele työntekijälle) ei kuulu häiritsevästi useita eri signaaleja (musiikkia, puhetta, jne...). Mikäli yhteen työpisteeseen tulee useampaa erilaista signaalia voi laitteistosta aiheutuva haitta olla hyötyä suurempi.

Peittoäänilaitteiston tärkeinä ominaisuuksina käyttäjät ilmoittivat oman ohjelman valintamahdollisuuden ja äänen voimakkuuden hallinnan. Tämä tuleekin ottaa huomioon merkittävänä tekijänä peittoäänijärjestelmiä suunniteltaessa. Samalla se lisää suunnittelun ja toteutusten haasteellisuutta, jotta edellä mainitut ongelmakohdat vältetään.