

# KOKEMUKSIA KORVAKÄYTTÄVÄÄN ASENETTAVALLA MIKROFONILLA TEHDYISTÄ ÄÄNIMITTAUKSISTA

**Jaana Jokitulppo & Rauno Pääkkönen**

Tampereen aluetyöterveyslaitos, PL 486, 33101 Tampere

Jaana.Jokitulppo@occuphealth.fi tai Rauno.Paakkonen@occuphealth.fi

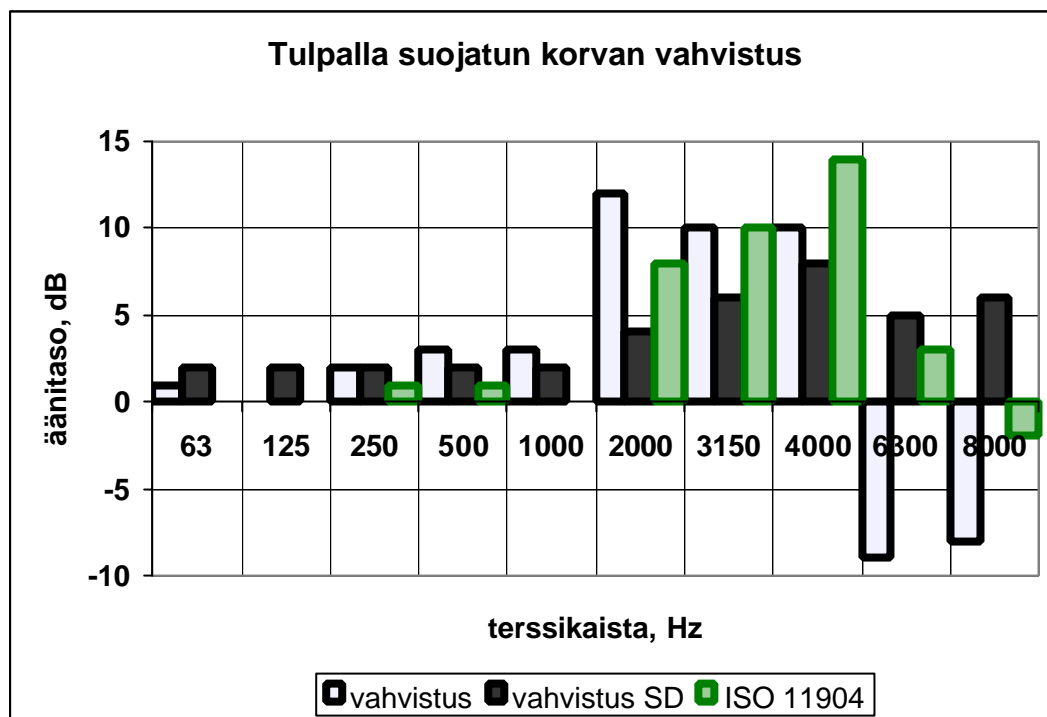
## 1 JOHDANTO

Tampereen aluetyöterveyslaitoksen ja puolustusvoimien yhteistyönä on kehitelty 1990-1995 korvakäytävän suulle asennettavaa ja 1995-2001 korvakäytävään asennettavaa mikrofonomittauksia, millä voidaan selvittää kuulonsuojaimien vaimennuskykyä voimakasta impulssimelua vastaan. Järjestelmän ominaisuuksien esittely on julkaistu Acusticassa [1]. Lisäksi järjestelmällä tehdyillä mittauksilla saatuja tuloksia on julkaistu eri yhteyksissä [2-10].

Avoimen korvan siirtofunktioksi olemme mittauksissamme saaneet kuvan 1 mukaisen tuloksen, mikä on sopuoinnussa aiheesta rakennettavaan standardiehdotukseen ISO/DIS 11904-1 [10] ja teoreettiseen korvan siirtofunktioon nähden [11]. Impulssimelua mitataan useimmiten käyttäen C-painotettua huipputasoa, jolle korvan vahvistustekijäksi olemme saaneet rynnäkkökiväärille 10 dB, 2 kg TNT räjäytykselle 6 dB ja erilaisille muille raskaille aseille tai räjähteille 5-7 dB. Jos siis mitataan esimerkiksi kuulonsuojaimen vaimennuskykyä korvakäytävämittauksella, tuloksiin on tehtävä korvan vahvistustekijän mukainen korjaus, koska meluallistuksen ohjearvot on annettu korvan ulkopuolisille meluallistuksille ( $L_{Aeq8h} = 85$  dB ja  $L_{Cpeak} = 140$  dB) VNP 1404/93 [12].

Korvakäytävän vahvistukseen liittyy myös osittain tuntemattomia epävarmuustekijöitä, kun arvioidaan korvakäytävään pääsevän melun aiheuttamaa kuulovaurioriskiä. Patterson ja Johnson [13-14] tutkivat tilapäisen kuulokynnyksen nousua asemeluille kuulosuojaimia käytettäessä ja he osoittivat, että kupukuulonsuojaimet voivat suojata raskaiden aseiden melulta äänen huipputasoille jopa 180 dB saakka. Raskaille aseille tavanomaisten kuulonsuojainten vaimennuskyky on 10-25 dB [5], joten tämä tarkoittaa, että korvakäytävään pääsevä melun huipputaso on tällöin 160 dB (180 dB - 25 dB + 5 dB vahvistuskorjaus). Dancerin [15] tutkimusten mukaan kuulonsuojain suojaa käsiaseiden melua vastaan huipputasoille 165-180 dB, joka tarkoittaisi korvakäytävään pääsevän melun huipputasoa 145-160 dB (165 dB - 30 dB + 10 dB ... 180dB - 30 dB + 10 dB) [1].

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää korvakäytävästä mitattuja äänitasoja kahden eri kokeen aikana: 1) kuulosuojainten vaimennus, musiikki ja matkapuhelin sekä 2) äänet, joita syntyy kun esim. kun taputellaan tai kaivellaan korvakäytävän suuta sekä asetetaan ja otetaan pois tavanomaisia kuulonsuojaimia. Monet näiden mittauksien tekijät ovat usein ihmetelleet, miten korkeita äänitasoja näistä pääosin lyhytaikaisista toimenpiteistä aiheutuu korvakäytävään. Tulokset ovat esimerkkejä eivätkä edusta tilastollisen joukon saamia keskimääräisiä arvoja.



Kuva 1. Tulpalla suojatun korvan vahvistus [1].

## 2 KOHTEET JA MENETELMÄT

Korvakäytävästä tehtävien äänimittausten järjestelmä rakentuu kaupallisen Sennheizer KE-911 mikrofoniin varaan, joista signaali tuodaan ja joiden käyttöjännite viedään erittäin ohuiden eristettyjen johtimien (halkaisija alle 0,1 mm) kautta esivahvistimelle. Esivahvistimena on käytetty mikrofoni valmistajan vahvistinta, miltä signaali on kuljetettu digitaalياهوureille Sony TCD-D7-8 tai äänianalysointoreille B&K 2260. Nauhoitettuja signaaleita on analysoitu em. äänianalysointoreilla, FFT-analysointoreilla, reaaliaika-analysointoreilla tai piirtureilla. Tampereen aluetyöterveyslaitoksen melukammiossa päästään järjestelmällä alle 60 dB huipputasoon ( $L_{Cpeak}$ ) ja noin 30 dB jatkuvaan äänitasoon ( $L_{Aeq1s}$ ). Dynamiikan yläpäässä mikrofoniin säröt tulevat vastaan noin 140-170 dB tasoilla riippuen mikrofonityypistä.

Asennusvaimennus (insertion loss = IL) määritellään suojainmittauksissa siirtohäviön (transmission loss = TL) ja korvan vahvistustekijän summana (TFOE = transfer function of an open ear) eli yhtälönä

$$IL = TL + TFOE \quad (1)$$

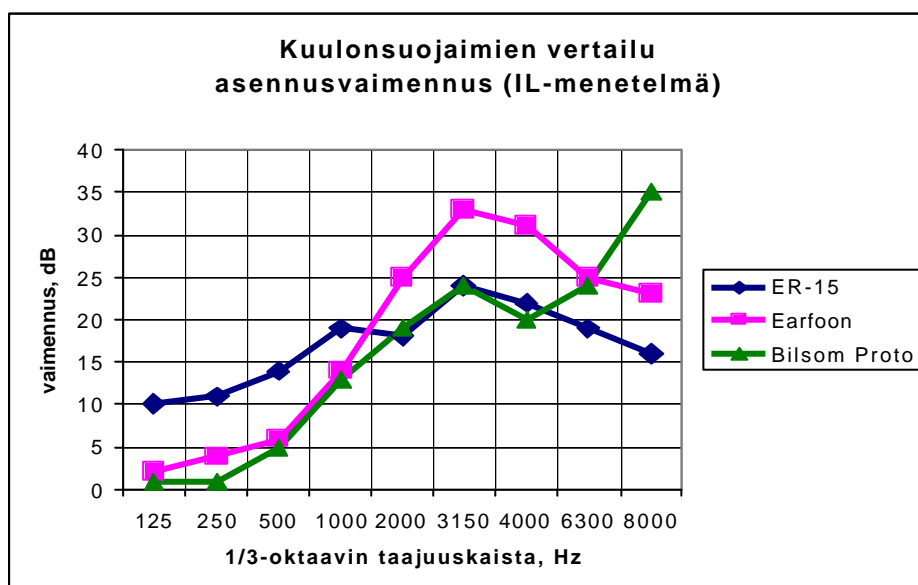
**Koe 1.** Kokeessa testattiin viestintäsuojaimien ja korvakäytävään valettujen suojaimien vaimennusvaikutusta. Koehenkilöinä toimivat tämän artikkelin kirjoittajat (n=2). Lisäksi kokeessa testattiin musiikin aiheuttamaa äänitasa korvassa sekä matkapuhelimen aiheuttamaa äänitasa korvakäytävässä. Tulokset eivät ole kattavia, vaan esimerkinomaisia. Kolmea erityyppistä

musiikinäytettä (klassinen, disko- ja pop-musiikki) soitettiin sekä korvan ulko- että sisäpuolella vakioäänenvoimakkuudella.

**Koe 2.** Korvakäytäväkokeissa mitattiin 5 henkilön (n= 10 korvaa) korvakäytävästä erityyppisiä ääniä. Koehenkilöt (3 naista ja 2 miestä) olivat iältään 21-53 vuotiaita. Kokeessa koehenkilöä pyydettiin tuottamaan tietyn ohjelman mukaisesti ääntä korvakäytävässä olevaan mikrofoniiin kuten mm. korvakäytävän suun taputtelu ja tulppasuojaimen laitto.

### 3. TULOKSET

**Koe 1.** Kuvassa 2 on esitetty niin sanottujen viestintäsuojaimien ja korvakäytävään valettujen suojaimien vaimennuskäyriä taajuuden funktiona mitattuna kirjoittajien korvakäytävästä. Tulosta tarkasteltaessa on huomattava, että lähes kaikkiin korvakäytävään valettaviin suojaimiin on saatavana erilaisia suodattimia, joten kuvan 2 arvoja on tarkasteltava pelkästään esimerkkinä.



*Kuva 2. Korvakäytävään valettujen suojaimien vaimennus kahden koehenkilön (n=4 korvaa) keskiarvona*

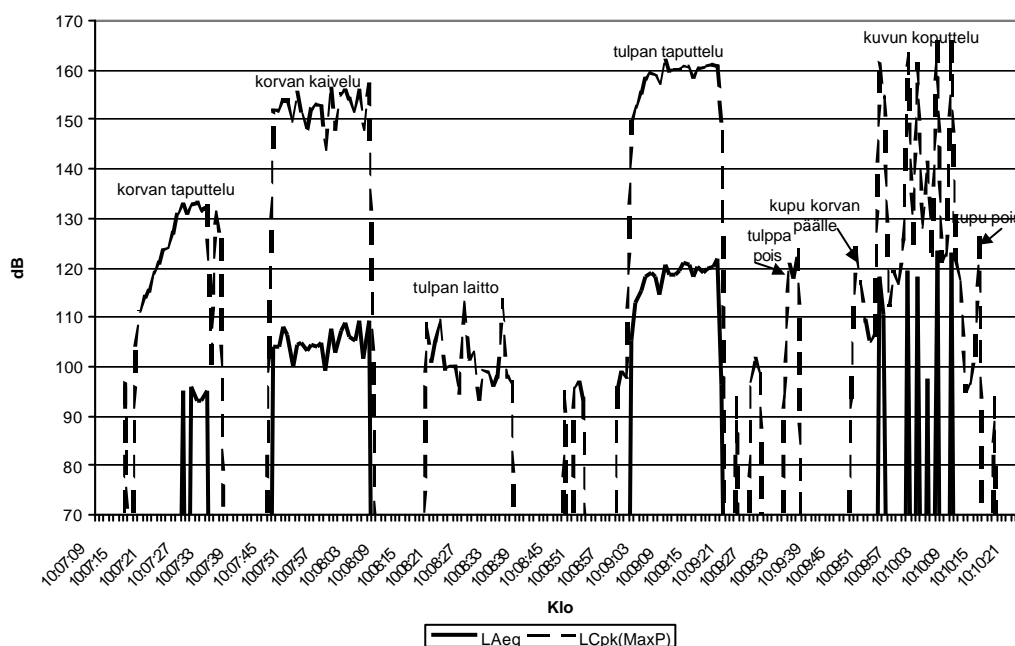
Kun selviteltiin matkapuhelimen puheen äänen voimakkuutta korvakäytävässä, saatiin ekvivalenttitasoiksi 82-98 dB ja huipputasoiksi 112-126 dB. Soittoäänelle keskiäänitasoiksi saatiin 60-82 dB kuulijasta ja asetetusta puhelimen äänenvoimakkuudesta riippuen. Musiikkiaänitasot vaihtelivat korvakäytävästä mitattuna 74-76 dB ja korvan ulkopuolelta mitattuna 69-73 dB.

**Koe 2.** Jos hierotaan tai taputellaan korvakäytävän suuta sormella, päästään helposti huipputasoon 95-162 dB ja hetkellisiin äänitasoihin 100-129 dB. Tulpan laitto korvaan aiheuttaa 100-135 dB ja tulpan koputtelu 133-162 dB sekä kupusuojaimen kuvun koputtelu 141-163 dB huipputasoon (taulukko 1 ja kuva 3). Kuulonsuojaimien poisottaminen aiheutti suunnilleen samantasoisia arvoja.

Taulukko I. Eri tyyppisten äänien tuottamat melutasot korvakäytävässä (n=10 korvaa).

Toiminta	LAeq, dB keskiarvo	LCpeak, dB	
		keskiarvo	vaihtelu
korvan taputtelu	89	120	100-135
korvan kaivelu	109	115	95-162
tulpan laitto	101	118	103-151
tulpan koputtelu	98	143	126-162
kupujen koputtelu	103	150	141-163

Eri äänien melutasot korvassa



Kuva 3. Esimerkki melutasoista korvakäytävässä koehenkilöllä kuulosuojaimia asettaessa.

#### 4. POHDINTA

Tulppasuojainten, viestintäjärjestelmien, nappikuulokkeiden ja vastaavien järjestelmien testaus ja vertailu onnistunee teknisesti parhaiten edelleenkin erilaisia keinokorvaratkaisuja käyttäen. Koska näitä korvakäytävään ja korvan ulkopuolelle asetettavia laitteita kuitenkin käytetään käytännön olosuhteissa, missä esiintyy muitakin äänilähteitä, on tarpeen kehittää järjestelmiä, joilla voidaan

selvittää todellista melualtistusta. Esimerkkinä näistä ovat hävittäjäkoneen ohjaajan melualtistuksen arviointi lennon aikana [2,4,6].

Tulppasuojainten äänen vaimennus määritetään subjektiivisella kuulokynnysmenetelmällä. Tämä antaa hyvin tietoa suojainten yleisistä vaimennusominaisuuksista. Tulppasuojainten asettuminen on kuitenkin hyvin yksilöllistä, jolloin kriittisissä melualtistustilanteissa pitää tietää yksilötasolla todellinen altistuminen [3,5,7,9]. Kehitteillä ja kaupallisesti on myös tasosta riippuvaisia kuulonsuojaimia (level dependent hearing protectors), joiden testaamiseen kuulokynnysmenetelmä ei välttämättä anna riittävästi tietoa.

Musiikin, matkapuhelimien ja muiden tavanomaisten äänien voimakkuus oli odotusten mukainen, mutta kuulonsuojaimien asetteluihin liittyi voimakkaita lyhytaikaisia ääniä (Taulukko 1 ja kuva 3). Varsin vaatimattomatkin ilmiöt korvakäytävän välittömässä läheisyydessä voivat helposti aiheuttaa voimakkaita äänitasoja korvakäytävässä. On siis mahdollista, että huipputasolle annetut ohjeavot (140 dB) ylittyvät, mutta ylittymisten arvioimisessa on huomattava kaksi asiaa. Korvalehti, korvakäytävän suu ja korvakäytävä vahvistavat ääntä henkilöstä riippuen (2000 Hz taajuudella jopa 15 dB). Toiseksi uusimman tutkimustiedon mukaan, jos korvakäytävän suu on suljettu, on väärin pitää kuulovaurioriskin rajana arvoa 140 dB, vaan äänitason gradientti eli muutosnopeus staattisen paineen yli saattaa olla se merkittävin suure, minkä avulla suojaimella suojatun korvan impulssin haitallisuutta pitäisi arvioida. Asia vaatii kuitenkin lisätutkimusta.

Korvakäytävästä tehtävillä mittauksilla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Kehitetty mittausjärjestelmä tarjoaa mahdollisuuksia mitata äänitasoja todellisessa korvassa todellisessa altistumistilanteessa. Menetelmään liittyy myös epävarmuustekijöitä esim. käytännön tilanteissa mittausten toistettavuus ja tarkkuus on huonompi kuin laboratoriomittauksissa. Näin ollen menetelmä ei pysty korvaamaan keinopäätä, tai keinokorvaa eikä muita standardisoituja mittaamenetelmiä.

## LÄHTEET

1. PÄÄKKÖNEN, R., LEHTOMÄKI, K., SAVOLAINEN, S., MYLLYNIEMI, J & HÄMÄLÄINEN, E.: Noise attenuation of hearing protectors in the human ear-a method description. *Acustica-acta acustica* 86(2000), 477-480.
2. PÄÄKKÖNEN, R. & KURONEN, P.: Noise exposure of fighter pilots and technicians over flight rounds. *Acustica-acta acustica* 84(1998);1, 91-96.
3. PÄÄKKÖNEN, R., LEHTOMÄKI, K. & SAVOLAINEN, S.: Noise attenuation of communication hearing protectors against assault rifle impulses. *Military Medicine* 163(1998);1, 40-43.
4. PÄÄKKÖNEN, R. & KURONEN, P.: Low-Frequency aviation noise and noise attenuation of aviation headsets and helmets using active noise cancellation. *Journal of Low frequency Noise, Vibration and Active control*. 17(1998);4, 191-197.
5. PÄÄKKÖNEN, R., LEHTOMÄKI, K. & SAVOLAINEN, S.: Noise atenuation of hearing protectors against heavy weapon noise. *Military medicine* 165(2000), 9: 678-682.
6. PÄÄKKÖNEN, R., KURONEN, P. & KORTEOJA, M.: Active noise reduction in aviation helmets during a military jet trainer test flight. *Scand Audiol* 30(2001); Suppl 52; 177-179.

7. PÄÄKKÖNEN, R., SAVOLAINEN, S., MYLLYNIEMI, J., HÄMÄLÄINEN, E. & LEHTOMÄKI, K.: Ear plugs and the human auditory canal. *AnnMedMilitFenn* 75(2000); 3, 155-161.
8. PÄÄKKÖNEN, R., LEHTOMÄKI, K. & SAVOLAINEN, S: A miniature microphone method for the measurement of noise attenuation of ear protectors in field conditions. *ICMM 2000. XXXIII International Congress on Military Medicine 25-30 June 2000*. Abstract book, Dipoli Espoo, 134.
9. PÄÄKKÖNEN, R., LEHTOMÄKI, K., TOIVONEN, M., SAVOLAINEN, S.: Noise Attenuation of Molded Communication Ear Plugs. *International Military Noise Conference*, Wyndham Baltimore Inner Harbor, Baltimore, USA, April 24-26, 2001, abstract.
10. ISO: Acoustics - Determination of sound immissions from sound sources placed close to the ears - Part 1. Technique using microphones in real ears (MIRE-technique). *Draft international standard ISO/DIS 11904-1*. ISO 2000. 17 s.
11. KARJALAINEN, M: *Kommunikaatioakustiikka*. Raportti 51. (Korjattu esipainos) Akustiikan ja äänenkäsittelyn laboratorio. Teknillinen korkeakoulu. Espoo 1999. 237 s. [viittaus sivulle 78].
12. VNp 1404/93. Valtioneuvoston päätös työntekijäin suojelusta työssä esiintyvän melun aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. *Suomen asetuskokoelma* 1404/93.
13. PATTERSON, J. & JOHNSON, D: Temporary threshold shifts produced by high intensity freefield impulse noise in human wearing hearing protection. Report 94-46. Fort Rucker, AL: US Army Aeromedical Research Laboratory, August 1994.
14. PATTERSON, J. & JOHNSON, D: Actual effectiveness of hearing protection in high level impulse noise. Report 94-48. Fort Rucker, AL: US Army Aeromedical Research Laboratory, August 1994.
15. DANCER, A., GRATEAU, P. CABANIS, A. , ym: Effectiveness of earplugs in high intensity impulse noise. *J.Acoust.Soc.Am.* 91(1992); 1677.-1689.