KUULONSUOJAIMET HÄIRITSEVÄSSÄ MELUSSA

RAUNO PÄÄKKÖNEN, RAUNO.PAAKKONEN@GMAIL.COM

ORGANISAATIOT: A-INSINÖÖRIT SUUNNITTELU OY, TMI RAUNO PÄÄKKÖNEN JA TYÖTERVEYSLAITOS

TYÖSUOJELURAHASTON HANKKEET TSR 240052 JA TSR 240055 "TYÖN ÄÄNET"

TUTKIMUSRYHMÄ ESA NOUSIAINEN, ANU JÄRVENSIVU, HANNA KERÄNEN, RIKU TANILA, ANNU HAAPAKANGAS

TAUSTAA

- Miten teollisuuden ääniympäristö näkyy kuulonsuojaimissa, kun lähtökohtana on tilanne, missä kuulovaurion ylempi toiminta-arvo L_{Aeq}= 85 dB ei ylity, mutta työpaikalla on voimassa kuulonsuojainpakko esimerkiksi meluimpulsseilta suojautumiseksi.
- Työsuojeluhallinnon (www.tyosuojelu.fi) sivustolla kuulonsuojaimessa keskiäänitason tulisi olla 75-80 dB [1-3].
- Jos jatkuva äänitaso on alle 75 dB, kuulonsuojain on ylivaimentava ja jos äänitaso on yli 80 dB ollaan kuulovauriotarkastelun pohdinnassa. Käytännön kannalta tämä äänitasoalue on varsin kapea eikä siihen siten useinkaan päästä.

LAITTEITA KORVAN PÄÄLLE

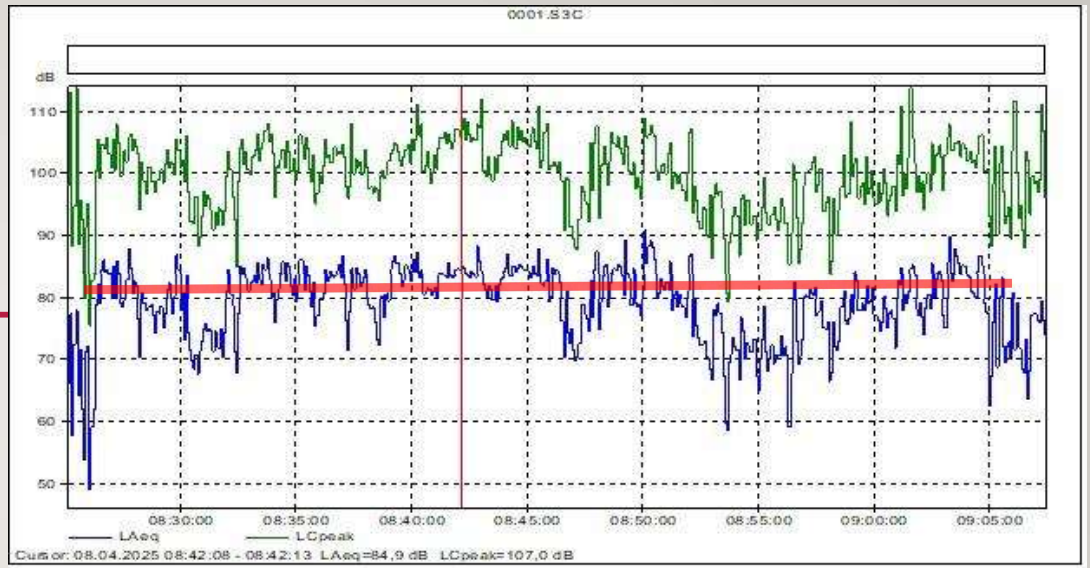
- Kuulonsuojaimet, standardisoituja, melussa yli 80 dB käytettäviä
- Kuulokkeet, ei standardisoituja, viestintään, radio, äänimaisema
- Kuuloavustimet, ääntä vahvistavat, taajuuksia korjaavat
- Kuulokojeet, kuulovamman korjaamiseen tarkoitettuja

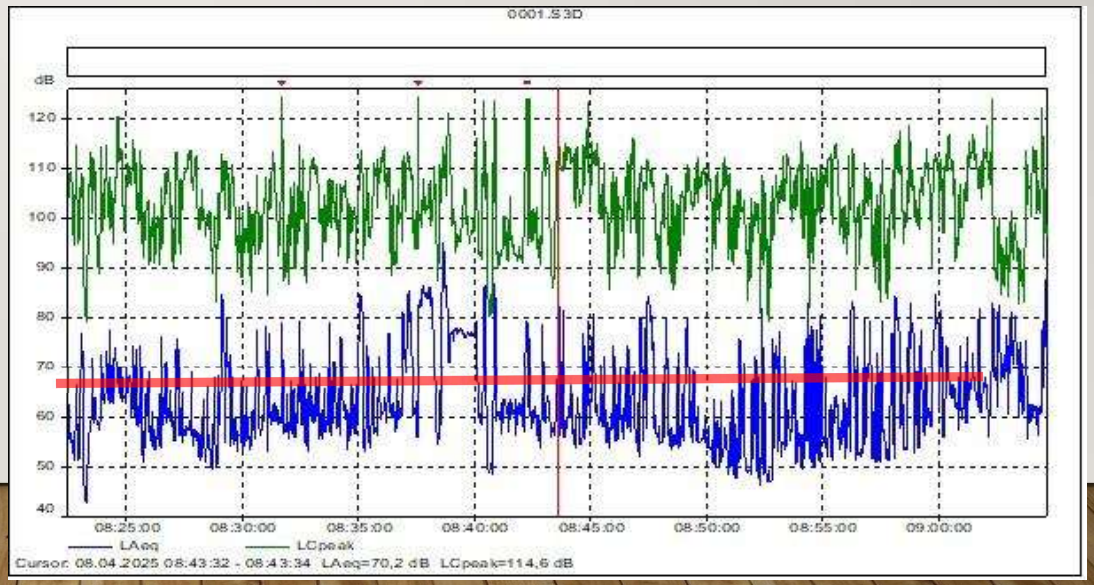
LAITTEITA KORVAN PÄÄLLE - KEHITYSTRENDIT

- Passiivisten kuulonsuojainten kehitystä vähän, mukavuus
- Aktiivisiin kuulonsuojaimiin kehitystä paljon; viestintä, radio, äänimaailma, työopastus, perehdytys, varoitusäänien ja koneäänien havainnot, digitaalipiirit kehittyvät voimakkaasti
- Kuulokkeet, vastamelu, äänien erottuminen, viestintä, etätyö, taustamelun suodattaminen
- Kuuloavustimet kehittymässä voimakkaasti, äänien valikointi, vahvistaminen, puheen erottuminen, monipuolisia toimintoja, syke, vagushermoon vaikuttaminen
- Kuulokojeet, tarkoitettu kuulovammojen aiheuttaman kuulon huonontumisen korjaamiseen toisaalta markettituotteet, toisaalta kuulokeskusten asentamat

HÄIRITSEVÄ MELU?

- Melu pääsääntöisesti alle 80 dB, ei kuulovaurioita (vaikka WHO >75 dB melu voi vaurioittaa kuuloa)
- Ympäristönsuojelussa haittaava tai häiritsevä melu (YSL ja TervsL)
- Melu on harvoin tasaista melua





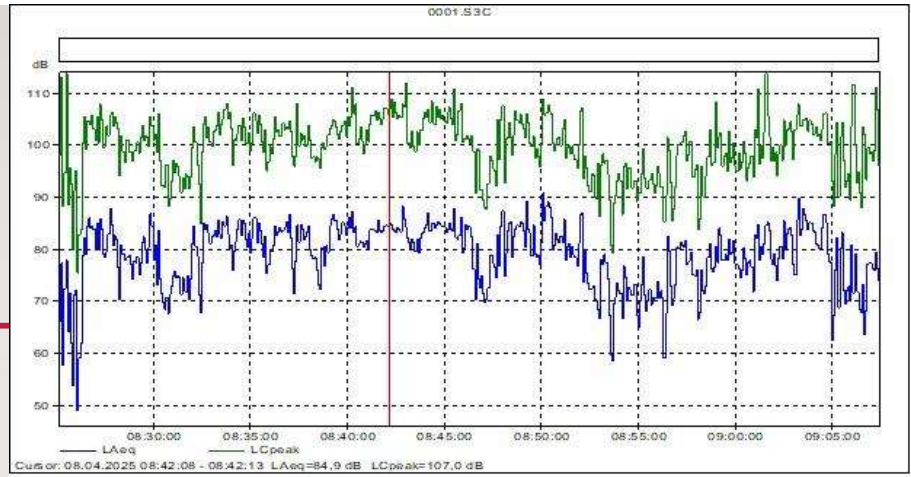
ESIMERKKI

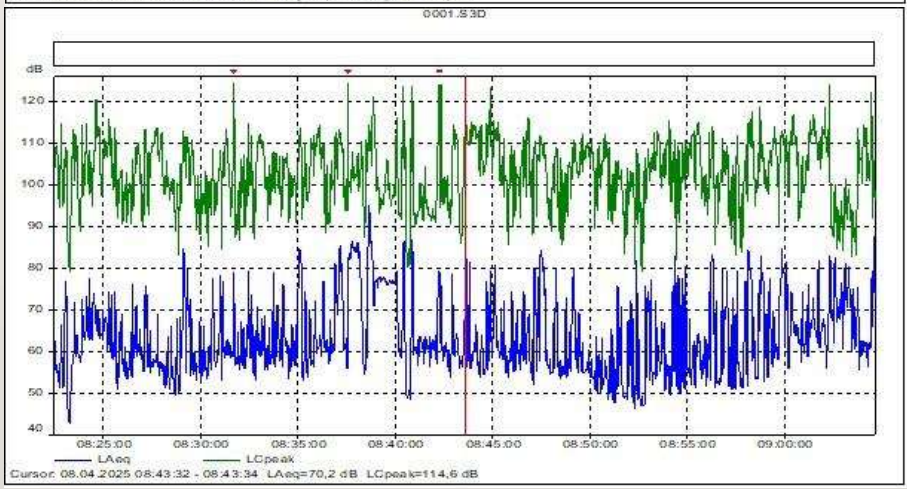
Äänitaso olkapäältä (ylempi kuva) ja kuulonsuojaimen Peltor Optime sisäpuolelta (alempi kuva)

Alemmassa kuvassa näkyy suurempi äänitasojen vaihtelevuus, mikä johtuu kävelyäänistä, puheesta ja suojaimen liikkumisesta.

A-äänitasot ovat 8-10 dB vaimeammat suojaimen sisäpuolella kuin suojaimen ulkopuolella.
Melun perustaso suojaimessa on selvästi alempi kuin olkapäällä olevan mikrofonin välittämä.

Korvaan kohdistuvat huipputasot olivat korkeampia kuulonsuojaimen sisäpuolella kuin ulkopuolella, mikä johtuu liikkumisesta, suojaimen kolahduksista tai omasta puheesta.



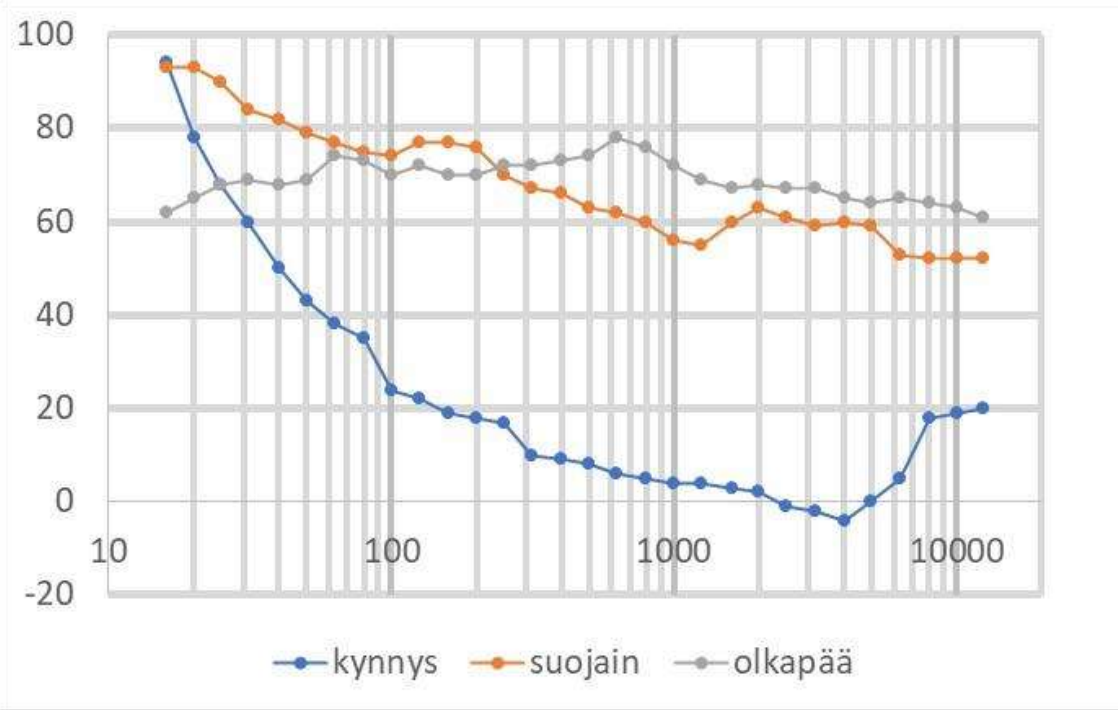


ESIMERKKI 2 TAAJUUSVASTE TEHDASKIERROKSEN KÄVELYN YLI

Kävelijän kuulonsuojaimen ulkopuolella äänitaso oli tavanomainen teollinen äänitaso, missä oli taajuuksia koko taajuusalueella, mutta merkittävimmät A-äänitasoon vaikuttavat taajuudet olivat 300-2000 Hz.

Kun tarkastellaan kuulonsuojaimen sisäpuolella olevaa äänitasoa, huomataan, että taajuusalueella 16-200 Hz oleva äänitaso on voimakkaampi kuin kuulonsuojaimen ulkopuolella.

Taajuusalueella 1600-6000 Hz suojaimessa oleva äänitaso on selvästi pienempi kuin mitä kuulonsuojaimen odotettu vaimennus antaisi olettaa.

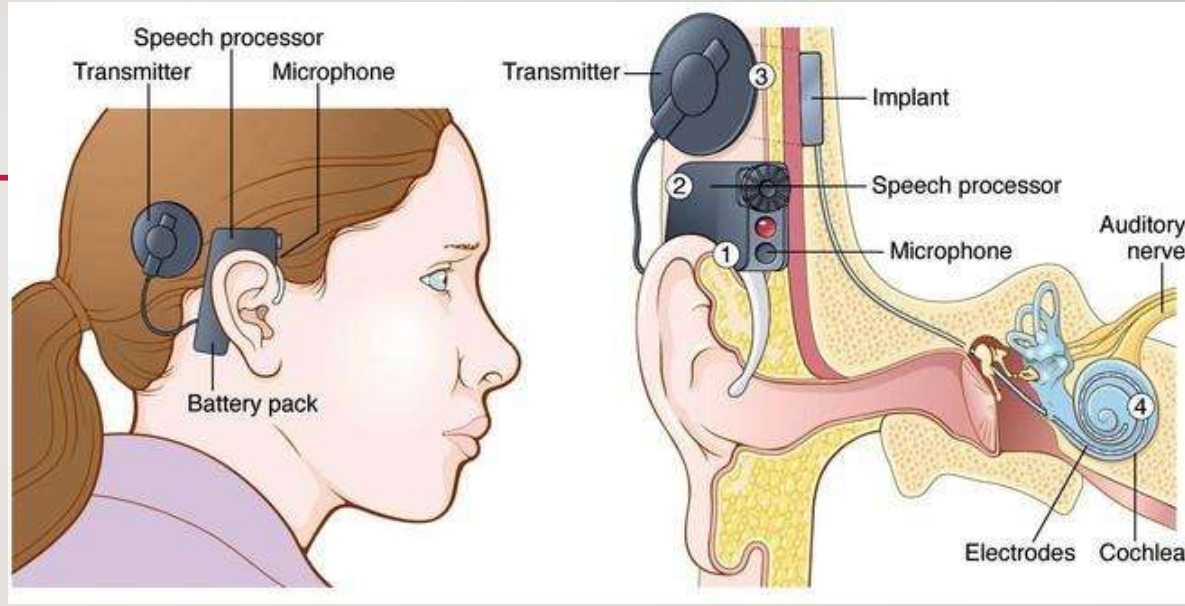


Toisen tutkijan subjektiivinen kokemus oli "tukkoinen" äänimaiseman osalta.

KUULOKOJEET JA SISÄKORVAISTUTTEET

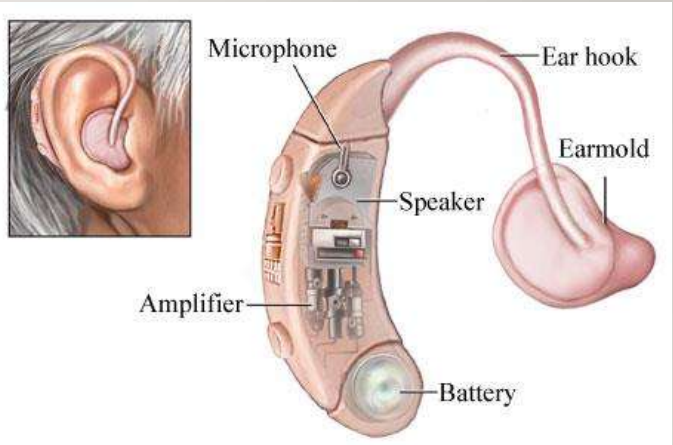
Rauno Pääkkönen

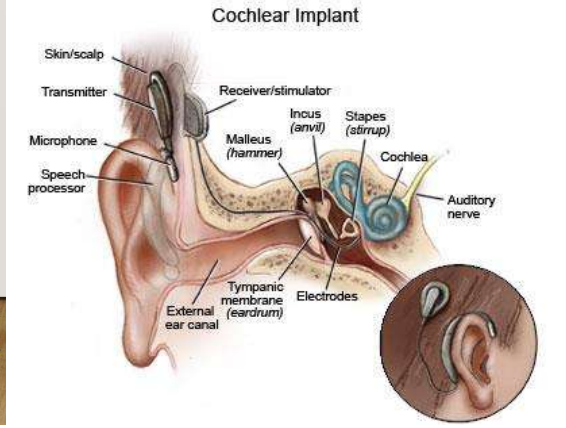
- Mikrofonin suojaaminen ja häiriöherkkyys, varjostuminen, korvalehden puuttuminen, suuntaavuus
- Lähetin - vastaanotin
- Esivahvistin, suotimet, radiohäiriöt, staattisten kenttien häiriöt
- Suotimet, kytkennät esim. Bluetooth
- Johtimet ja signaalien välitys



KUULOKOJEET JA SISÄKORVAIMPLANTIT

- Häiriömahdollisuuksia:
  - Hankaaminen, tuuli, hiukset, vaatteet, liike, iskut, venyminen, irtoaminen
  - Sähkömagneettiset kentät, hiusten sähköisyys, staattinen sähkö
  - Indusoitumisen mahdollisuus, erityisesti johtimet
- Kojeiden elektroniikka
  - Mikrofonin ominaisuudet dynamiikka, suuntavaste, häiriöherkkyys
  - Vahvistimet ja taajuuskorjaimet
  - Vastamelukorjaimet ja suodattimet
  - Automaattiset tasonsäätimet ja potentiometrit
  - Potentiometrit
- Vaikutukset
  - Puheen selvyys, viestintä
  - Kohina, suhina, äänipulssit
  - Taajuusvaste, amplitudivaste
  - Rohina, rutiseminen, piikit







ESIMERKKI 3

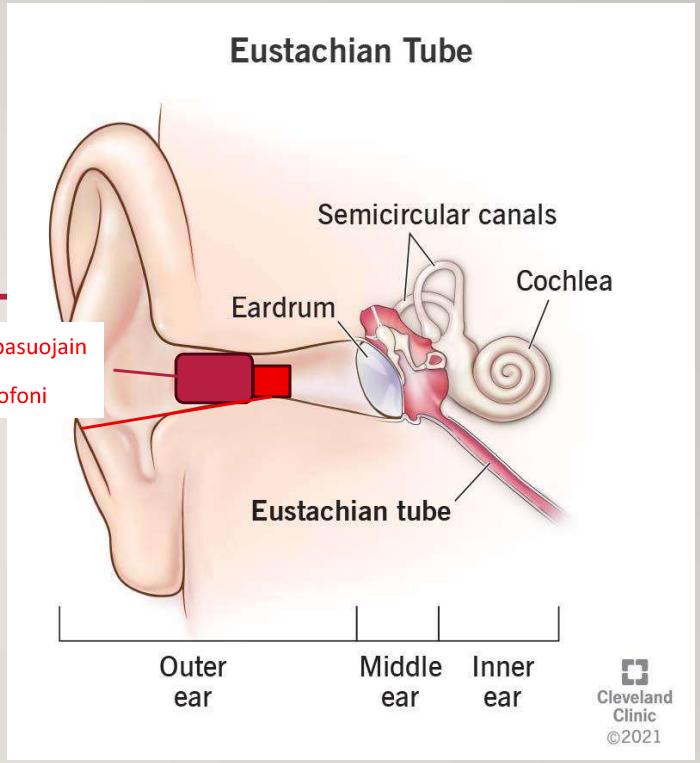
- Suojainmittauksia tehtiin siten, että käveltiin teollisuuslaitoksen halleissa ja samalla taltioitiin tutkijan olkapäältä ja korvakäytävän suulta vastamelukuulokkeesta Audeeo (ANC off ja on) ja kupukuulonsuojaimesta Peltor Trapper (M-indeksi 22 dB ja SNR indeksi 25 dB, mutta viestintäkanava auki) äänitasoa jatkuvana seurantana.

Kuulonsuojainten vaimennukset	aika min	LAeq olka dB	LAeq kuuloke dB	LAeq erotus dB
1. Kuuloke ANC off	0.03.00	78	70	8
2. Kuuloke ANC on	0.13.30	80	70	10
3. Peltor Trapper viestintä on	0.33.00	77	80	-3
4. Kulmahiomakone ANC off	0.17.00	107	100	7

- Tulosten mukaan kuulokkeet vaimensivat korvaan pääsevää melua 7-10 dB. Lisäksi vastamelutoiminnan kytkeminen päälle muutti äänitason selvästi miellyttävämmäksi, vaikka melulle altistuminen pysyi samana. Syynä on se, että vastamelutoiminto vaimentaa pientaajuista melua, jolloin vaikutus melulle altistumiseen A-äänitasona jää pieneksi. Siis tästä voidaan päätellä, että kuulokkeen vaimennuskyky jää alle 15 dB eikä se siten täytä kuulonsuojainvaatimuksia. Toisaalta sitten viestintäkuulonsuojaimen viestintäkanavan aukiollessa korvaan pääsevä melu vahvistui suojaimen ulkopuolella olevasta 3 dB, mikä on sallittua, kun melutaso suojaimen sisäpuolella jää alle arvon 82-85 dB. Kuulokkeen riittämätön toiminta tuli esille kulmahiomakoneen aiheuttamassa melussa, kun kuulokkeen sisäpuolelle pääsi 100 dB äänitaso, mikä lisää kuulovaurioriskiä.

ESIMERKKI 4

- Tulppasuojain Elacin CH28, SNR 28 dB. Tulppasuojaimen kanssa tehty kävely teollisessa ympäristössä, 1 h 14 min, antoi altistumiseksi olkapään kohdalla 75 dB ja korvakäytävässä 84 dB.
- Tulppasuojaimesta ei ollut äänimaisemakävelyllä hyötyä, korvakäytävässä melu oli noin 10 dB voimakkaampi kuin altistava melu olkapäällä. Syyt tähän olivat pientaajuisen melun vahvistuminen kävelyn ja liikkeiden seurauksena ja toisaalta puhetaajuisen melun korostuminen korvakäytävässä, kun korvakäytävän suu on suljettu. Nielun ja välikorvan yhdistävä Eustachian putki kuljettaa ääntä tehokkaasti nielusta välikorvaan ja edelleen tärykalvon kautta korvakäytävään. Puheen voimakkuus korvakäytässä oli 95-100 dB, kun vastaavasti altistava melu olkapäällä oli 70-80 dB.



KOHDE 4, KYPÄRÄKUULONSUOJAIN

	vasen korva	oikea korva
Tapahtuma	**LCpeak dB**	**LCpeak dB**
Suojaimien hierominen paikalleen	115-120	115-120
Kevyt naputtelu sormella kupuun	125-130	125-130
kova napautus sormella	**144**	**145-150**
naputtelu kypärään	116-122	131
naksautus kupu paikalleen jousivoima	**135-140**	**134-143**
metalliesineellä kalautus kupuun	**141**	**142-144**
mikrofonin liikuttelu	110-115	104-110
suojalasien laitto kupu kiinni	107-115	110-120
suojalasien kopautus	110-116	115-120
suojalasien korjaus paikalleen	100	98-102
nenän korina	113	122
yskiminen	110	110-115
puhe	100-105	100-105
suojalasien poisotto	109-112	110-117
kuvun raotus ja päästö paikalleen	115-125	115-130
kuvun aukinaksaukset	120-124	120-127

POHDINTA 5

- Hankkeen kahdella työpaikalla oli asetettu työntekijöille kuulonsuojaimien käyttämispakko, vaikka melulle altistuminen ei ollut yli 85 dB. Perusteluna tähän oli impulssimaisten melujen riski. Totta on, että teollisissa tehtävissä esiintyy päivittäin muutaman kerran meluimpulsseja, joiden voimakkuus voi ylittää alemman toiminta-arvon LCpeak = 135 dB. Toisaalta näiden ja muiden julkaisemattomien kokeiden perusteella laitettaessa kupusuojain paikalleen, tai kun kupuun osuu isku (Taulukko edellä, altistutaan helposti melun huipputasoille, jotka ylittävät ohjearvot. Tilanne on siis ristiriitainen.
- Edellä olevien esimerkkien valossa nousee kysymys, onko tavanomaisista kuulonsuojaimista hyötyä alle 80 dB melualtistumisessa, kun näyttää siltä, että korvan sulkeutumisilmiö, korvan ilmatilan resonanssit, puhe, kävelyäänien luomat äänet sekä liikkumisesta ja kosketuksista johtuvat äänet dominoivat korvaan pääsevää ääntä.

POHDINTA 6

- Kokeet edustavat vain yksittäisen henkilön ja yksittäisen suojaimen kanssa saatuja tuloksia, joten jos tätä halutaan kunnolla tutkia ja dokumentoida, tarvitaan laajempi selvitys
- Korvalehti ja korvakäytävä sekä Eustachian putki muodostavat monimutkaisen kokonaisuuden. Tässä mitattiin vain suuntaa-antavasti mikrofoneilla tilannetta ja jätettiin esimerkiksi korvan vahvistusilmiöt, sulkeutumisilmiöt ja suun kautta välikorvaan tuleva melu huomioon ottamatta.
- Tässä ei myöskään tarkasteltu kuulovammaisen kuulonsuojausta ja sille asetettavia tavoitteita kuten suojaimen taajuusvastetta tai äänen vahvistustekijöitä.

JOHTOPÄÄTÖKSET

- Edellä olevan perusteella kovin merkittävää positiivista vaikutusta on vaikea nähdä kuulonsuojaimien käyttämisestä, kun tarkastellaan häiritsevää melua. Suurin hyöty saavutetaan, jos melu on suuritaajuista. Pientaajuiselle melulle vaikutus on kielteinen ja kuulonsuojaimia käytettäessä ulkoinen impulssimainen melu vaimentuu, mutta kuulonsuojaimien käytössä voi syntyä merkittäviä meluja korvaan kosketettaessa kuulonsuojaimia tai kun kuulonsuojaimiin kohdentuu ulkoisia kolahduksia.
- Äänimaiseman näkökulmasta kuulonsuojaimien tai kuulokkeiden käyttö aiheuttaa tukkoisuuden tuntua ja pientaajuisen melun lisääntymistä, mikä koetaan kielteisenä.
- Sen sijaan, kun melulle altistuminen ylittää kuulovaurioon liittyvät ohjearvot, kuulonsuojaimien käyttö on perusteltua [2].

TYÖNTEKIJÄT JA KUULON LAITTEET

- Työntekijät käyttävät kuulokekuuntelua eri tavoin parantaakseen työhyvinvointia, työsujuvuutta ja oppimista, kun taas kuulonsuojaimia käytetään melun vähentämiseen. Tutkimus korostaa paradigman muutosta melututkimuksista kohti äänien ymmärtämistä resursseina sekä teollisten äänimaisemien suunnittelun tärkeyttä yhteistyössä työntekijöiden kanssa (Järvensivu; käsikirjoitus).

LÄHTEET

1. ISO 226:2023Acoustics — Normal equal-loudness-level contours. (Edition 3, 2023)
2. Ruhala A, Toppila E & Mäkinen H: Kuulon merkitys suojaimen valinnassa. Tietoa työstä. Työterveyslaitos, Helsinki 2012. Juvenes Print, Tampereen yliopistopaino Oy, Tampere 2012. 27 s.
3. Kuulonsuojaimet. https://tyosuojelu.fi/hakutulokset?q=kuulonsuojaimet
4. Pääkkönen, R. & Tikkanen, J.: The attenuation of Hearing Protectors against Low-Frequency Noise. Ann.occup.Hyg. 35 (1991) 2, 189-199.
5. Pääkkönen, R., Lehtomäki, K., Savolainen, S., Myllyniemi, J & Hämäläinen, E.: Noise attenuation of hearing protectors in the human ear-a method description. Acta acustica 86(2000), 477-480.
6. Pääkkönen, R., Lehtomäki, K., Savolainen, S., Myllyniemi, J.: Ear plug fit and attenuation – an experimental study. Acta acustica 86(2000), 481-484.
7. Pääkkönen, R., Savolainen, S., Myllyniemi, J., Hämäläinen, E. & Lehtomäki, K.: Ear plugs and the human auditory canal. MilitMed 75(2000); 3, 155-161.
8. Pääkkönen, R., Lehtomäki, K., Toivonen, M. & Savolainen, S.: Noise attenuation of molded communication ear plugs. AnnMed Milit Fenn 78(2003)2, 111-115.
9. Pääkkönen, R.: Practical noise attenuation of hearing protectors according to a noise directive 2003/10/EC. Acoustique & Techniques. 49(2007), 33-36.
10. Jokitulppo J., Ikäheimo M, Pääkkönen R: Noise exposure measurements in real ears: An evaluation of MIRE-technique use in the field and in the laboratory. Acta acustica- united with acustica. 94 (2008): 5, 734-739.
11. Amanda Mattei; Electronic Hearing Protection: Advancements and Applications. UNCOpen Doctoral Capstones & Scholarly Projects Student Work. University of Northern Colorado. 4-2025. https://digscholarship.unco.edu/capstones

KIITOS







