Akustiikkapäivät 2025 10.7.2025

Kuulonsuojainten vaikutus häiritsevässä melussa

Rauno Pääkkönen, A-Insinöörit Oy, rauno@raunopaakkonen.fi
Anu Järvensivu, Työterveyslaitos
Esa Nousiainen, A-Insinöörit Oy
Hanna Keränen, Työterveyslaitos
Riku Tanila, A-Insinöörit
Pirjo Juvonen-Posti, Työterveyslaitos

Abstrakti

Työterveyslaitoksella ja A-Insinööreillä on käynnissä viiden teollisen yrityksen kanssa hanke ”Työn äänet”, missä yhtenä kohtana on arvioida kuulonsuojaimien käyttöä ja niiden vaikutusta teollisen äänimaiseman kokemiseen. Tässä työssä haettiin käytännön tietoa suojainten toimintaa liittyvistä asioista, kun suojaimista yleensä tunnetaan vain standardinmukaiset äänen vaimennusominaisuudet. Kokeiden mukaan näyttää siltä, että kuulonsuojaimista ja kuulokkeista on sekä hyötyä että haittoja häiritsevässä melussa. Suojaimia käytettäessä pientaajuinen melu korvakäytävän suulla ja korvakäytävässä vahvistuu, suuritaajuinen melu vaimentuu. Puhe, liikkuminen ja viestintä lisäävät korvaan kohdistuvaa melua suojaimia käytettäessä kuin ilman suojaimia. Työpaikoilla on määräyksiä kuulonsuojainten käyttöpakosta, kun melualtistuminen ei ylitä alempaa toiminta-arvoa, mutta meluimpulssit voivat muutaman kerran päivässä yli huipputason 135 dB. Paradoksaalisesti kuulonsuojaimen koskettelu, napaukset tai iskut kupuun voivat aiheuttaa korvaan kohdistuvan melun impulssimelun ohjearvon ylittymisen. Siis ristiriitaisia tuloksia. Kuulonsuojaimien ja kuulokkeiden käyttö näyttää muuttavan kokemuksellista äänimaisemakokemusta useimmiten huonompaan suuntaan, kun tarkastellaan häiritsevää melua, joka ei ylitä ohjearvoja.

Kuulonsuojainten vaikutus häiritsevässä melussa

Rauno Pääkkönen

Tausta

Teollisuustyöntekijöiden työhyvinvointitutkimus on vähäistä, ja äänten osalta tarkastelut rajoittuvat tavanomaisesti kuulolle vaaralliseen kovaan meluun. Työterveyslaitoksella ja A-Insinööreillä on tutkimushanke ”Työn äänet”, missä laajennetaan ymmärrystä teollisuuden äänistä ja äänimaisemista ja niiden merkityksestä työntekijöiden työhyvinvoinnille, työssä oppimiselle ja työn sujuvuudelle. Huomiota kiinnitetään äänten merkityksiin, viesteihin ja häiritsevyyteen äänten fysikaalisakustisten ominaisuuksien ohella. Hankkeessa on mukana viisi teollisuusyritystä.

Häiritsevä ääni on stressitekijä, jolla on monimuotoisia välittömiä ja pitkäaikaisia vaikutuksia ihmisen toimintaan ja hyvinvointiin. Äänimaisematutkimusta on sovellettu ulkotilojen, kaupunkiympäristöjen ja kauppakeskusten tutkimukseen, mutta vain muutamiin työelämän tutkimuksiin. Tutkimustietoa puuttuu kontekstin ja toiminnan merkityksestä tietyn tasoisiksi mitattujen äänten kokemiselle ja arvioinnille ja siitä, milloin ääni ajatellaan kielteiseksi tai myönteiseksi ja millaisia eroja kokemisessa on. Tasainen melu häiritsee vähemmän kuin esimerkki paljon puhetta sisältävä melu.

Tässä tarkastellaan teollisuuden ääniympäristöä ja miten se 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 esitetään, että kuulonsuojaimessa olevan keskiäänitason tulisi olla 75-80 dB [1-2]. 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.

Kohteet ja menetelmät

Tehtiin kokeita, missä käveltiin hankkeen ”Työn äänet” teollisuuslaitoksien halleissa 45-100 minuutin ajan ja samalla taltioitiin tutkijan olkapäältä ja korvakäytävän suulta tai korvakäytävästä kupukuulonsuojaimesta Peltor Optime I (M-indeksi 27 dB ja SNR indeksi 29 dB), tulppasuojain Elacin CH28, viestintäkupukuulonsuojain Peltor Trapper sekä vastamelukuulokke Audeeo (ANC off ja on) äänitasoa jatkuvana seurantana.

Mikrofonit olivat 2xSennheizer KE4 211-2 + esivahvistin ja taltiointilaitteena 2 kanavainen DAT nauhuri Sony TCD-D8. Nauhurille tallennetut äänitasot analysoitiin äänianalysaattoreilla B&K 2260 ja äänianalyysit tulostettiin ohjelmalla B&K 7815 Noise Explorer. Mittausmenetelmä on kuvattu artikkeleissa [3-9].

Tulokset

Kohde 1. Verrattaessa äänitasoja korvakäytävän suulla ja suojaimen ulkopuolella on näkyvissä 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.

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 oli 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.

Kohde 2. 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, viestintäkanava auki) äänitasoa jatkuvana seurantana.

Melulle altistumiset olkapäällä ja korvakäytävän suulla ovat taulukkona 1. Kuulokkeiden melun vaimennuskykyä ei ilmoiteta eikä niitä saa käyttää alemman toiminta-arvon ylittävässä melussa. Tätä määräystä kuitenkin rikotaan usein ja siksi tässä tehtiin kokeita myös vastamelutoiminnolla varustetulla kuulokkeella. Tässä käytettiin myös viestintäominaisuuksilla varustettua kupukuulonsuojainta, jotta saataisiin selville melutaso ja äänimaisema kuulonsuojaimen sisäpuolella.

Tulosten mukaan kuulokkeet vaimensivat korvaan pääsevää melua 7-10 dB. Lisäksi vastamelutoiminnan kytkeminen päälle muutti äänitason 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.

Taulukko 1. Melulle altistuminen olkapäällä ja kuulokkeen tai viestintäsuojaimen sisäpuolella

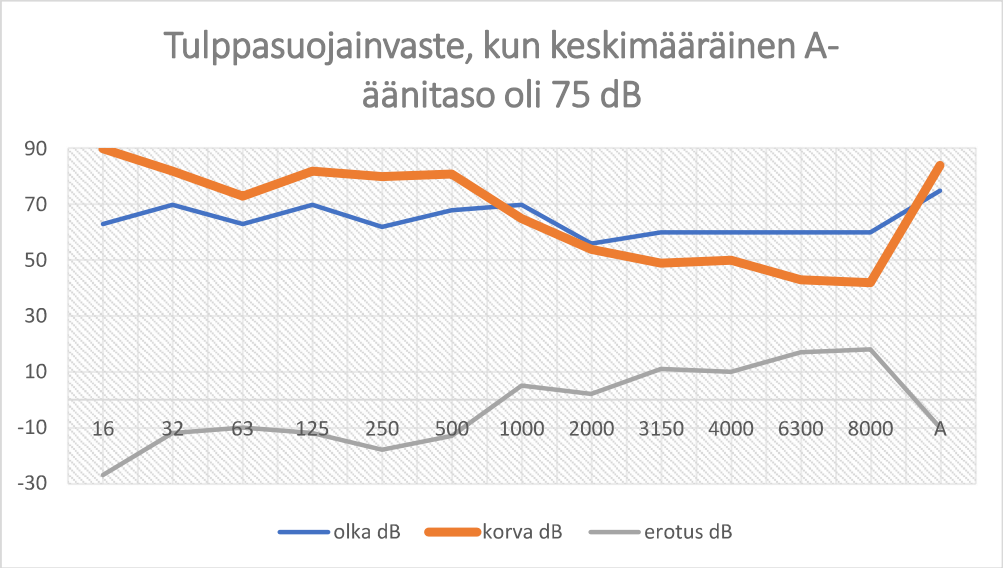
Kuulonsuojainten vaimennukset	aika min	LAeq olka dB	LAeq kuuloke dB	LAeq erotus dB
1. Kuuloke ANC off	0.03.00	78	70	8
2. Kuuloke ANC on	0.13.30	80	70	10
3. Peltor Trapper viestintä on	0.33.00	77	80	-3
4. Kulmahiomakone ANC off	0.17.00	107	100	7

Kohde 3. 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.

Kävelyn äänet eivät kuuluneet korvakäytävään yhtä voimakkaasti kuin kupukuulonsuojaimia käytettäessä, mutta infraääntä ja pientaajuista melua oli taltioinneissa runsaasti keskimäärin 75-90 dB. Korvakäytävän ja ulkokorvan sulkeutuminen lisää pientaajuisen äänen paineita/resonansseja ja sitä kautta olo on erilainen kuin ilman kuulonsuojaimia.

Ilmeisesti kertyneen tiedon perusteella voidaan pohtia, mikä on kuulonsuojaimista saatava hyöty häiritsevyyttä aiheuttavassa melussa. Kuulonsuojainten hyöty on selvä kuulovauriovaaraa aiheuttavassa melussa, missä pystytään vaimentamaan vaarallisten äänitasojen ja äänihuippujen pääsy korvaan.



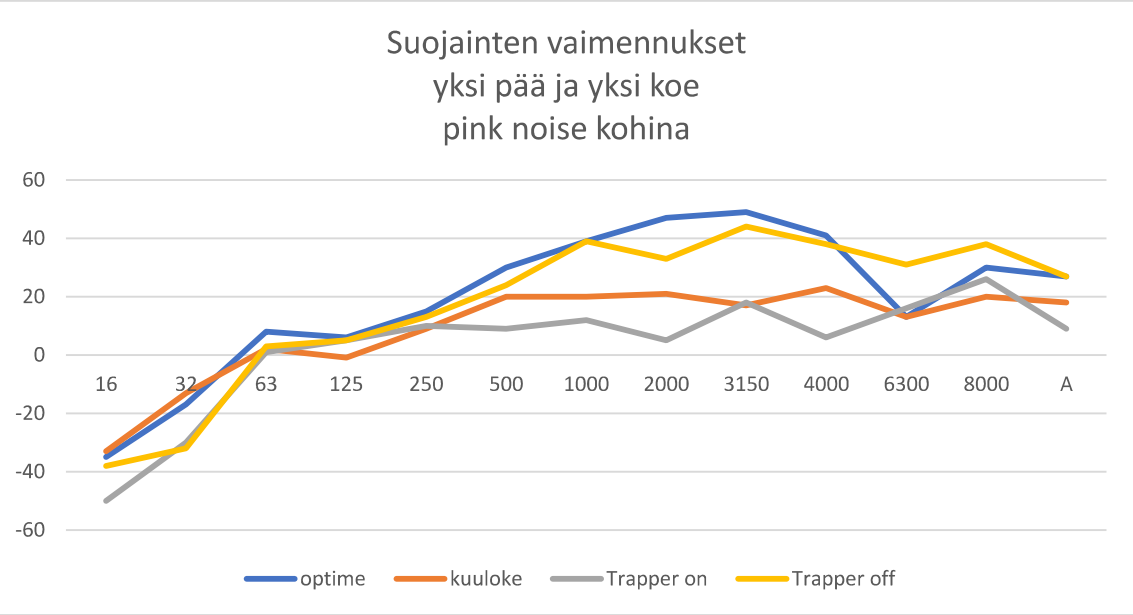
Kuva1. Tulppasuojaimen vaste teollisuusmelun kierrokselle

Kohde 4. Toimistossa tehtiin kokeita kypäräkuulonsuojaimella Peltor Optime III (taulukko 2). Mikä merkitys kupukuulonsuojaimiin kohdistuvilla impulsseilla on? Näitä impulsseja voidaan hallita vertailemalla työsuojelukypärään kiinnitettävien kupusuojainten ominaisuuksia, opastamalla kupuun syntyvistä impulsseista sekä vielä varmistamalla tilanne käytännön mittauksilla. Esimerkiksi kuvun jousivoiman saamiseksi tehtävä naksautus saattaa olla erilainen eri suojaimissa. Runkoäänenä kulkeutuva värähtely kupuun on ollut epäilyn kohteena aikaisemminkin, mutta laitevalmistajat eivät ole kiinnittäneet asiaan riittävästi huomiota.

Taulukko 2. Impulssimelukokeiden tulokset. Huipputasojen ylittyminen 135 dB on merkitty punaisella.

Mittaus 28.6.2019	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

Suojainten vaimennukset 90 dB melulle. Suojainten vaimennuksia tarkasteltiin insertion loss menetelmällä A-tasoltaan 90 dB vaalean punaiselle kohinalle. Kupumallisten kuulokkeen ja kuulonsuojaimien vaimennus on esitetty kuvassa 6. Tulos on lähinnä suuntaa-antava, mutta vahvistaa näkökulmaa erityisesti alle 125 Hz taajuuden osalta. Tätä suuremmilla taajuuksilla tulos on suunnilleen odotusten mukainen.



Kuva 2. Kuulokkeen ja suojainten vaimennusvertailu kohinaääntä vastaan.

Kuvan 2 taustaa ajatellen ei ole ihme, että kuulonsuojainten viralliset vaimennukset alkavat taajuudesta 125 Hz. Tähän on syynä audiometrian ominaisuudet sekä vaikeudet mitata standardien mukaan kammiossa suojainten ominaisuuksia. Tulokset kuitenkin ainakin suuntaa-antavasti osoittavat, että pientaajuisella alle 250 Hz melulla on vaikutus kuulemiseen ja sitä kautta äänien häiritsevyyteen. Lisäksi tämä antaa pontta myös vastamelun hyödyntämiselle.

Pohdinta

Selitys pientaajuisen melun osalta liittyy suojaimen käyttäjän liikkumiseen eli kävely aiheuttaa suojaimeen värähtelyä, mikä osaltaan sitten kuuluu meluna suojaimen sisäpuolelle. Askelten vaikutuksesta korvakäytävän suulle ja korvakäytävään syntyneet äänet olivat selvästi kuultavissa taltioinneissa. Muutkin liikkeet aiheuttavat kuvun värähtelyä, mikä näkyi pientaajuisena äänenä suojaimen sisällä olevassa äänimaisemassa. Kävelemisestä johtuva pientaajuinen melu ylitti monien maiden ohjearvot, Suomessa työhön liittyviä pientaajuisen melun ohjearvoja ei ole. A-äänitason suodin leikkaa lähes täysin tässä kuvatun pientaajuisen melun, vaikka suojaimen käyttäjä sen kuulee. Kuulonsuojainten valmistajat eivät yleensä ilmoita suojaimen vaimennusarvoja alle 125 Hz taajuuksilla, joitakin tutkimustuloksia asiasta on (Pääkkönen et al 1991).

Puhetaajuudella suojaimen käyttäjän ja muiden henkilöiden puhe aiheutti ääntä myös suojaimen sisäpuolelle. Mikrofoni korvakäytävän suulla tallensi puhetta kuitenkin hyvin eri tavalla kuin suojaimen käyttäjä koki, koska suojaimen käyttäjän puhe kulkeutuu korvaan myös nielusta lähtevän ja välikorvaan päätyvän painetasausputken kautta sekä luujohtumisena. Tätä asiaa on harvoin tutkittu, mutta ero oli varsin selvä aistittuun ja mikrofonin taltioimaan ääneen nähden.

Kun puhetta ei ole ja suojaimen käyttäjä on liikkumatta, suojain vaimentaa niin kuin oletetaan äänen yleensä vaimentuvan ja kokemus on, että suurempitaajuiset äänet vaimentuvat ja äänimaisema tuntuu miellyttävämmältä kuin ilman suojaimia. Siis äänitaso vaimentuu ja myös keski- ja suuritaajuiset äänet vaimentuvat muita taajuuksia enemmän. Tämä koettaneen vähemmän häiritsevänä.

Toinen tutkija teki eräällä tehtaalla subjektiivisen kokeen niin, että kulki yhtenä päivänä merkittävästi vaimentavat kuulonsuojaimet päässä ja toisena päivänä ”kuulevat kuulonsuojaimet” päässä. Hän koki äänimaiseman ja olemisen ahdistavammaksi merkittävästi vaimentavia kuulonsuojaimia käyttäessään, koska hän epäili ylivaimennustilannetta. Hän koki myös huonoa oloa, minkä arveli johtuvan pienitaajuisen melun korostumisesta. Äänimaisemat eriytyvät siis monin eri tavoin ja eri syistä.

Kuten edellisestä havaitaan, ongelmia kuulonsuojaimen sisäiseen äänimaisemaan syntyy, kun tarvitaan viestintää, pitää kuulla varoitusääniä tai koneiden äänten poikkeamia tai suojaimen käyttäjä kävelee tai liikkuu voimakkaasti. Voisi ajatella, että nämä viestinnän tarpeet aiheuttavat epätietoisuutta ja sitä kautta häiritsevyyttä.

Tulokset suojainten sisäpuolisesta melusta pätevät vain matalilla äänitasoilla eli siis alle alemman toiminta-arvon olevilla meluilla. Korkeampi ulkopuolinen melu peittää tässä havaittuja kävelyn, puheen ja muiden heikompien äänilähteiden ääniä. Hyperacusialla voi olla merkitystä noissa oloissa, joissa melu vaihtelee merkittävästi. Hätkähdysreaktio (startle effect) voi esiintyä, vaikka tässä sellaista ei kokeissa huomattu.

Tässä on tarkasteltu kupukuulonsuojaimessa olevaa äänikenttää. Tulppasuojaimiin tai valettuihin tulppamallisiin suojaimiin ei välttämättä synny samankaltaista suojaimen kuvun värähtelystä johtuvaa äänitasoa, joten asiassa tarvitaan lisäselvitystä (Pääkkönen et al 2000, Pääkkönen et al 2003), vaikka yksittäinen koe tehtiin. Yleensä tulppamallisten suojainten vaimennuskyvyn sanotaan olevan kupusuojaimia parempi pienillä taajuuksilla ja heikomman keski- ja suurilla taajuuksilla. Näyttää siltä, että häiritsevässä melussa tällaista johtopäätöstä ei voi tehdä, päinvastoin häiritsevässä melussa korvan sulkeutumisilmiö tuo korvakäytävän suulle ja korvakäytävään resonansseja, mitkä ovat määrääviä melulle altistumisessa äänitasoilla alle 80 dB.

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 2, 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.

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.

Lähteet

1. ISO 226:2023Acoustics — Normal equal-loudness-level contours. (Edition 3, 2023)
2. Kuulonsuojaimet https://tyosuojelu.fi/hakutulokset?q=kuulonsuojaimet
3. Pääkkönen, R. & Tikkanen, J.: The attenuation of Hearing Protectors against Low-Frequency Noise. Ann.occup.Hyg. 35 (1991) 2, 189-199.
4. 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.
5. Pääkkönen, R., Lehtomäki, K., Savolainen, S., Myllyniemi, J.: Ear plug fit and attenuation – an experimental study. Acta acustica 86(2000), 481-484.
6. Pääkkönen, R., Savolainen, S., Myllyniemi, J., Hämäläinen, E. & Lehtomäki, K.: Ear plugs and the human auditory canal. MilitMed 75(2000); 3, 155-161.
7. Pääkkönen, R., Lehtomäki, K., Toivonen, M. & Savolainen, S.: Noise attenuation of molded communication ear plugs. AnnMed Milit Fenn 78(2003)2, 111-115.
8. Pääkkönen, R.: Practical noise attenuation of hearing protectors according to a noise directive 2003/10/EC. Acoustique & Techniques. 49(2007), 33-36.
9. 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.