

IMPULSSIMELU JA KUULONSUOJELU

Rauno Pääkkönen¹, Riitta Sauni²

¹A-insinöörit Suunnittelu Oy, Rauno.Paakkonen@ains.fi

²Sosiaali- ja terveysministeriö, työsuojeluosasto, Riitta.Sauni@stm.fi

Tiivistelmä

Melu määritellään impulssimeluksi, jos se sisältää alle sekunnin kestäviä meluhuippuja. Sotilas- ja poliisialalta on tutkimustietoa, mutta ampumaharrastajien meluallistuksia sekä kuulovaurioita on selvitetty vähän. Sotilaiden meluallistumisen perusteella on päätelty, että 20 % suomalaisista ovat herkkiä saamaan kuulovamman jo yhdestä laukauksesta. Toisaalta jotkut voivat ampua ilman kuulonsuojaimia jopa 40 000 laukausta ilman kuulovauriota. N-L-asetylylikysteiniä on kokeiltu meluvammojen ehkäisyssä: yhdessä kokeessa se pystyi ehkäisemään jopa 25 % kuulovammoista. Myös elektronisia suojauskeinoja on kehitelty: anturi lähellä korvakäytävää voisi havaita nopeasti nousevan impulssin energian, jolloin se voisi välittää nanosekunneissa mikrosähköisen signaalin simpukan alueelle nopeammin kuin kuulomekanismi niitä välittäisi. Vastameluun perustuvia kuulonsuojaimia ja kuulonsuojainten viestintäominaisuuksia on kehitetty. Uudempi meluvammariski on peliteollisuuden ja pelaajien impulssimeluallistuminen. Esimerkkinä jokapäiväisistä lähinnä häiritsevästä meluimpulsseista ovat tuolien tai pöytien liikuttamisesta syntyvät äänipulssit. Tulppasuojaimien asentaminen korvakäytävään kaipaa huolellisempaa otetta. Impulssimelu ja kuulon suojele eivät ole tieteen valtavirrassa, mutta tuotekehitystä tapahtuu suojainten elektroniikan osalta.

1 JOHDANTO

Melu määritellään impulssimeluksi, jos se sisältää alle sekunnin kestäviä meluhuippuja, jotka ovat yli 15 desibeliä taustamelua voimakkaampia. Impulssimelua syntyy esimerkiksi leluista, ilitulitteista, aseista, räjäytyksistä ja joistakin teollisuuden työvaiheista. Työpaikoilla meluimpulssit liittyvät useimmiten esineiden iskuihin, lyönteihin tai putoamisiin. Sotilasalalta on runsaasti tutkimustietoa [1-3], mutta myös poliisien impulssimeluallistumista on selvitetty laajasti. Ampumaharrastajien ja ampumaurheilijoiden meluallistuksia sekä kuulovaurioita on selvitetty vähän. Teollisuudessa, palvelualoilla ja viihdeteollisuudessa on selvitetty impulssimeluallistumista ja huipputasoja lähinnä työpaikkojen tilaamina mittauksina. Esimerkkinä voidaan mainita TV- ja teatterityössä käytettyjen tehosteiden melu [4].

Korvaan ei saisi kohdistua yli 137 - 140 dB huipputasoja, joten voimakkaimmille impulsseille pelkästään kuulonsuojain tai äänenvaimennin ei yksinään enää riitä. Impulssien keston, taajuuden tai painevaihtelujen tarkempi analyysi voi olla tarpeen riskien arvioimiseksi. Esimerkiksi pienitaajuisia impulssimelupiikkejä korva itse vaimentaa taajuusvasteensa mukaisesti, mutta toisaalta tekniset rakenteet tai kuulonsuojaimet vaimentavat pientaajuisia pulsseja vähemmän kuin keskitaajuisia [1].

Korvatulppien mitattu melun vaimennuskyky kiväärin laukausäänelle on kokeissa ollut 18 - 20 dB huipputasolle ja sekunnin keskiäänitasolle [5-8]. Varusmiesten altistuminen ampumaradalla ammunnan aikana oli 116 dB (L_{Aeq} , 5 min). Huipputasot vaihtelivat 129 - 145 dB korvakäytävässä ja 152 - 154 dB korvakäytävän ja suojaimen ulkopuolella. Eräässä tutkimuksessa havaittiin, että kahdella ampujalla yhdeksästä tulppasuojain ei vaimentanut laukausmelua ollenkaan, ja syyksi paljastui tulppasuojaimen huono sovitus korvakäytävään [2]. Korvakäy-

tävään valettujen suojaimeiden vaimennus on ollut hieman pienempi kuin tavanomaisten kertaikäyttöisten tulppasuojaimien antama vaimennuskyky 28 - 31 dB [5-7]. Toisaalta valettujen suojaimeiden parempaa kommunikaatio-ominaisuutta arvostetaan. Tulosten mukaan huipputasot kupusuojaimen sisäpuolella ovat olleet alle 140 dB (130 - 134 dB). Kommunikaatiosuojaimien vaimennuskykyyn ei vaikuttanut sähköisen viestintäpiirin aukiolo [5-6]. Hyvälaatuilla kuulonsuojaimilla ja aseiden äänenvaimentajilla päästään yli 20 dB äänipulssin huipputason vaimentumiseen. Melulta suojautumisessa on huomioitava monialtistuminen: monilla on impulssimelun lisäksi vaikkapa kuljetuskaluston aiheuttamaa melua, missä myös saatetaan tarvita tehokkaitakin kuulonsuojaimia.

Tämän tekstin tarkoituksena on esittää katsaus impulssimelulle altistumiseen, arviointiin ja hallintaan sekä suojautumisen kehittämisenäköihin. Tässä esitetään tuloksia eniten aseiden impulssimeluista, mutta tuloksia voi soveltaa muihinkin meluimpulsseihin.

2. IMPULSSIMELUN ARVIOINTI JA MÄÄRITTÄMINEN

Voimakkaan impulssimelun mittaamiseen akkreditoituja yrityksiä ei tietääksemme Suomessa ole. Impulssimelun mittareiden kalibrointi on usein puutteellista, vaikka äänitasomittarin aikavakion voi tarkistaa pulssigeneraattorilla. Mikrofonien testaaminen palautuu tilassa tehtävään referenssivertailuun. Mittarit tarkistetaan useimmiten tasaista ääntä lähettävillä jäljityillä vertailuäänilähteillä. Impulssimelua mitattaessa pitää myös tarkistaa mikrofonin ja mittarin mitta-alue (yleensä huipputaso on alle 140 dB). Impulssimelun huipputaso aikavakio (peak) voi erota eri valmistajien mittareissa. C- ja Z-aikavakiot rajaavat huipputaso taajuusisältä, siksi suosittelemme L_{Cpeak} tai L_{Zpeak} suureiden käyttämistä huipputaso arvioimiseksi.

Melumittauksissa on käytäntönä selvittää sekä ekvivalenttitaso (usein $L_{Aeq,4-6h}$, mistä arvioidaan päiväkeskiarvo) että huippupainetasot samalta ajalta. Huippupainetasojen osalta yksittäinen yli 135 dB huipputaso ei vielä välttämättä aiheuta tulkintaa ohjearvon ylitymisestä, koska kysymyksessä voi olla virhetulkinta (mikrofoniin tullut isku, huuto tms.). Jos korkeita arvoja on useita (yli 3 arviointijakson aikana) ja tunnistetaan aiheuttaja, tulkitaan impulssimelun alemman, ylemmän tai raja-arvon ylitymiseksi huipputasosta. Raja-arvon tapauksessa pitää myös ottaa huomioon kuulonsuojaimen vaimennuskyky. Kuulonsuojaimien alta tehdyissä impulssimelumittauksissa on monia virhemahdollisuuksia (isku suojaimeen tai suojaimen sankaan, asennuspiikit, aktiivisen kuulonsuojaimen elektroniset pulssit ja niin edelleen) [5]. Työterveyshuolloilla ja työpaikoilla ei usein ole mittareita, joilla impulssimelun huipputasoja voisi selvittää ainakaan silloin, jos huipputaso ylittää 140 dB.

Meluasetuksessa VNa 85/2006 huomio ja työnantajan selvitysvastuu kohdentuu pääsääntöisesti melu-altistumiseen (6-14§). Huippuarvon ylitymisistä seuraa lähinnä kuulotarkastustarpeita tai kuulonsuojainten käyttötarpeita. Huipputasot ovat osa melulle altistumista. Meluasetuksessa (VNa 85/2006) todetaan, että riskin arvioinnissa on otettava huomioon melun impulssimaisuus. Jos se voi aiheuttaa akuutteja traumoja, niin siitä on informoitava työntekijöitä. Tällöin on tehtävä myös meluntorjuntaohjelma.

Puolustusvoimilla on varomääräykset kuulon suojauksesta, joita sovelletaan sotilaallisiin harjoituksiin ja muissa tehtävissä noudatetaan työsuojelumääräyksiä. Samoin heillä on varomääräys epäiltäessä melusta aiheutuvaa akuuttia akustista traumaa. Arvioitaessa kuulovamman todennäköisyyttä ja sen korvattavuutta, puolustusvoimat ovat käyttäneet ulkopuolisia asiantuntijoita arvioinneissaan. Poliisit noudattavat tavanomaisia työsuojelumääräyksiä, mm. VNa 85/2006. Metsästäjät ja ampumaharrastajat eivät ole yleensä työturvallisuuslain alaisia, joten heitä ei koske esimerkiksi valtioneuvoston asetus 85/2006. Kuuloa vaurioittavana melun

huipputasona pidetään arvoa 140 dB, jonka arvon ylittyessä sitä vastaan tulisi suojautua myös vapaa-aikana.

Koska vapaa-ajan harrastuksissa voi syntyä voimakastakin impulssimelua (ilotulitteet, musiikki, aseet, paineilmatyökalut tai naulaimet), impulssimelusta tiedottamista tulisi lisätä. Ilotulitteiden osalta TUKES eli turvallisuus- ja kemikaalivirasto hoitaa tiedottamista kiitettävästi vuodenvaihteessa, mutta monien muiden harrastustoimintojen osalta vaaroista tiedottamista tarvittaisiin lisää. Pitkään on epäilty, että osa työperäisiksi todetuista kuulovaurioista saattaa olla peräisin vapaa-ajalta.

Oma alueensa on impulssimaisen melun *häiritsevyys*, mikä herättää keskustelua varsinkin ympäristössä ja asumisessa [8]. Tällaisia esimerkkejä ovat ravintoloissa tuolien siirtelety tai kaatumiset, esineiden putoaminen lattialle ja rikkoutuminen ja auton ovien läimäykset. Nämä eivät aiheuta kuulovaurioita, mutta vievät huomiokyvyn muualle, ärsyttävät ja saattavat välillisesti aiheuttaa tapaturmia. Häiritsevyyden käytännön tutkimusmenetelmiä, kuten kyselyitä, ihmisvasteita, melun laatutekijöitä ja mittaamista, tulisi selvittää tarkemmin ja tulosten perusteella kehittää luotettavia mittausten menetelmiä. Tällä hetkellä tulos on liian paljon kiinni tekijästä, tulokset ovat liian teoreettisia tai ne eivät palvele käytännön tarpeita.

3. TERVEYSTARKASTUKSET JA AUDIOMETRIA

Suomalaisessa terveystarkastuskäytännössä [9] melutyössä kuulotarkastukset tehdään kerran vuodessa neljän ensimmäisen vuoden ajan ja sen jälkeen vähintään kerran kolmessa vuodessa. Valtioneuvoston asetuksessa terveystarkastuksista erityistä sairastumisen vaaraa aiheuttavissa töissä (VNa 831/2005) on huomioitu impulssimelun huippuarvo 140 Pa. Jos ajatellaan erilaisia kuulovaurioita ja niihin liittyviä terveystarkastuksia, impulssimelun osalta ehkä tavanomaisin näkökulma on akuutti akustinen trauma (AAT), kun tavanomaiselle melulle altistumisessa puhutaan pitkäaikaisen altistumisen aiheuttamasta kuulon muutoksesta. Myös tinnitus tulisi tunnistaa määräaikaistarkastuksissa.

Kuulotarkastuksissa tarkastellaan lähinnä vaurioita kuulokyvyssä, mutta ei välttämättä sitä, mikä kuulokynnyksen nousun on aiheuttanut. Jos kuulovaurion taustalla on työperäinen melualtistuminen, on tärkeää että työterveyshuolto antaa palautetta tästä työpaikalle. Kuulontutkimuksessa arvioidaan syntynyttä vahinkoa ja se määritetään Suomessa kuulotutkimuksen eli audiometrian perusteella. Tosin audiometrian korrelaatio itse arvioidun kuulon kanssa on 0,3-0,5, joten vastaavuus **koetun** kuulo-ongelman kanssa ei ole hyvä [10].

Impulssimelu tai asemelu voivat aiheuttaa sikiölle muutoksia kuulohermovasteeseen. Siksi Työterveyslaitoksen suosituksissa esitetään, että raskaana olevien naisten (poliisit, upseerit) ei tulisi ampua tai valvoa ammuksia raskauden aikana. Tämä ei tule meluasetuksesta, vaan se on seurausta EU-direktiivistä, joka koskee toimenpiteitä mm. raskaana olevien turvallisuuden parantamiseksi (92/85/ETY).

Holma päätteli sotilaiden melualtistumista koskevassa väitöskirjassaan [11], että 20 % suomalaisista ovat herkkiä saamaan kuulovamman jo yhdestä laukauksesta. Toisaalta väitöskirjan mukaan jotkut voivat ampua ilman kuulonsuojaimia 40 000 laukausta ilman kuulovauriota. Tämä tarkoittaa, että herkkyys saada kuulovaurio on ihmisillä hyvin erilainen.

Holman väitöskirjan tulosten perusteella esitetään, että 20 dB kuuloseulontaa parempi tapa ennakoita tulevia impulssimelusta aiheutuvia kuulovaurioita olisi seurata 6 kHz kuoppaa kuulokäyrässä ja sen perusteella arvioida kuulovaurioriskiä, kuulonsuojainten käyttöä ja jopa sotilain työhönsijoittumista [11]. Tämän kaltaisen näkökulman soveltaminen kaikkiin työntekijöihin vaatisi vielä tarkkaa pohdintaa, ettei tarpeettomasti katkaista kuuloherkkien henki-

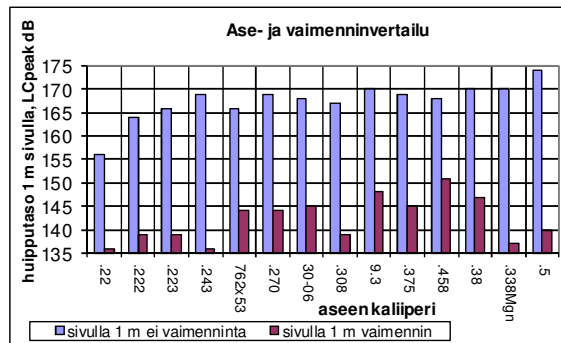
löiden uramahdollisuuksia, vaan kiinnitettäisiin vakavaa huomiota heidän kuulonsuojaukseensa. Kuuloseulonta 20 dB kynnyksarvolla mittaa myös monia muita kuulokykyyn vaikuttavia asioita impulssimelun lisäksi, mutta jos 6 kHz kuopan avulla pystyttäisiin entistä aikaisemmin ennakoimaan kuulovaurioriskejä, asiaa kannattaisi edistää. Tämä vaatisi todennäköisesti sotilasalaa laajemmin tutkimuksia ja näyttöä.

4. IMPULSSIMELUN HALLINTA

Esimerkki aseiden äänen vaimentimet

Äänenvaimennin pidentää laukauksen äänipulssia ja pyöristää voimakkaasti positiivista painehuippua. Se muuttaa jonkin verran ääntä lämmöksi, mutta pääasiallinen vaikutusmekanismi on painepulssin pidentäminen ja heijastelu vaimentimen sisällä, joka voi myös toimia reaktiivisen vaimentimen tapaan. Painepulssi herättää vaimentimen rakenteen värähtelyjä, jotka joskus saattavat osua myös kuuloalueelle, jolloin kuullaan erilainen uusi ääni.

Äänenvaimentimien toiminnan arviointiin vaikuttavia tekijöitä ovat hinta, huollettavuus, kuumeneminen, sointi, sarjatulikesto, asennuksen helppous ja monet muut käyttäjäkohtaiset tekijät. Kuvassa 1 on esitetty erilaisia huipputasoja eri kaliiperin kiväärien sivulla metri piipun suusta. Piipun pituus, patruuna ja ympäristö vaikuttavat huipputasoon, joten kuvan tulokset ovat esimerkkejä ja antavat suuntaviivoja. Samoin vaimentimien vaimennuskyvyissä eri kaliiperin aseille on huomattavia eroja.



Kuva 1. Kiväärien laukauksen huipputasoja ilman vaimenninta ja vaimentimen kanssa aseiden sivulla 1 m piipun suusta.

Kuulonsuojaimien ja kuulonsuojelun kehitysnäkymistä

Clifford ja Rogers tekivät katsauksen kuulonsuojaimien ja kuulonsuojelun kehitysnäkymistä vuonna 2009 [12]. Tässä tarkastellaan artikkelin perusteella kolmea kehittämissuuntaa; antioksidanttien käyttöä, sähköherätteitä sekä uusia materiaaleja kuulonsuojaimien rakentamiseksi. **Antioksidanttien** avulla voidaan saada parannetuksi kuulokarvojen eloonjäämistä. Koe-eläimille annettu salisylaattien ja N-L-asetyylikysteiniin yhdistelmä alensi pysyviä kuulovaurioita taajuusalueella 1-2 kHz. Alustava tutkimus 566 merivoimien sotilaalla ja N-L-asetyylikysteiniinillä pystyi ehkäisemään 25 % kuulovammoista, joita tavallisesti esiintyy kahden viikon koulutusjakson jälkeen M16 rynnäkkökiväärin käyttöä harjoiteltaessa [12].

Sähköherätteet. Tiedetään, että sisäkorvan aistinsolujen vasteet ovat riippuvaisia sähköisestä potentiaalista tyvikalvon yli. Jos solun sähköinen kynnyks on lähellä tyvikalvon yli vaikuttavaa 80 mV jännitettä, solu todennäköisesti depolarisoituu ja lähettää viestin. Jos anturi lähellä korvakäytävää havaitsisi nopeasti nousevan impulssin energian, se voisi välittää nanosekunnissa mikrosähköisen signaalin simpukan alueelle nopeammin kuin kuulomekanismi niitä välittäisi [12]. Tämän kaltaiseen kuolon invasiiviseen suojaamiseen liittyy paljon eettisiä näkökohtia, joita pitää pohtia. Hyötyjen pitäisi olla kiistattomat suhteessa korvan alueen kirurgiseen käsittelyyn muuten terveellä henkilöllä.

Luun ja muiden materiaalien akustisista ominaisuuksista. Ideaaliset materiaalit impulssimelua vastaan ovat Cliffordin mukaan [12] erilaisia kuin tasaisen melun vaimentamiseksi tarkoitettujen materiaalien. Materiaaliset vaimennusominaisuudet ovat suurimpia raskaille aineille, kuten hiekka, sora ja lyijy, mutta ne eivät ole kuitenkaan hyviä kuulonsuojaimen materiaaleja. Esimerkki nykyistä paremmista materiaaleista on tutkimuksen mukaan luu. Varmaankin luiset korvatulpat voisi helposti rakentaa, mutta saattaa olla, että luusta tehdyn suojaimen vaimennuskyky määräytyy pitkälti suojaimen korvakäytävään asettuvuuden perusteella.

5. POHDINTA

Kuulonsuojaimien toiminnasta impulssimelua tai voimakasta tasaista melua vastaan on tehty 2000-luvulla ainakin kaksi väitöskirjaa [13-14]. Oinosen väitöskirjassa pohdittiin vastamelun perustuvia kuulonsuojaimia ja Lahtisen väitöskirjassa hävittäjäalentäjien viestintään liittyviä kuulonsuojainten ominaisuuksia ja viestintää. Elektroniikka on tullut jäädäkseen kuulonsuojaimiin ja alun perin kalliit soilaille tarkoitettujen vastamelu- ja kommunikaatiosuojaimet ovat jo ampumaharrastajien sekä tavallisten työntekijöiden saavutettavissa. Vaikka tällä vuosikymmenellä Suomessa lienee tutkittu kuulonsuojaimien vaikutusta impulssimelua vastaan melko vähän, niin lakisäteisiä ja akkreditoituja testejä kuulonsuojaimien yleisestä vaimennuskyvystä tehdään kuitenkin koko ajan.

Suljetussa tilassa meluimpulssin heijastuminen erilaisista pinnoista lisää korvaan kohdistuvaa äänienergiaa verrattuna ulkosalla olevaan altistumiseen, jolloin pintojen akustinen vaimentaminen tai meluimpulssin etenemisen katkaisu esteillä tai seinäkkeillä voi olla tarpeen. Esimerkkinä tästä ovat tuolien tai pöytien liikuttamisesta syntyvät äänipulssit, jotka saattavat häiritä keskustelua ravintoloissa ja ruokaloissa. Tähän on kehitelty erilaisia tuotitassuratkaisuja (esimerkiksi Silent Socks ja Lekolar).

Tulppasuojaimien *asentaminen korvakäytävään* kaipaa huolellisempaa otetta. Markkinoille on tullut myös ampujille tarkoitettuja sähköisiä viestintätulppasuojaimia (esimerkiksi 3M Peltor LEP-100, Oticon HitProHunter, Siemens SecureEar tai CENS Proflex), jotka sopivat myös muuta impulssimelua vastaan. Tässä yhteydessä on myös varoitettava joistakin ampujille tai musikoille tarkoitetuista viestivistä ja hyväksymättömistä tulppasuojaimista, joiden vaimennuskyky on hyvin pieni tai ne eivät asetu kunnolla korvakäytävään.

Ampumaradoilla suojaimia käytettäessä viestintä on erittäin tärkeää tapaturmien välttämiseksi ja kouluttamisen mahdollistamiseksi (esimerkiksi Peltor SportTacs tai MSA Sordin Supreme). Vastamelua käyttävät kuulonsuojaimet vaimentavat myös impulssimaista melua, mistä sotilasalalta on raportoitu joitakin kokeita [15-16]. Jos kupusuojaimen vaimennuskyky ei riitä, voidaan käyttää lisänä tulppasuojaimia (kaksoissuojaus). Vaimennuskyky ei tällöin kuitenkaan ole suojaimien ilmoitettujen vaimennuskykyjen summa, vaan esimerkiksi luokkaa 10 dB parempi kuin kupusuojaimelle yksinään.

Kansainvälisestikin impulssimelusta löytyy yllättävän vähän artikkeleita 2010-luvulta [17-20]. Norjalaiset ovat tehneet katsauksen melun vaikutuksesta kuuloon, missä on myös tarkas-

teltu impulssimaisen melun osuutta [19]. Katsauksen mukaan voimakas impulssimainen melu epäilemättä voi vaurioittaa kuuloa, mutta on ristiriitaisia tutkimustuloksia siitä, että impulssimainen melu olisi jotenkin haitallisempaa kuulolle kuin jatkuva melu [19]. Aseiden lisäksi on tutkittu lelujen ja ilotulitteiden impulssimelua ja jonkin verran vanhempaa kirjallisuutta löytyy teollisuuden impulssimelusta kuten iskevistä puristimista. Uudempana asiana voidaan mainita peliteollisuuden ja pelaajien impulssimelualtistuminen [20]. Impulssimelu ja kuulon suojele ei ole tieteen valtavirrassa, mutta tuotekehitystä tapahtuu suojainten elektroniikan osalta.

6. LÄHDEVIITTEET

1. Pääkkönen, R: Low-Frequency Impulse Noise and Its Attenuation by Hearing Protectors and Other Technical Means. Dissertation. Publications 117. Tampere University of Technology. Tampere 1993. 135 s.
2. Toivonen, M, Pääkkönen, R, Savolainen, S, Lehtomäki, K: Noise attenuation of proper insertion of earplugs into ear canals. *Ann.occup.hyg.* 46(2002);6, 527-530.
3. Pääkkönen, R & Lehtomäki, K: Protection efficiency of hearing protectors against handheld weapons and vehicles. *Noise & Health*, 2005, 7:26, 11-20.
4. Toppila, E, Koskinen, H, Savolainen, A, Pääkkönen, R, Airo, E & Olkinuora, P & Pyykkö, I: Noise induced hearing loss in the Entertainment sector. IC BEN 2011, London 24-28 July 2011. 10th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Proceedings, 127-.
5. Pääkkönen R, Lehtomäki K, Myllyniemi J, Hämäläinen E, and Savolainen S (2000a) Noise attenuation of hearing protectors in the human ear - a method description. *Acustica - acta acustica*;86: 477-480
6. Pääkkönen R, Lehtomäki K, Toivonen M and Savolainen, S (2003) Noise attenuation of molded communication ear plugs. *Ann. Med. Milit. Fenn* 78; 2: 111-115
7. Pääkkönen R, Savolainen S, Myllyniemi J and Lehtomäki K (2000b) Ear plug fit and attenuation - An experimental study. *Acustica - acta acustica* 86: 481-484
8. Pääkkönen R, Kylliäinen M & Mikkilä A: Melun häiritsevyydestä. *Ympäristö- ja terveys lehti* 5/2016, 82-87.
9. Taskinen H (toimittaja): Terveystarkastukset työterveyshuollossa, Työterveyslaitos, Helsinki 2006.
10. Hong OI, Ronis DL, Antonakos CL. Validity of self-rated hearing compared with audiometric measurement among construction workers. *Nurs Res.* 2011 Sep-Oct;60(5):326-32. doi: 10.1097/NNR.0b013e3182281ca0.
11. Holma T: Hearing among Finnish professional soldiers – epidemiological study. Dissertation. D 1331 Univesitatis Ouluensis, Oulun yliopisto, Oulu 2015. 128 s.
12. Clifford R & Rogers R: Impulse noise: Theoretical solutions on quandary of cochlear protection. *Annals of Otolology, Rhinology and Laryngology.* 2009; 118(6), 41717-427.
13. Oinonen, M: Development of active noise control and voice communication systems for personal hearing protection. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere 2006.
14. Lahtinen T: Radio speech Communication and Workload in Military Aviation – a human factors perspective. Väitöskirja D 1398. Univesitatis Ouluensis. Oulu 2016.
15. 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.
16. Pääkkönen, R, Kuronen, P & Korteoja, M: Active noise reduction in aviation helmets during a military jet trainer test flight. *Scand Audiol* 2000; 29: Suppl 52:1-3.
17. Bruek E.: Measuring the risk of impulsive noise: One practitioner's tips. *Acoust Aust* (2016) 44:77–81.
18. Mlynski R, Koslowski E & Adamczyk J: Assessment of Impulse Noise Hazard and the Use of Hearing Protection Devices in Workplaces where Forging Hammers are used. *Archives of acoustics* (2014) Vol. 39, No. 1, pp. 73–79.
19. Lie A, Skogstad M, Johannessen H, Tynes T, Mehlum I, Nordby K, Engdahl B & Tambs K: Occupational noise exposure and hearing: a systematic review. *Int Arch Occup Environ Health* (2016) 89:351–372 DOI 10.1007/s00420-015-1083-5.
20. Spankovich C, Griffiths SK, Lobarriñas E, Morgenstein KE, de la Calle S, Ledon V, Guercio D, Le Prell CG; Temporary threshold shift after impulse-noise during video game play: laboratory data. *Int J Audiol.* 2014 Mar;53 Suppl 2:S53-65. doi: 10.3109/14992027.2013.865844.