



Hitsaajan olosuhteiden parantaminen

Loppuraportti. TSR-hanke 114388

Marko Antila | Inga Mattila | Heikki Isomoisio |
Jari Kataja | Hannu Salmela | Heli Koskinen |
Tommi Alanko



Hitsaajan työolosuhteiden parantaminen

Loppuraportti. TSR-hanke 114388

Marko Antila, Inga Mattila, Heikki Isomoisio,
Jari Kataja ja Hannu Salmela

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Heli Koskinen, Tommi Alanko

Työterveyslaitos



ISBN 978-951-38-8648-6 (nid.)
ISBN 978-951-38-8647-9 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)

VTT Technology 329

ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-1211 (Painettu)
ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8647-9>

Copyright © VTT 2018

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
02044 VTT
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)
FI-02044 VTT
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)
FI-02044 VTT, Finland
Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Alkusanat

Tämä raportti sisältää tulokset HITOP - hankkeesta. HITOP on lyhenne sanoista Hitsaajan olosuhteiden parantaminen. Hankkeen lähtökohtana olivat havainnot siitä, että hitsaajien työturvallisuus- ja suojaustilannetta ei oltu vähään aikaan kartoitettu kokonaisvaltaisesti magneettikenttien, äänialtistuksen sekä hengitysilman laadun osalta. Magneettikentiltä suojautumiseen liittyvä uusi direktiivi teki hankkeen magneettikenttäosion erityisen tarpeelliseksi, ja se oli myös erityinen fokusalue.

Hanketta rahoittivat Työsuojelurahasto, VTT Oy, Työterveyslaitos, Kemppi Oy, Meyer Turku Oy, Oticon Oy, Leijona Group Oy sekä ATEX Ammattiasut Oy. Olemme kiitollisia Työsuojelurahaston ja yritysten tuesta hankkeelle, ja niiden aktiivisesta osallistumisesta. Hanke toteutettiin aikavälillä 1.1.2015 - 15.11.2016. Projektin toteuttivat VTT Oy sekä Työterveyslaitos.

Tampere 23.5.2018
Kirjoittajat

Sisältö

Alkusanat	3
1. Johdanto	6
1.1 Tavoite	6
1.2 Tausta ja nykytila.....	6
1.3 Työn toteutus.....	7
1.4 Taustatietoja hankkeelle	8
1.5 Haastatelluilta saatuja yleisiä kehitysehdotuksia	11
1.6 Sähkömagneettiset kentät hitsauksessa	11
1.7 Ääni hitsaajan apuna ja häiriötekijänä.....	12
1.8 Hitsaajan altistuminen hitsaussavuille.....	13
2. Sähkömagneettisilta kentiltä suojautuminen ja niiden voimakkuudet hitsaustyössä	14
2.1 Magneettisuojausmateriaalien arvioinnit laboratorio-olosuhteissa	14
2.2 Sähkömagneettisten kenttien mittaukset koehitsausolosuhteissa.....	22
2.3 Hitsausjohdon kiepillä olemisen vaikutus	26
2.4 Sähkömagneettisten kenttien mittaukset työpaikalla.....	28
3. Hitsauksen ääni, siltä suojautuminen ja sen hyötykäyttö	31
3.1 Äänitalenteet ja -mittaukset	35
3.2 Kuulonsuojainkokeilut	41
3.3 Kuunneltava malli kuulonsuojaimien valinnan apuna.....	46
4. Hiukkasaltistus hitsaustyöpaikoilla	50
4.1 Mittaukset.....	50
4.2 Tulokset ja niiden tarkastelu.....	52
5. Yhteenveto ja suositukset	55
5.1 Magneettikentiltä suojautuminen työtapoja kehittämällä	55
5.2 Magneettikentiltä suojaavat materiaalit	56
5.3 Melulta suojautuminen	56
5.4 Ilman laatu hitsaustöissä.....	59
Viitteet	60
Liite A: Kyselylomake hitsaajille	A1

1. Johdanto

1.1 Tavoite

HITOP-hankkeen tavoitteena oli saada aikaan kokonaisarvio hitsaajien, tuotekehityshenkilöstön ja työsuojeluhenkilöstön näkemyksistä hitsaukseen liittyvistä suojaustarpeista, tutkia tilanne hitsauslaitteiden ja työpaikkojen osalta sekä kehittää keinoja suojauksen toteuttamiseksi.

HITOP-hanke tähtäsi myös hitsaajan kokonaistyöturvallisuuden parantamiseen. Tämä tapahtui tutkimalla kehittyneitä kuulonsuojaimia, magneetikenttiä vähentäviä suojaimia ja työvaatteita, hengityssuojaimia sekä suojainyhdistelmiä. Mekaaninen suojaus, ergonomiatekijät ja silmäsuojaus rajautuivat pääsääntöisesti pois, paitsi siltä osin, kun ne vaikuttivat suoraan tutkimuskohteisiin.

Hanke keskittyi metalli-kaasukaarihitsaukseen, eli MIG/MAG-hitsaukseen (engl. Metal Inert Gas, Metal Active Gas) ja siinä yleistyvään pulssihitsaukseen niiden voimakkaiden sähkö- ja magneetikenttien, nopeiden virran voimakkuuksien muutosten sekä pulssimaisuuden tuomien uudentyyppisten meluhaasteiden takia.

MIG on yleinen hitsausmenetelmä; Suomessa tehtävästä hitsaustyöstä sitä on noin 75 % ja Euroopassa yli 60 %. Muuallakin maailmassa sen osuus on kasvussa erityisesti kehittyvissä maissa kuten Kiinassa ja Intiassa. Suomessa on erikoistuttu korkean osaamiseen hitsaamiseen (värimetallit, erityisrakenteet, erityiskohteet) mm. konepajoissa ja telakoilla. Tällaiseen vaativaan työhön liittyvä vaaroilta suojautuminen ja riskeihin varautuminen on keskeistä.

1.2 Tausta ja nykytila

Työturvallisuuslaki edellyttää, että ”työnantajan on hankittava ja annettava työntekijän käyttöön säädetyt vaatimukset täyttävät ja tarkoituksenmukaiset henkilönsuojaimet (15 §), jollei tapaturman tai sairastumisen vaaraa voida välttää tai riittävästi rajoittaa työhön tai työolosuhteisiin kohdistuvilla toimenpiteillä” (VNK 2002). Henkilönsuojaimet ovat siis aina toissijainen keino henkilön suojaukseen, mutta silloin kun niitä tarvitaan, ne ovat tärkeä osa työturvallisuutta.

Työnantajan vastuulla on määrittää vaadittavat suojausominaisuudet ja verrata niitä saatavilla oleviin henkilönsuojaimiin. Suojainten tulee olla tarkoituksenmukaiset ja sopivat työolosuhteisiin eli valinnassa tulee huomioida myös: henkilönsuojainten aiheuttamat vaarat, ergonomian vaatimukset ja

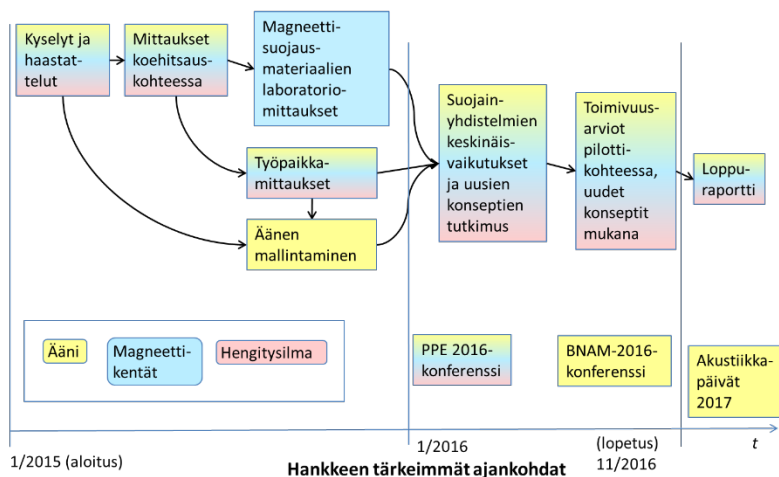
työntekijän terveydentila, suojaimen sopivuus käyttäjälle säätöjen jälkeen ja suoja-yhdistelmien käyttö. Työnantaja huolehtii myös suojainten huollosta, korjauksista ja suojaimen uusimisesta ja antaa riittävän opastuksen ja ohjauksen suojaimen käytöstä (VNK 1993)

Käytännössä varsinkin suojausyhdistelmät ovat osoittautuneet haastaviksi työpaikoilla. Hitsaajan ammatissa tarvitaan useita erilaisia pään alueen suojaimia, ja niiden sovittaminen yhteen on hankalaa. Tällä hetkellä MIG-hitsauksessa käytetään tavanomaisia hitsaussuoja-asuja, hitsausmaskia ja kuulonsuojaimia. Lisäksi erityisolosuhteissa käytetään suodattimella varustettuja puhallinsuojainmaskeja (esim. ahtaat rakenteet, säiliöt, laivan välipohjat). Suojavaatetuksen nykyisten vähimmäisvaatimusten tarkoituksena on suojata hitsaajaa liekeiltä, sulilta hitsausroiskeilta, kipinöiltä, säteilylämmöltä ja hetkellisiltä kaarihitsauspiiriin jännitteellisten osien kosketuksilta tahattomissa kosketuksissa (ISO 2008; EU 1989).

Takin ja housujen tai haalarin lisäksi suoja-asuun voivat kuulua huppu, hitsauskypärä, puhallinsuojain, suojalasit, suojakäsineet, turvajalkineet, esiliina sekä sääri- ja käsisuojat. Suojaimet vaikuttavat toisiinsa, ja suojaus saattaa ratkaisevasti heikentyä, jos yhdistelmä on väärin valittu. Esimerkiksi, melulla ja ilmanvaihdolla on selkeä vaikutus toisiinsa, ja tällaista yhteisvaikutusta työkoneissa on tutkittu Työsuojelurahaston hankkeessa 102350 - ”Hiljainen, ilmastoitu ohjaamo” (Antila ym. 2004)

1.3 Työn toteutus

HITOP-hanke jakautui kolmeen eri tutkimusalueeseen: 1) suojautuminen magneettikentiltä, 2) hitsaukseen liittyvät äänet ja niiltä suojautuminen sekä hyötykäyttö, ja 3) hitsaajan hengitysilman laatu. Hankkeen eteneminen on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kaavio HITOP-hankkeen sisällöstä.

Taulukko 1. Taustatietoja haastatelluista.

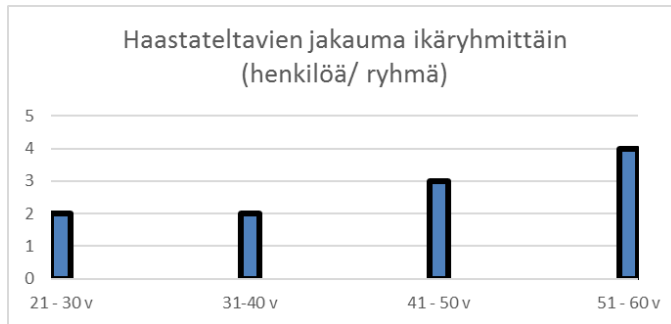
Ominaisuus	Prosenttiosuus
Tupakoivia	36 %
Allergia	46 %
Kuulon alenema	27 %
Hengityselinsairauksia	9 %

Hankkeessa hyödynnettiin magneettikenttien kehittyntä mittaustekniikkaa, psykoakustiikkaa ja ihmisen kuuloaistimuksen arviointia, ihminen-kone - vuorovaikutuksen ymmärtämistä suojavälineisiin ja työtehtäviin liittyen ja edistyneitä hengitysilman epäpuhtauksien arviointimenetelmiä.

Tutkimus tehtiin VTT:n (DNV:n auditoima ISO9001 / ISO14001) ja TTL:n laatujärjestelmien mukaisesti. Koska tutkimuksessa oli mukana koehenkilöitä, mutta ei lääketieteellistä osuutta, eettinen käsittely voitiin tehdä Työterveyslaitoksen eettisen toimikunnan kautta. Kaikki tarvittavat asiakirjat toimitettiin toimikunnalle 13.3.2015 ja se hyväksyttiin 24.4.2015. Henkilötiedot ja tutkimustulokset yhdistävät lomakkeet säilytettiin asianmukaisesti hankkeen ajan, ja hävitetään hankkeen päättymisen jälkeen laatujärjestelmän mukaisesti.

1.4 Taustatietoja hankkeelle

Hitsaajille ja työturvallisuushenkilöille tehtiin haastattelut sekä Kempillä että Meyerin telakalla. Tavoitteena oli saada aikaan kokonaisarvio hitsaajien, tuotekehityshenkilöstön ja työsuojeluhenkilöstön näkemyksistä hitsaukseen liittyvistä suojaustarpeista. Käytännössä tietoa hankittiin haastatteluin. Haastateltavana oli yhteensä 9 hitsaajaa, kaksi työsuojeluhenkilöstöön kuuluvaa sekä kaksi tuotekehityshenkilöä. Otos ei ollut suuri, mutta sen arvioitiin antavan riittävästi taustatietoa tämän tyyppistä selvitystä varten. Kyselyssä kysyttiin useita hitsausta koskevia asioita (kyselylomake tämän raportin liitteenä). Taustatietoina hitsaajilta kysyttiin muutama kuuloon ja hengitykseen liittyvä kysymys (taulukko 1). Lähes puolella vastaajista oli jonkinlainen allergia, ja noin kolmannes tupakoi. Myös kuulon alenema oli noin kolmanneksella. Kuputyypisten kuulonsuojaimien käytön ongelmissa hitsausmaskien kanssa raportoi suurin osa hitsaajista.



Kuva 2. Haastateltavien ikäjakauma

Vastaajien ikäjakauma painottui yli 40 vuotiaiden ikäryhmään. Tämä selittää osittain myös huonokuuloisten suuren osuuden. Haastatteluissa kävi ilmi, että erityisesti ikäryhmällä yli 50-vuotiaat, mutta myös yli 40-vuotiaiden mutta alle 51-vuotiaiden ryhmässä kuulon suojaamiseen ei hitsaustöissä ollut kiinnitetty huomioita muuta kuin erityisen meluisissa kohteissa. Nuoremalla ikäluokalla kuulonsuojaukseen oli kiinnitetty selkeästi paremmin huomiota.

Kuppisuojaimet eivät mahdu hitsausmaskeihin, minkä vuoksi pitää käyttää tulppia. Kupit olisivat paremmat.

Kuppikuulosuojaimet eivät toimi yhteen hitsausmaskin kanssa. Siksi käyttää aina korvatulppia.

Kuulonsuojain: pitäisi kuulla toinen paremmin.

Sähkömagneettisiin kenttiin vaikuttaa eniten se, miten hitsauskaapeli sijaitsee hitsaajaan nähden. Ergonomia-asioiden huomioiminen auttaa myös vähentämään magneettikenttäaltistusta. Vastauksissa kuvattiin eri tapoja kuljettaa kaapelia ja ilmi tuli myös työtapojen ja kulttuurin muutos:

Sähkömagneettiset kentät eivät näy => konkretisointi tekemällä näkyväksi.

Kaapeli on suorana metrin, parin päässä, ei keholla, 10 metrin kaapeli, voi tulla kaukaakin.

Kaapeli on lattialla. Aiemmin ollut hitsaamassa hallin puolella ja saanut neuvon vanhemmalta hitsarilta olla kiertämättä kaapelia kehonsa ympärille, ettei tule hartia kipeäksi.

Kaapelin paikka vaihtelee 2 m säteellä, välillä olkapäällä, kylkiasennossa, myös istuallaan.

Hitsauskone (lankalaatikko) on aika lähellä, laineri 2 m - 4m. Itse kaapeli menee edestä, aika lähellä, ahtaissa paikoissa päältä tai alta kehoa pitkin, asennot hankalia käsihitsauksessa. Kappaletta ei voi kääntää...

Käden ympäri tai kaulan ympäri-tapauksia ei ole ollenkaan nähnyt. Aikaisemmin oli kuulemma, mutta nyt koneet ovat kevyempiä, joten ehkä senkin vuoksi. Kauempana tai lähempänä mutta ei niskaan tai käden ympäri... koneet kevyempiä nykyään ja varustelijoilla on pienemmät koneet.

Ennen kaapeli oli paksumpaa, jolloin näki sitä, että kiedottiin kaapeli käden ympärille tai niskan taakse. Kieppi on joskus jalkojen välissä. Kaapelin kiepillä pitoa ohjeistetaan välttämään jo ammattikoulutuksessa, mutta sitä silti näkee.

Hitsauskokemusta oli keskimäärin 20 vuotta, tosin hajonta oli suurta vastaajien keskuudessa (taulukko 2), joten hitsaajat olivat keskimäärin erittäin kokeneita. Viikkohitsausmäärä oli keskimäärin 24 h, mutta siinäkin hajonta oli suurta, johtuen hyvin erityyppisistä toimenkuvista.

Taulukko 2. Hitsauskokemus ja hitsauksen viikoittainen kesto.

Ominaisuus	Keskimäärin	Keskihajonta
Hitsauskokemusta	20 v	9 v
Hitsausta viikossa	24 h	12 h

Työskentelyolosuhteet vaihtelivat hitsaajilla paljon. Koehitsaajat tekivät hitsaustyötä sekä laboratorio- tai niihin verrattavissa olosuhteissa, että työpaikoilla.

Taulukko 3. Työskentelyolosuhteiden haastatteluaineiston yhteenveto koskien laboratorio- tai niihin verrattavissa olosuhteita (esimerkiksi messuja).

Olosuhdetekijä	Olosuhdekuvaus
Ääniympäristö	Hiljainen tai satunnaista melua, musiikkia, hälyä
Ilmanlaatu	Hyvä, yleensä hyvä kohdepoisto
Valaistus	Hyvä
Korkeat paikat	Ei
Vuorotyö	1- tai 2-vuorotyö
Ulkona/sisällä	Sisällä
Työtilan koko	Pieniä tiloja tai hieman väljempiä
Asento	Istuen tai seisten
Muut olosuhteet	Toiset valokaaret, satunnaiset häiriöt

Taulukko 4. Työskentelyolosuhteiden haastatteluaineiston yhteenvetoa koskien varsinaisia hitsaustyöpaikkoja.

Olosuhdetekijä	Olosuhdekuvaus
Ääniympäristö	Monenlaista melua, lekat, moskat, hiontakoneet, polttoleikkaus, kuonapyssyt, koneet siirtolaitteet, nosturit, paljon melulähteitä. Usein taustaaänet peittävät hitsauksen äänen Hitsausääni pitäisi kuulua paremmin, sillä ääni on oleellinen aisti hitsauksessa.
Ilmanlaatu	Pölyä paljon, hionta on ongelma, hitsaushuurut
Valaistus	Vaihtelee hyvästä välttävään, joskus mennään kypärävalaisimella tai jopa taskulampulla.
Korkeat paikat	Telakalla korkeat rakenteet, voimalaitokset, 30 m - 60 m, teräsrunkoiset pilvenpiirtäjät
Vuorotyö	Usein 2-vuorotyö.
Ulkona/ sisällä	Sekä että, myös puolilämmitetyt sisätilat
Työtilan koko	Vaihtelee työtilanteen ja työpaikan mukaan, myös ahtaita paikkoja.
Asento	Seisten, konttaus, erityisasennot (myös makuulla), ei yleensä istuen
Muut olosuhteet	Rungon sisällä, säiliön sisällä, konepaja/ telakka, pienosat. Voi olla jopa 100 hitsaajaa paikalla.

1.5 Haastatelluilta saatuja yleisiä kehitysehdotuksia

Haastatelluilla oli runsaasti erilaisia kehitysehdotuksia, joista osaa päästiin myös testaamaan ja kokeilemaan hankkeen aikana.

Parasta olisi, kun ihmiset vaan käyttäisivät olemassa olevia suojaimia. Käyttämättömyys ehkä suurin ongelma. Vanhemmat työntekijät eivät ole kiinnostuneita käyttämään ja nuoret ajattelevat olevansa "niin kovia jätkiä", ettei suojaia tarvita.

Suojaimet: maskien keveys, niska ja hartiaongelmia tulee, kun maskilla on painoa. Työasennot ovat sellaisia, että jos maski vielä painaa ja ei ole tasapainossa, niin niskat ja hartiat joutuvat koville.

Hitsaimen kätevyys ja keveys, käsivoimia syö ja olkapäät kuluu. Ikääntyneellä tulee ongelmia jaksamisen kanssa.

Monesti aistii, että suunnittelija ei itse ole käyttänyt suojaimia, istuu huonosti ja ovat epämiellyttäviä, jotkut suojaimet hyviäkin, hyviä ideoita. Suunnittelijat tekevät sopimattomia pareja (kuulonsuojaimet/ hengityssuojaimet).

Tiedonkulkua voisi kehittää.

Turvallisuushavainnointia pitää kehittää ja saada paremmalle tasolle. Vastuunkantoa ja puuttumiskynnyksen alentamista varustelumiehillä. Eri turvallisuuskulttuurit eri työryhmillä, toisilla hyväkin suojainkulttuuri ja toisilla ei.

Ei ensimmäiseksi mietitä suojautumista, vaan onko muuta tehtävissä ympäristöolosuhteiden parantamiseksi.

Hitsaajien tilanne kunnossa, levysepät ja asentajat huonommassa tilanteessa, käryimuri pitäisi olla lähellä.

Suojaimiin integroitu yleisvalo ja tiukempi kohdevalo olisi joissakin tilanteissa hyvä (nyt käytössä kynälamppu kohdevalona)

1.6 Sähkömagneettiset kentät hitsauksessa

Nykyiset hitsauslaitteet voivat työpisteessä aikaansaada voimakkaita sähkö- ja magneettikenttiä ja erityisesti uusien hitsaustekniikoiden tiedetään olevan teollisuudessa merkittävä välitaajuisten pulssimaisten magneettikenttien lähde (taajuudet 300 Hz - 10 MHz), jotka todennetusti voivat aikaansaada hitsaajassa biologisia vaikutuksia (Jokela ym. 2014; EU 2013a). Erityisesti MIG-hitsauksessa syntyy suuria huippuvirtoja ja kentän voimakkuuksia. Työskentelyllä sähkömagneettikentille altistavassa työympäristössä on monenlaisia vaikutuksia työntekijän kehoon ja turvallisuuteen: biofysikaaliset vaikutukset kudoksiin sekä häiriöt lääkinällisissä laitteissa, kuten sydämentahdistimet, implantit, ja kehon ulkopuoliset kannettavat laitteet. Lisäksi tulevat kipinöinnin aiheuttamat onnettomuudet, kuten tulipalot, räjähdykset ja kosketusvirta. (WHO 2007; EU 2013a)

Välillisistä vaikutuksista esimerkiksi sydäntahdistimet voivat häiriintyä hitsauksen aiheuttamissa suurissa magneettikentissä (Tiikkaja ym. 2012). Ei-toivotut vaikutukset ihmiskehoon riippuvat altistumisen aiheuttavan sähkömagneettisen kentän tai säteilyn taajuudesta. Hitsauksessa voimakkaita magneettikenttiä esiintyy virtalähteiden ja virtajohtimien läheisyydessä, jotka yleensä ovat hitsaajan kosketusetäisyydellä (Ali 2012; Yamaguchi-Sekino ym. 2011; Mair 2005). Kiinteiden työpisteiden ulkopuolella hitsaaja voi kantaa virtakaapelia niskan ja olkapään päällä ahtaissa työkohteissa.

EU-direktiivissä (EU 2013a) mainittuun EMF-suojautumiseen ei ole käytännössä olemassa hitsauksen henkilösuojaimia. Voimakkuuksia ja taajuuksia ei tunneta riittävällä tarkkuudella suojautumisen kehittämiseksi. Tämän vuoksi hitsaajan parempi suojaaminen magneettikentiltä edellyttää uutta tutkimustietoa hitsaustilanteen olosuhteista, hitsaajan suojauksen toimivuudesta sekä uusien suojausratkaisujen kuten suojavaatteiden kehittämistä (Ali 2012). Suurin EMF-kenttä kohdistuu hitsaajan käsiin, mutta myös vartalo ja pään alue tulee suojata.

1.7 Ääni hitsaajan apuna ja häiriötekijänä

Hitsauksen sujuvuuden ja laadun tarkkailun vuoksi hitsaaja haluaa kuulla hitsaukseen liittyvät äänet mahdollisimman selkeästi. Ääni on hitsaajalle paitsi häiriötekijä myös työtä ohjaava apukeino. Vahingollisuuden lisäksi hitsausmelu sisältää informaatiota siitä, miten hitsaus sujuu. Häiritseviä tekijöitä ovat konepajan tai muun hitsausympäristön taustamelu, kuulonsuojaimien riittämätön tai liiallinen vaimennus sekä moottoroitu puhallinsuojain, jonka tuottama melu voi vaikeuttaa hitsauksen äänen selkeää kuulemistä.

Taustamelu on luonteeltaan usein tyypillistä konepajamelua. Konepajamelu sisältää impulssimaisia komponentteja, kuten vasarointia, ja laajakaistaisia ääniä, kuten hiontaa (Antila ym. 2014). Myös hitsauksessa voi esiintyä impulssimaisia komponentteja. Impulssimainen melu on vahingollisempaa kuulolle kuin mitä melumittausarvion mukaan voisi olettaa. Lisäksi lyhyt, alle 1 ms pulssi kuulostaa hiljaisemmalta kuin se on, koska korva ei aisti sitä täydellä voimakkuudella.

Hitsauksen tuottama ääni vaihtelee sen mukaan, minkä tyyppistä materiaalia ja millä menetelmällä sitä hitsataan, joten oikein suojaintyyppin valinta voi olla useissa tapauksissa tarpeen. Ääntä voidaan arvioida miellyttävyyden ja häiritsevyyden osalta psykoakustisin menetelmin, kuten esimerkiksi Työsuojelurahaston hankkeessa 96051 ”Työkoneiden ohjaamomelun häiritsevyys ja sen vähentäminen” (Järveläinen ym. 1998).

Maailmalla on tutkittu paljon hitsauksen äänen suhdetta hitsin laatuun (Lv ym. 2013; Pal, Bhattacharya & Surjya K. Pal 2010; ARATA ym. 2012; Pal, Bhattacharya & Surjya K Pal 2010) mutta vähän suoraan hitsaajan kokemaa tilannetta. Hitsaajan kokemaa tilannetta voidaan arvioida psykoakustisin menetelmin (Karjalainen 1999) käyttäen kuuntelutestejä ja laskien psykoakustisia tunnuslukuja. Äänistä voidaan myös rakentaa kuunneltavia malleja (Antila ym. 2015; Antila & Kataja 2013), jolloin voidaan kokeilla helposti erilaisia ratkaisuja.

E erityisen ongelman muodostavat huonokuuloiset hitsaajat. Huonokuuloisuus voi olla sekä ikähuonokuuloisuutta (engl. presbycusis), että meluvaurion aiheuttamaa huonokuuloisuutta (engl. Noise Induced Hearing Loss, NIHL). Näitä ei voi aina erottaa selkeästi toisistaan. Ikähuonokuuloisuudessa kuulon heikkeneminen alkaa usein suurilta taajuuksilta (korkeat äänet), kun taas meluvauriolle on tyypillistä, että kuuloon syntyy ensin kuoppamainen heikentyminen noin 4 kHz taajuudella (Rabinowitz 2012). Tämä kuoppamainen vaimentuma sulautuu usein henkilön ikääntyessä ikähuonokuuloisuuden aiheuttamaan kuulon heikentymiseen, eikä niitä voi enää erottaa.

1.8 Hitsaajan altistuminen hitsaussavuille

Hitsauksessa syntyy ilmaan epäpuhtauksia hitsaussavun muodossa. Hitsaussavu koostuu hitsaushuurusta ja kaasumaisista aineista. Hitsaushuuru on näistä yleensä haitallisempi ja määrällisesti suurempi päästö. Hitsaushuuru koostuu hiukkasista, joista erityisesti rautaa, kromia tai nikkeliä sisältävät yhdisteet ovat terveydelle haitallisia. Ototoxisiksi tunnetuista aineista hitsauksessa esiintyy hiilimonoksidia, lyijyä ja mangaania (Campo ym. 2009) teräksen ja erityisesti alumiinin hitsauksessa voi syntyä suuria määriä haitallista otsonia, joka on hengityselimiä ärsyttävä kaasu. Hitsauksessa muodostuvat metallihuurut ja hitsauskaasut ovat haitallisia etenkin ahtaissa tiloissa.

Hitsaajan altistumista voidaan vähentää kohdepoistojen, yleisilmavaihdon ja hengityssuojainten avulla. Useassa tapauksessa riittävän tehokkaita kohdepoistoja ei ole työn sujuvuuden tai olosuhteiden takia teknisesti järjestettävissä. Tällaisia tapauksia ovat hitsaus hitsaustyöpaikkojen ulkopuolella esim. telakalla, säiliössä tai ahtaassa tilassa. Tällöin tehokas suojaustoimenpide on puhaltimella varustettujen hitsausmaskien käyttö. Puhaltimella varustetussa suodatinsuojaimessa hengitysilman suodattamiseen käytetään hiukkassuodatinta ja mahdollisesti kaasusuodatinta (aktiivihilli). Suodatinsuojaimien käytössä on todettu haasteita liittyen mm. suodattimien riittävään vaihtoväliin, suodatinsuojain- ja kuulosuojainyhdistelmän toimivuuteen (esim. puhallinmelun aiheuttama haitta hitsausäänen kuulumiseen) sekä puutteeseen hiilidioksidipitoisuustiedosta erityisesti säiliöhitsauksessa. Ultrapienien hiukkasten (<100 nm) terveysvaikutuksista hitsauksessa sekä hitsaajien hengityssuojainten suojauskyvystä ei ole riittävästi tutkimustietoa (Lehnert ym. 2012; Lehtimäki & Säämänen 2013).

2. Sähkömagneettisilta kentiltä suojautuminen ja niiden voimakkuudet hitsaustyössä

Sähkömagneettisia kenttiä tarkasteltiin kahdesta eri näkökulmasta: yhtäältä mitattiin sähkömagneettisten kenttien voimakkuuksia eri hitsaustilanteissa ja toisaalta arvioitiin eri materiaalien kykyä vaimentaa magneettikenttiä sekä kokeellisissa että todellisuutta vastaavissa olosuhteissa. Sähkömagneettisten kenttien voimakkuuksia mitattiin sekä laboratorio-olosuhteissa että työpaikoilla. Laboratorio-olosuhteet saatiin aikaan yhden osallistuvan yrityksen koehitsaustilassa.

Laboratorio-olosuhteissa toteutettujen sähkömagneettisten kenttien mittausten tavoitteena oli tarkastella erilaisia hitsausohjelmia käytettäessä syntyviä altistuksia sekä materiaalien suojausominaisuuksia sähkömagneettisia kenttiä vastaan.

Työpaikoilla tehtävissä mittauksissa selvitettiin käytännön altistusten suuruutta ja eri työtapojen vaikutuksia magneettikentille altistumiseen ja niiden suuruuteen.

2.1 Magneettisuojausmateriaalien arvioinnit laboratorio-olosuhteissa

Magneettimateriaalien arvioinnissa tavoitteena oli kartoittaa markkinoilla olevia materiaaleja, joita hyödyntämällä hitsaajien altistusta sähkömagneettisille kentille voitaisiin vähentää. Materiaalin tulisi vaimentaa magneettikenttiä hitsauksen kannalta oleelliselta taajuusalueelta (tärkein alue 0 Hz - 100 kHz).

Tutkittavaksi hankittiin erityyppisiä materiaaleja metalleista kankaisiin. Materiaaleja oli yhteensä 10. Materiaalien vaikutus sähkömagneettisten kenttien vaimenemiseen määritettiin laboratorio-olosuhteissa menetelmällä, jossa sähkömagneettisen säteilyn lähteenä käytettiin hitsauslaitteen kaapelia. Laboratoriomittauksissa saatujen tulosten perusteella valittiin sopivimmat materiaalit pilottikohteessa tehtäviin jatkotutkimuksiin hitsaustilanteessa esiintyvien sähkömagneettisten kenttien vaimentamiseksi.

Mittaukset perustuivat ICNIRP 2010 -työntekijäsuositukseen (ICNIRP 2010). Tämän lisäksi mittaukset tehtiin vertailun vuoksi aiempiin suosituksiin (ICNIRP 1998) perustuvalla painotetun huippuarvon menetelmällä. Myös suomeksi on valmistunut opas magneettikenttien vaikutuksen arviointiin (Sosiaali- ja terveysministeriö 2016). Siinä kuvataan käytännöllisesti sitä, miten vaikutuksia voidaan arvioida ja mitä toimenpiteitä on syytä tehdä.

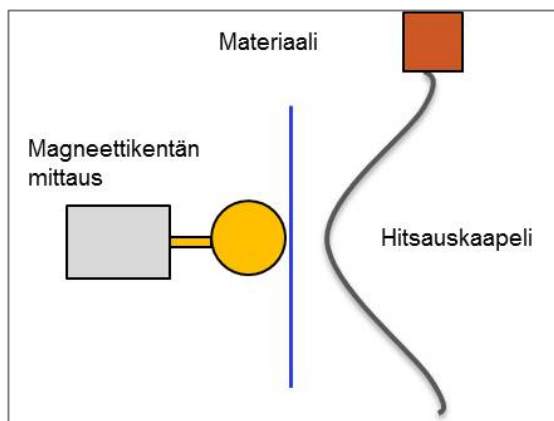
Mittaukset tehtiin vuoden EU:ssa implementoidun direktiivin (EU 2013b) mukaisesti painotetun huippuarvon menetelmällä. Mittauksissa olivat käytössä Kempfi FastMig 450 -hitsauskone, hitsausvirran säädin Kempfi 600 sekä ohjauslaite (kuva 3). Mittauksissa käytettiin hitsausohjelmaa 3 (5004 CH 3, CrNiMo 19 12, 1,2 mm).



Kuva 3. Mittausjärjestely. Ylhäällä keinukuorma hitsausta varten, keskellä mitattava materiaali kehikkoon viritettynä ja alhaalla hitsausvirran ja -jännitteen analysilaitteistoa.

Tutkittava materiaali (40 cm x 40 cm) tuettiin tarvittaessa vanerikehikolla. Mittaus toteutettiin siten, että hitsauskaapelin sekä materiaalin välinen etäisyys vaihteli

(0, 5, 10, 15, 20 cm). Mittalaitteen etäisyys materiaalista oli noin 1 mm kaikissa mittauksissa. Hitsauskaapeli asetettiin 90°:n kulmaan siten, että tarkasteltava suojamateriaali oli kohtisuorassa kaapelin muodostamaan kulmaan nähden (kuva 4). Mittausasetelma oli valittu siten, että toistettavuus olisi mahdollisimman hyvä ottaen huomioon haastavan mittauskohteen.



Kuva 4. Mittausjärjestelyn periaatekuva. Sähkömagneettista säteilyä mitattiin Narda ELT-400 -mittalaitteella. Mittalaite ilmoitti altistusprosentin.

Sähkömagneettista säteilyä mitattiin Narda ELT-400 -mittalaitteella. Mittalaite ilmoitti altistusprosentin painotetun huippuarvon menetelmällä. Tässä menetelmässä huomioidaan signaalin muodostavien spektrikomponenttien värähtelylaajuudet ja vaiheet. Mitattu aaltomuoto painotetaan taajuusriippuvaisilla toimenpidetasoilla ja altistumisprosentti muodostetaan painotetun aaltomuodon värähtelylaajuuden huippuarvon pohjalta. Altistusprosentti määritettiin sekä ICNIRP Guidelines 1998 että 2010 antamien suositusten mukaan (ICNIRP 2010; ICNIRP 1998). Mittauksissa määritettiin hitsauksen aiheuttama maksimipiikki ja hitsauksen aikainen jatkuva altistustaso.










Tuloksia tarkasteltiin myös laskemalla suojausprosentti siten, että materiaalien kanssa saatuja altistusprosentteja verrattiin ilman materiaalia tehdyn mittauksen tulokseen. Suojausprosentin avulla havainnollistettiin eri materiaalien kykyä suojata altistumiselta.

$$S = 1 - \frac{P_0}{P_S}, \quad (1)$$

missä S on vaimennustekijä, P_0 on painotettu huippuarvo mittauspisteessä ilman suojamateriaalia ja P_S on painotettu huippuarvo mittauspisteessä suojausmateriaalin kanssa.

Mittauksiin hankittiin yhteensä kymmenen erityyppistä materiaalia (taulukossa 5). Mukana oli erilaisia metallilevyjä, laminoituja materiaaliyhdistelmiä, kankaita ja neuloksia, jotka vaihtelivat paksuudeltaan ja taipuisuudeltaan. Koepalat olivat kooltaan 40 cm x 40 cm, lukuun ottamatta yhtä materiaalia (μ -metalli), jonka koko oli 15 cm x 18 cm.

Taulukko 5. Tutkimusmateriaalit.

Numero	Kuvaus	
1	Kaupallisesti rajoitetusti saatavilla oleva kalvomainen magneettisuojaamateriaali	
2	Uusi tutkimuskäyttöön tarkoitettu kokeellinen, kalvomainen magneettisuojaamateriaali	
3	Neulos 1	
4	Neulos 2	
5	Kangas 1	
6	Kangas 2	
7	Alumiini (paksuus 1 mm)	
8	Teräslevy (paksuus 1 mm)	
9	Reiällinen teräslevy (paksuus 1 mm)	
10	μ -metalli (levyn koko 15 x 18 cm).	

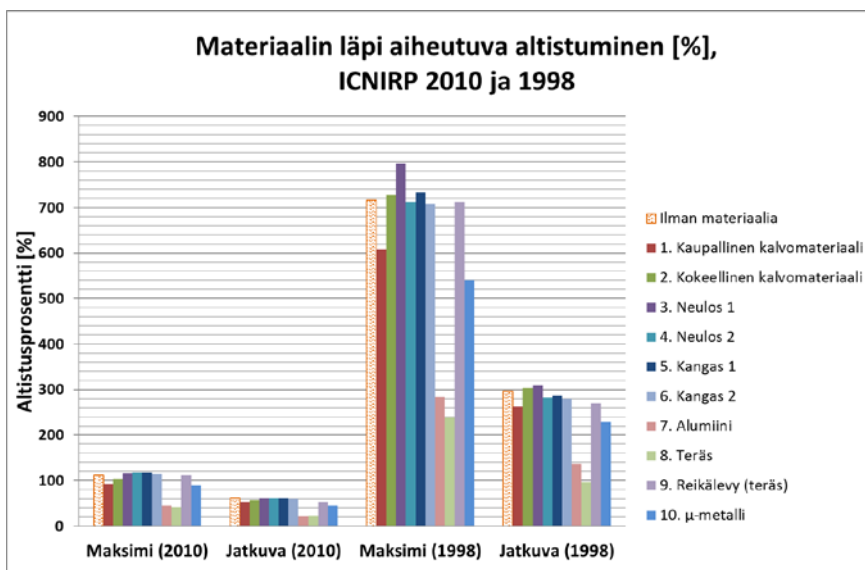
Mittauksissa saatiin eri materiaaleja käyttämällä altistusprosentit. Suojausprosentti (kaava 1) laskettiin vertaamalla samanlaisessa mittaustilanteessa ilman materiaalia ja materiaalin kanssa saatuja altistusprosentteja

Kuvassa 5 on esitetty kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden materiaalien läpi aiheutuva altistuminen hitsauskaapelin aiheuttamalle sähkömagneettiselle säteilylle sekä ICNIRP 1998 että 2010 suositusten mukaisesti määritettynä. Mittauksissa määritettiin hitsauksen aiheuttama maksimipiikki ja hitsauksen aikainen jatkuva altistustaso. Materiaalin ja kaapelin välinen etäisyys kuvassa 5 esitettyjen tulosten mittaustilanteessa oli nolla.

Kuvassa erottuvat selkeästi materiaalit, joilla on vaikutusta magneettikenttiin, ja materiaalit, joiden vaikutus on vähäinen. Erilaisten neulosten ja kankaiden vaikutus oli vähäinen, samoin kuin teräksisen reikälevyn. Tästä voi päätellä, että materiaalin tulee olla mahdollisimman yhtenäistä ilman aukkoja, jos magneettikenttää halutaan tehokkaasti vaimentaa.

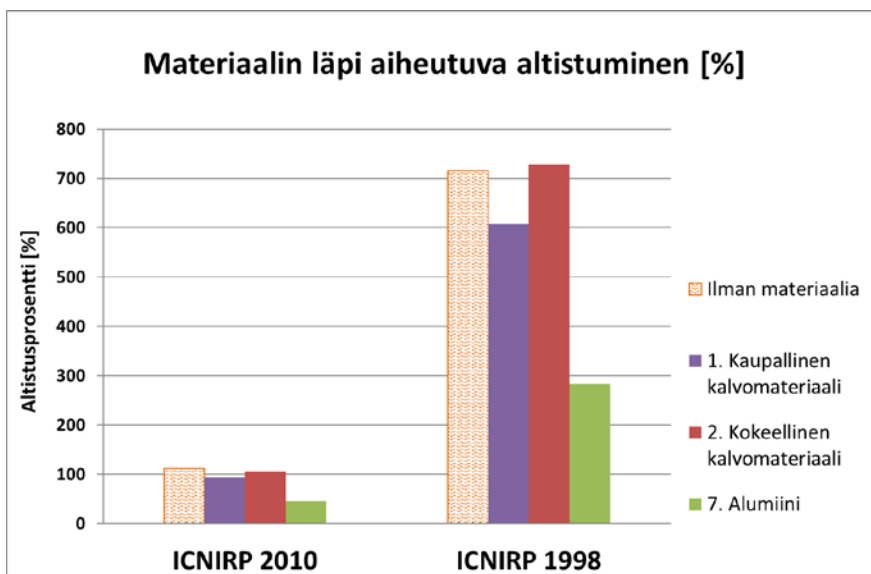
Paras vaimennuskyky on teräslevyllä, ja lähes yhtä hyvä on ominaisuuksiltaan alumiini. Teräksen ja alumiinin massiivinen rakenne on eduksi vaimennettaessa magneettikenttiä. μ -metalli on periaatteessa kaikkein parasta vaimennusominaisuuksiltaan, mutta tässä mittauksessa käytettävissä ollut materiaalipala oli niin pieni, että sen ominaisuudet eivät tulleet todennäköisesti kunnolla esille.

Kiinnostavimmat materiaalit magneettisuojauskerroksen kannalta olivat kaupallinen ja kokeellinen kalvomateriaali (materiaalit 1 ja 2). Niissä joustavaan rakenteeseen oli eri menetelmin rakennettu metallipohjainen suojauskerros.



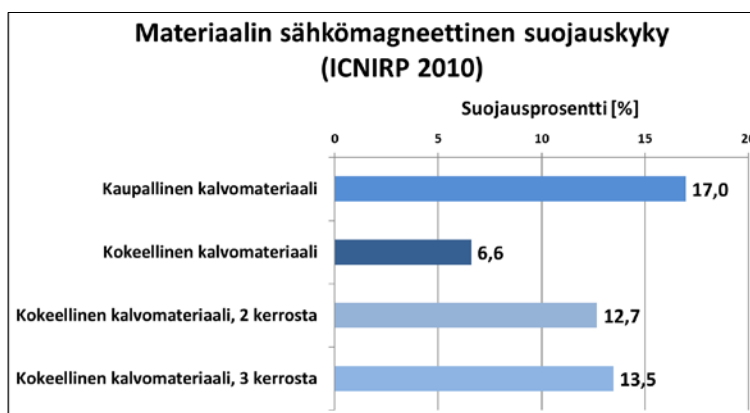
Kuva 5. Materiaalien läpi aiheutuva altistuminen hitsauskaapelin aiheuttamalle magneettikentälle, ICNIRP 2010 (vasemmat pylväät) ja 1998 (oikeat pylväät).

Kuvassa 6 esitetty kuvaa 5 tarkemmin 1- ja 2-materiaalin sekä alumiinin läpi aiheutuva altistuminen hitsauskaapelin aiheuttamalle sähkömagneettiselle säteilylle ICNIRP 1998 ja 2010 mukaisesti määritettynä. Alumiini on ylivoimaisesti paras näistä materiaaleista, ja se pystyy pudottamaan altistumisprosentin jopa puoleen.



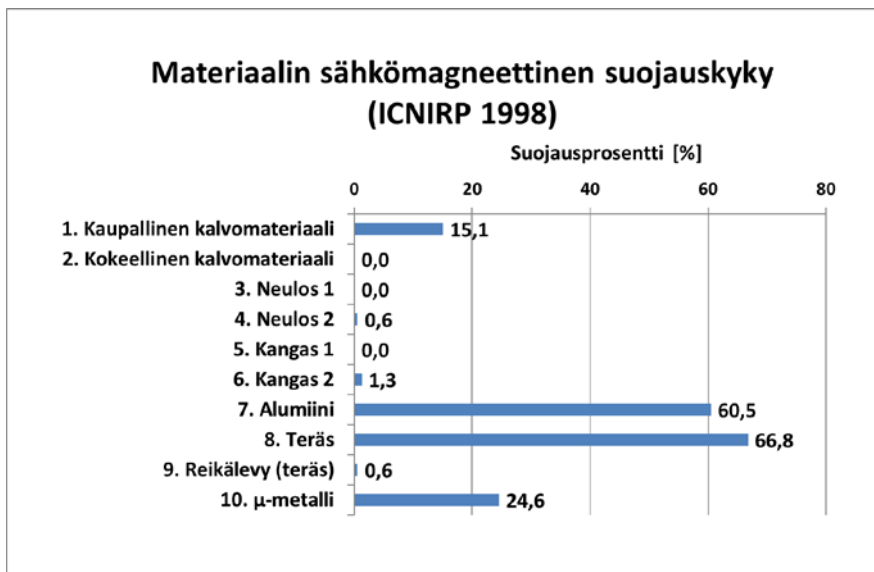
Kuva 6. Altistus 1- ja 2-materiaalin sekä alumiinin läpi hitsauskaapelin aiheuttamalle magneettikentälle.

Kuvassa 7 on esitetty 2-materiaalin suojaavuuden muutos, kun kokeellisen materiaalin kerroksia on lisätty. Suojausprosentti paranee selvästi, kun kerroksia on kaksi, mutta kolmannella kerroksella ei ole enää vastaavaa vaikutusta.

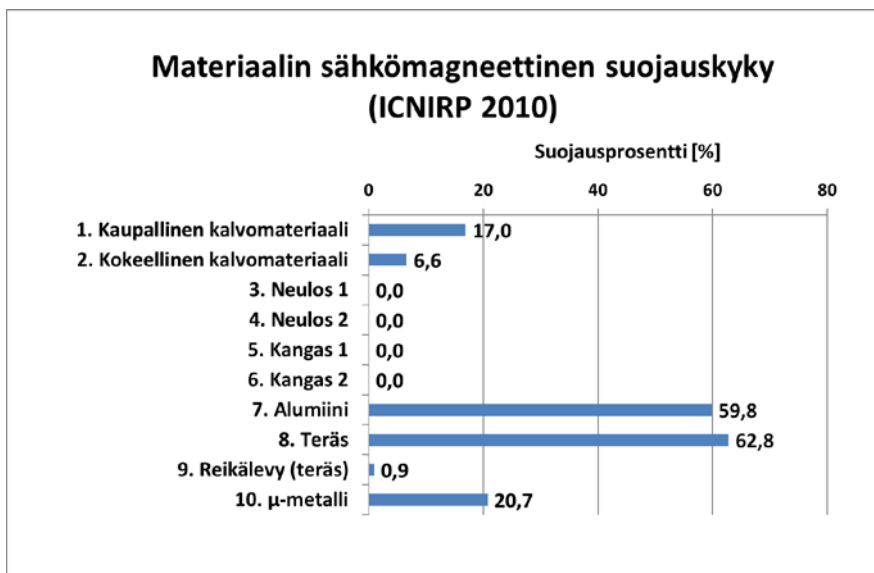


Kuva 7. Kokeellisen kalvomateriaalin kerrosmäärien vaikutus ICNIRP 2010 suositusten mukaan. Vertailuna yksi kerros kaupallista kalvomateriaalia.

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden materiaalien suojauskyky hitsauskaapelin aiheuttamalle sähkömagneettiselle säteilylle ICNIRP 1998 ja 2010 mukaisesti määritettynä.



Kuva 8. Materiaalien suojaavuus hitsauskaapelin aiheuttamalta magneettikentältä ICNIRP 1998 suositusten mukaan.

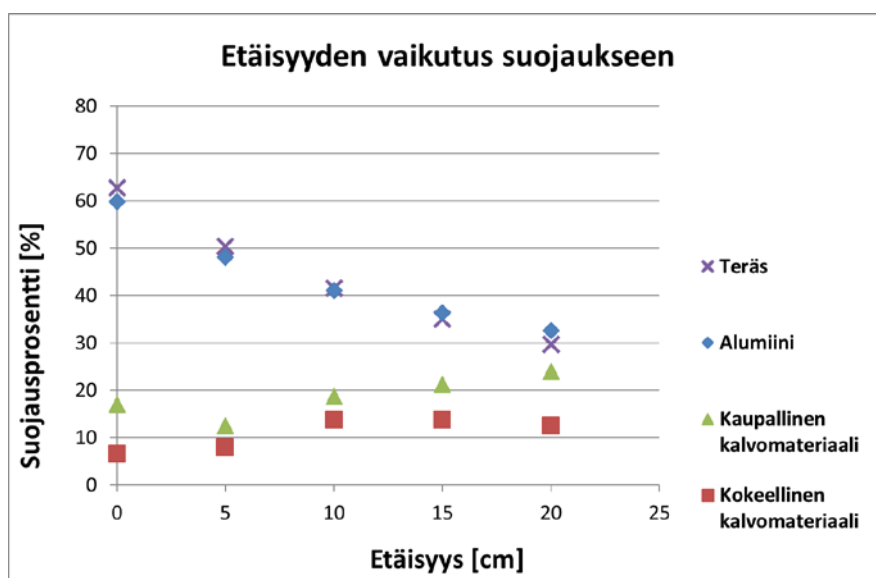


Kuva 9. Materiaalien suojaavuus hitsauskaapelin aiheuttamalta magneettikentältä ICNIRP 2010 suositusten mukaan.

Kuvassa 10 on esitetty etäisyyden vaikutus muutaman tutkimuksessa mukana olleen materiaalin suojauskykyyn. Suojauskyky määritettiin ICNIRP 2010-suosituksen mukaan. Etäisyyden vaikutus riippuikin hieman yllättäen materiaalista, jota tutkittiin.

Kalvomateriaalit käyttäytyivät ennako-oletusten mukaisesti ja suojausprosentti parani etäännyttäessä magneettikentälähteestä. Sen sijaan teräs ja alumiini käyttäytyivät päinvastoin. Kyseessä on mahdollisesti niiden kyky poikkeuttaa magneettikenttien kenttäviivoja ja aiheuttaa jonkinlaisen vahvistumisilmiön suuremmilla etäisyyksillä. Magneettikenttä kiertää suojauksen ympäri ja aiheuttaa suojausprosentin putoamisen.

Tätä olisi mahdollisesti voitu tutkia myös tarkemmissa tutkimusolosuhteissa, esimerkiksi käyttämällä jonkinlaisia putkimaisia rakenteita rajoittamaan magneettikentän leviämistä esteen ympärillä. Koska käytännössä kiinteiden metallirakenteiden käyttö suojaukseen on hankalaa, päätettiin hankkeessa keskittyä kalvomaisten rakenteiden mahdollisuuksiin. Ne ovat potentiaalisempia vaihtoehtoja käytännön suojausratkaisuihin.



Kuva 10. Etäisyyden vaikutus materiaalien suojaavuuteen hitsauskaapelin aiheuttamalta magneettikentältä (ICNIRP 2010).

2.2 Sähkömagneettisten kenttien mittaukset koehitsausolosuhteissa

Koehitsauskohteessa toteutettujen sähkömagneettisten kenttien mittausten tavoitteena oli jatkaa Työterveyslaitoksella aiemmin tehtyjen mittausten perusteella valittujen materiaalien suojaavuuden tarkastelua hitsauksessa aiheutuvalle sähkömagneettisen säteilyn altistukselle.

Mittaukset tehtiin hankkeeseen osallistuvan yrityksen koehitsaustilassa. Koejärjestelyssä mitattiin sähkömagneettisia kenttiä sekä ilman suojaavia materiaaleja, että niiden kanssa. Sähkömagneettisen kentän lähteenä toimi hitsauskaapeli hitsaajan hitsatessa. Rinnakkaismittaukset toteutettiin neljällä eri hitsausohjelmalla ja kahdella eri hitsaajalla. Mittaukset tehtiin samanaikaisesti äänimittausten kanssa. Hitsauslaitteena oli Kempin FastMig MFX 65. Mittausjärjestelyn periaate on sama kuin materiaalien laboratoriomittauksissa (kuva 4). Tutkittava materiaali (40 cm x 40 cm) tuettiin tarvittaessa vanerikehikolla. Mittaus toteutettiin siten, että hitsauskaapelin sekä materiaalin välinen etäisyys oli lähes nolla. Mittalaitteen etäisyys materiaalista oli noin 1 mm kaikissa mittauksissa. Hitsauskaapeli asetettiin 90°:n kulmaan siten, että tarkasteltava suojamateriaali oli kohtisuorassa kaapelin muodostamaan kulmaan nähden.



Kuva 11. Magneetikenttien mittalaite hitsausjohdon 90 ° kulman kohdalla.

Sähkömagneettista säteilyä mitattiin Narda ELT-400 -mittalaitteella. Mittalaite ilmoitti altistusprosentin painotetun huippuarvon menetelmällä. Tässä menetelmässä huomioidaan signaalin muodostavien spektrikomponenttien värähtelylaajuudet ja vaiheet. Mitattu aaltomuoto painotetaan taajuusriippuvaisilla toimenpidetasoilla ja altistumisprosentti muodostetaan painotetun aaltomuodon värähtelylaajuuden huippuarvon pohjalta. Altistusprosentti määritettiin ICNIRP Guidelines 2010 antamien suositusten mukaan (ICNIRP 2010). Mittauksissa määritettiin hitsauksen aiheuttama maksimipiikki ja hitsauksen aikainen jatkuva altistustaso. Kuvassa 11 on magneetikenttien mittauslaite 90 ° kulmassa olevan hitsausjohdon kohdalla.



Kuva 12. Magneettikenttien mittaaminen, kun välissä on magneettikenttiä rajoittavaa materiaalia.

Kuvassa 12 mitattiin magneettikenttiä siten, että välissä on magneettikenttiä vähentävää materiaalia. Myös tässä mittauksessa hitsausjohto on 90° kulmassa.

Hitsaajan työpiste näkyy kuvassa 13. Hitsaajan selän takana näkyy puhallinsuojaimen suodatin- ja puhallinyksikkö.



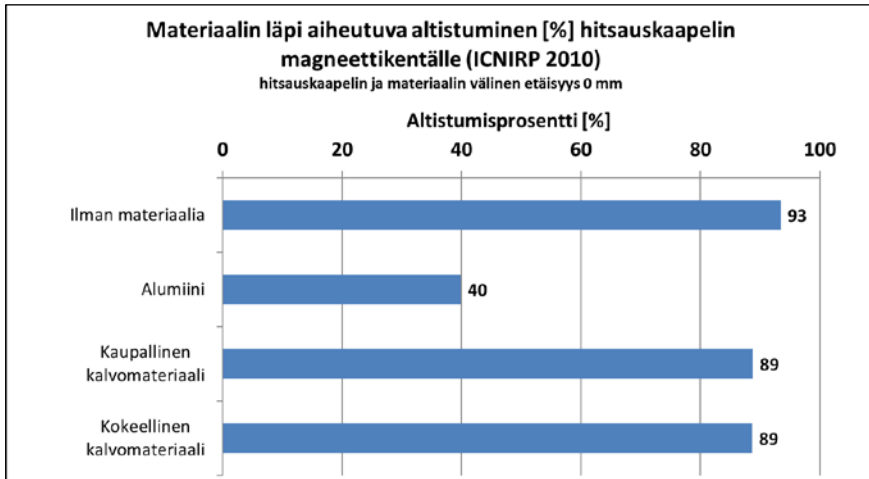
Kuva 13. Hitsaajan työpiste, vasemmalla hitsausvalmiina ja oikealla hitsaaja työssään.

Tuloksia tarkasteltiin myös laskemalla suojausprosentti (kaava 1) siten, että materiaalien kanssa saatuja altistusprosentteja verrattiin ilman materiaalia tehdyn mittauksen tulokseen. Suojausprosentin avulla havainnollistettiin eri materiaalien kykyä suojata altistumiselta.

Taulukossa 6 on esitetty sähkömagneettisen säteilyaltistuksen mittaustulokset. Rinnakkaismittaukset toteutettiin neljällä eri hitsausohjelmalla ja kahdella eri hitsaajalla.

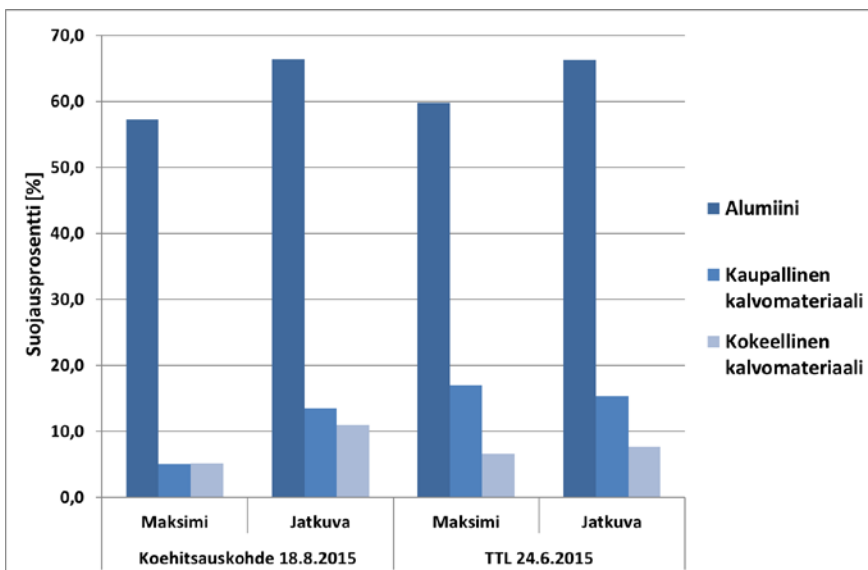
Taulukko 6. Kaupallisen ja kokeellisen kalvomateriaalin läpi syntyvä altistuminen hitsauskaapelin aiheuttamalle magneettikentälle.

Materiaali	Ohjelma	Hitsaaja	Altistusprosentti [%] ICNIRP 2010			
			Maksimi (Peak) alku	loppu	Jatkuva	
1. Ilman materiaalia	1.	1	66	78	60	
		1	75	69	50	
		2	92	71	55	
		ka	78	73	55	
	2.	1	110	72	43	
		2	120	87	46	
		ka	115	80	45	
	3.	1	-	60	48	
		2	84	50	45	
		ka	84	55	47	
	4.	1	116	49	36	
		2	78	51	35	
		ka	97	50	36	
	2. Alumiini	1.	1	28	22	16
			2	-	-	-
			ka	28	22	16
2.		1	39	27	14	
		2	35	26	14	
		ka	37	27	14	
3.		1	39	23	16	
		2	36	-	16	
		ka	38	23	16	
4.		1	39	19	15	
		2	75	21	15	
		ka	57	20	15	
3. Kaupallinen kalvomateriaali		1.	1	75	64	50
			2	-	-	-
			ka	75	64	50
		2.	1	70	68	40
	2		80	78	42	
	ka		75	73	41	
	3.	1	99	56	33	
		2	-	-	-	
		ka	99	56	33	
	4.	1	106	-	33	
		2	-	-	-	
		ka	106	-	33	
	4. Kokeellinen kalvomateriaali	1.	1	65	67	50
			2	-	-	-
			ka	65	67	50
		2.	1	106	76	43
2			81	66	43	
ka			94	71	43	
3.		1	104	52	36	
		2	116	-	35	
		ka	110	52	36	
4.		1	-	-	-	
		2	86	55	33	
		ka	86	55	33	



Kuva 14. Eri materiaalien suojaavuus hitsauskaapelin aiheuttamalta magneettikentältä ICNIRP 2010 suositusten mukaan koehitsauskohteessa.

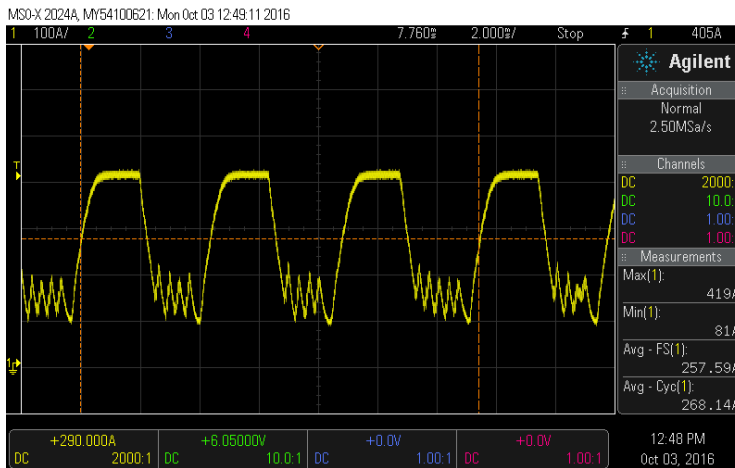
Kuvassa 15 on esitetty vertailun vuoksi koehitsauslaitteessa sekä Työterveyslaitoksella saadut mittaustulokset samoille materiaaleille. Tulokset vastaavat hyvin toisiaan, paitsi kalvomaisten materiaalien suojauksen osalta magneettikentän maksimikohdissa. Syynä lienee erilainen sytytyspulssin virta ja mahdollinen kalvomaisten magneettimateriaalin kyllästyminen.



Kuva 15. Alumiinin, kaupallisen ja kokeellisen kalvomateriaalin suojaavuus hitsauskaapelin aiheuttamalta magneettikentältä ICNIRP 2010 suositusten mukaan, tulokset mittauksista koehitsauskohteessa ja Työterveyslaitoksella.

2.3 Hitsausjohdon kiepillä olemisen vaikutus

Magneettikenttä kasvaa, kun hitsausjohto on jostain syystä kiepillä. Tätä tilannetta mitattiin laittamalla hitsausjohto kiepille lattialle siten, että kierrosmäärää vaihdeltiin. Kuormana oli 300 A keinokuorma. Nimellisvirta oli 268 A ja jännite 26,7 V. Virtaa katkottiin pulssihitsauksen simuloimiseksi. Virran alaraja oli 81 A ja yläraja 419 A. Vertailutuloksena oli myös tavanomaisesti mitattu magneettikenttä yhdestä johdosta 90 asteen kulmassa.



Kuva 16. Mittauksissa käytetty pulssi ja sen ominaisuudet.

Kuvassa 16 on esitetty mittauksissa käytetty pulssi ja sen ominaisuudet. Pulssi on ajettu keinokuormaan, ja se vastaa mahdollisimman tarkasta oikeaa tilannetta.



Kuva 17. Hitsausjohto on kiepillä ja magneettikenttä mitataan kiepin keskeltä.

Taulukossa 7 on annettu altistumisarvoja erilaisilla koeasetelmilla. Koeasetelmissa on ollut mukana myös kiepillä olevia johtoja. Kiepillä olevan johdon koeasetelma näkyy kuvassa 17.

Taulukko 7. Altistumisarvoja erilaisilla koeasetelmilla mukaan.

Koeasetelma					ICNIRP 2010-mukaiset arvot	
Kuvaus	Materiaali	Etäisyys	Kulma	Hitsausmenetelmä	Huippuarvo	Jatkuva arvo
Perusmittaus	-	0	90 astetta	Keinokuorma	105 %	68 %
Mittaus johdosta	-	0	0 astetta	Keinokuorma	168 %	75 %
Perusmittaus	Alumiini	0	90 astetta	Keinokuorma	38 %	19 %
Perusmittaus	Kokeellinen kalvomateriaali	0	90 astetta	Keinokuorma	100 %	70 %
Perusmittaus	Kaupallinen lalvomateriaali	0	90 astetta	Keinokuorma	88 %	62 %
400 mm kieppi, 5 kierrosta	-	keskeltä	-	Keinokuorma	728 %	514 %
400 mm kieppi, 8 kierrosta	-	keskeltä	-	Keinokuorma	961 %	668 %
400 mm kieppi, 8 kierrosta	-	keskeltä	-	Keinokuorma, oikosulkusimulaattori (6 Hz)		1240 %

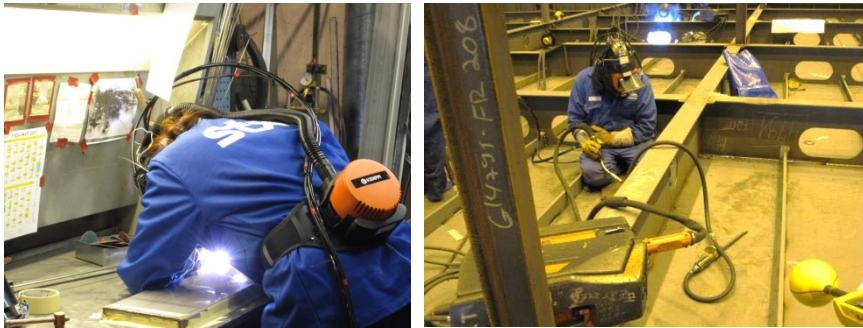
2.4 Sähkömagneettisten kenttien mittaukset työpaikalla

Telakatyöpaikalla toteutettujen sähkömagneettisten kenttien mittausten tavoitteena oli tarkastella todellisissa, hitsausilanteissa syntyviä altistuksia. Mittauksia tehtiin satunnaisotannalla telakan eri pisteistä.

Sähkömagneettista säteilyä mitattiin hitsauskaapelista Narda ELT-400 -mittalaitteella. Mittalaite ilmoitti altistusprosentin. Sähkömagneettista säteilyä mitattiin Narda ELT-400 -mittalaitteella. Mittalaite ilmoitti altistusprosentin painotetun huippuarvon menetelmällä, Tässä menetelmässä huomioidaan signaalin muodostavien spektrikomponenttien värähtelylaajuudet ja vaiheet.

Mitattu aaltomuoto painotetaan taajuusriippuvaisilla toimenpidetasoilla ja altistusprosentti muodostetaan painotetun aaltomuodon värähtelylaajuuden huippuarvon pohjalta. Altistusprosentti määritettiin ICNIRP Guidelines 2010 antamien suositusten mukaan (ICNIRP 2010). Mittauksissa määritettiin hitsauksen aiheuttama maksimioppiikki ja hitsauksen aikainen jatkuva altistustaso.

Mittauskohteet valittiin telakalla satunnaisesti mittauspäivänä työn alla olleista kohteista. Mittauskohteita oli yhteensä kuusi (kuvat 18 - 21), joista yksi TIG-hitsausta (mittauspiste 1, ohutlevypaja), yksi pistehitsausta ja muut MIG-hitsausta.



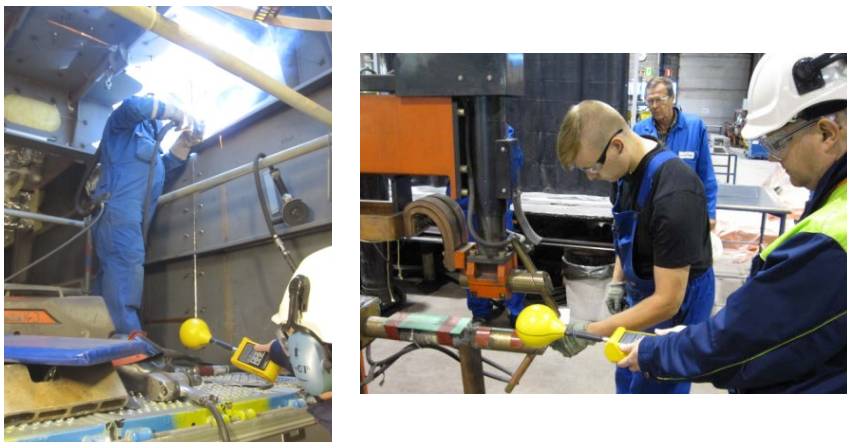
Kuva 18. Mittauspiste 1, ohutlevypaja (vas.) ja mittauspiste 2, 1. lohko (oik.)



Kuva 19. Mittauspiste 3, 2. lohko (vas.) ja käsihitsaus, 6. halli (oik.)



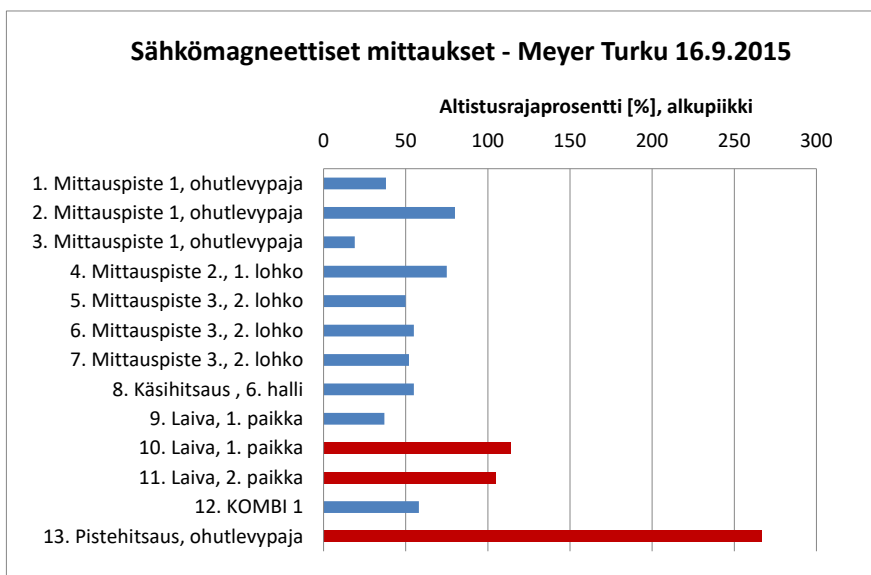
Kuva 20. Laiva, 1. paikka (vas.) ja laiva, 2. paikka (oik.)



Kuva 21. KOMBI 1 (vas.) ja pistehitsaus, ohutlevypaja (oik.)

Mittaustulokset on esitetty kuvassa 22. Altistuminen oli pääsääntöisesti selvästi alle toimenpiderajan. Ainoastaan muutamissa kohteissa, kuten esimerkiksi laivalla hitsauksia tehtäessä arvot kohosivat hieman sen yli. Tämä johtui todennäköisesti pitkistä kaapeleista ja niiden vaatimista ns. kovemista asetusarvoista.

Eriytynen tapaus oli ohutlevypajan pistehitsauslaite. Se ei varsinaisesti kuulunut MIG-hitsaukseen keskittyneeseen hankkeeseen, mutta teimme siitä myös samalla vertailumittaukset. Teimme myös sille käyttösuositukset ja muutosehdotuksia sähkömagneettisten kenttien vaikutusten rajoittamiseksi työtekijöihin.



Kuva 22. Altistusrajaprocentti eri mittauspisteissä.

3. Hitsauksen ääni, siltä suojautuminen ja sen hyötykäyttö

Hitsauksesta ja sen oheistoiminnoista aiheutuu melua työpaikalla. Meluntorjunnan toimenpiteet työpaikalla on määritelty laissa. Kun meluasetuksen (VNA 2006) ylempi toiminta-arvo [$L_{Aeq,8h} = 85\text{dB(A)}$] ylittyy, työnantaja on velvollinen laatimaan meluntorjuntaohjelman (taulukko 8) . Alemmalla toiminta-arvolla [$L_{Aeq,8h} = 80\text{dB(A)}$], työnantaja on mm. velvollinen antamaan kuulonsuojaimet työntekijän käyttöön.

Taulukko 8. Meluasetuksen toiminta- ja raja-arvot.

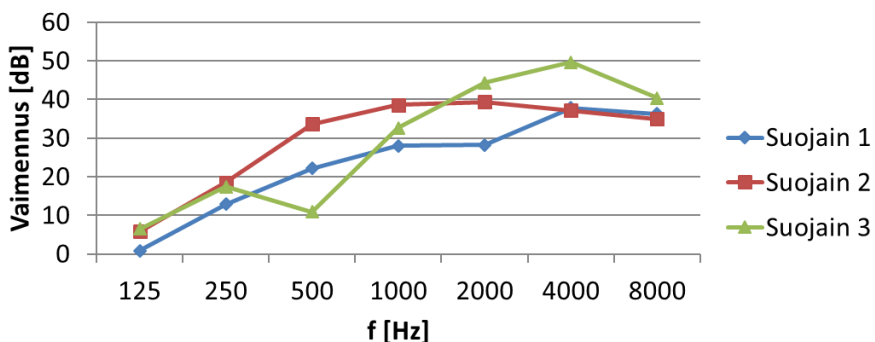
Lukuarvo	Merkitys asetuksessa
<p>80 dB(A) ja äänenpaineen huippuarvo 135 dB(C) (impulssimelu)</p> <p><i>Arvioidaan ilman kuulonsuojainten vaikutusta.</i></p>	<p>Alempi toiminta-arvo</p> <p>Toiminta-alueen ylittyessä on tarpeen toteuttaa direktiivin tarkoittamia ehkäiseviä toimenpiteitä työntekijöiden kuulovaurioriskien ehkäisemiseksi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Työntekijöillä on oikeus asianmukaisiin, hyvin istuviin kuulonsuojaimiin. • Työntekijöiden, joiden altistuminen ylittää alemmat toiminta-arvot, on voitava käydä ennaltaehkäisevässä kuulotestissä. • Työntekijöille on tiedotettava riskeistä ja oikeuksista kuulotesteihin/tarkastuksiin.
<p>85 dB(A) ja äänenpaineen huippuarvo 137 dB(C) (impulssimelu)</p> <p><i>Arvioidaan ilman kuulonsuojainten vaikutusta.</i></p>	<p>Ylempi toiminta-arvo arvioidaan ilman kuulonsuojainten vaikutusta. Tämä on sama kuin Suomen nykyinen 85 dB(A):n työhygieeninen raja-arvo. Riskin vähentämiseksi tarvitaan lisätoimenpiteitä:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Työnantajan on laadittava meluntorjuntaohjelma ja annettava työntekijöiden käyttöön työhön sopivat kuulonsuojaimet. • Työntekijä veloitetaan kuulonsuojainten käyttöön. • Työnantajan on edistettävä kaikin mahdollisin keinoin kuulonsuojainten käyttöä • Työpaikoilla on merkittävä alueet, joissa tällaista altistumista voi esiintyä ja niille pääsyä on rajoitettava.
<p>87 dB(A) ja äänenpaineen huippuarvo 140 dB(C) (impulssimelu)</p> <p><i>Arviossa huomioidaan kuulonsuojainten vaikutus.</i></p>	<p>Raja-arvo. Tätä arvoa ei saa ylittää.</p>

Ensisijaisesti tulee pyrkiä alentamaan äänitasoja työjärjestelyillä ja teknisin keinoin, mutta usein kuulonsuojaimet joudutaan ottamaan käyttöön joko torjumaan jäännösriskiä tai tilapäisesti ensiavuksi, kunnes torjuntatoimenpiteet saadaan tehtyä. Meluntorjuntaohjelmaan kuuluu olennaisena osana työntekijöiden koulutus ja opastus kuulonsuojainten käyttöön, huoltoon ja säilytykseen.

Kuulonsuojaimet vaimentavat enemmän suuria kuin pieniä taajuuksia, mutta niiden vaimennuksen suuruus ja vaimennusvaste voivat poiketa toisistaan. Kuulonsuojainten vaimennusvastetta voidaan kuitenkin räätälöidä sopivaksi esimerkiksi hitsausmelun havainnointiin. Esimerkki kuulonsuojaimien erilaisista vaimennuksista on kuvassa 23. Kuulonsuojaimien vaimennukset voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Kuulonsuojaimina käytetään yleisesti kupu- että tulppasuojaimia.

Hitsauksen aikana työntekijä tarkkailee ympäristöä ja hitsaustyön sujuvuutta, ja joissain tapauksissa tämä on myös syy, miksi kuulonsuojaimia ei käytetä. Kupusuojainten vaimennus voi heiketä, kun käytetään useita pään alueen suojaimia. Tätä ongelmaa ei ole tulppasuojaimille, mutta 10 % - 15 % ihmisistä on korvakäytävä, johon tulppaa ei voi asentaa. Lisäksi perinteisillä kertakäyttötulpilla saatava teho on huono johtuen siitä, että asennus epäonnistuu helposti. Noin 20 %:lla tapauksissa asennus on asiallinen ja vaimennus on riittävä.

Kuulonalenema on hitsaajilla yleinen ammattitauti. Hitsausmelu voi olla kuulolle vahingollista, ja jos kuulonsuojaimia ei huomata tai voida käyttää (ei mahdu esimerkiksi kunnolla maskin alle), niin kuulon vahingoittuminen on todennäköistä. Vuonna 2011 meluvammoja metallien ja metallituotteiden alalla todettiin 143 kappaletta. Tyypillisesti meluvamman kehittymiseen menee yli 20 vuotta, joten pitkäjänteinen ja oikeaoppinen suojaus on melutyössä tärkeitä. Jos meluvamma kaikesta huolimatta syntyy, se lisää haasteita kuulonsuojaukseen ja työssä selviytymiseen.



Kuva 23. Esimerkki kolmen erilaisen kupumallisen kuulonsuojaimen vaimennuksesta taajuuden funktiona. Data perustuu kuulonsuojainvalmistajien ilmoittamiin vaimennuksiin.

Meluvamma vaikuttaa myös välillisesti, huonokuuloisuus on myös tapaturman riskitekijä. Tutkimuksen mukaan vaikeasti huonokuuloisella on 25 % suurempi riski joutua onnettomuuteen kuin normaalikuuloisella, kun melutaso on alle 90 dB(A). Kun melutaso on yli 90 dB(A), normaalikuuloisella on 5% kohonnut riski ja huonokuuloisella 35% kohonnut riski joutua onnettomuuteen (Picard ym. 2008). Lisäksi huonokuuloisilla onnettomuuden seuraukset olivat vakavampia.

Valtioneuvoston asetus (85/2006) (VNA 2006) työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta antaa määräyksiä kuulonsuojaimista. Työnantajan on otettava riskinarvioinnissa huomioon mahdollisuus käyttää asianmukaisia kuulonsuojaimia ja tarpeellisilla toimenpiteillä varmistettava kuulonsuojainten asianmukaisesta käytöstä ja toimenpiteiden tehokkuuden tarkastamisesta. Kuulonsuojainten on oltava sopivat tehtävään työhön.

Altistustilanteet työpaikoilla saattavat olla monimutkaisia ja monesti pelkät kuulonsuojaimet eivät riitä, vaan tarvitaan erilaisia suojaimia eri vaaroja vastaan, jolloin suojainten yhdistäminen vaatii ymmärrystä siitä mitä suojaimia voidaan yhdistää ja miten. Myös esim. melun ja erilaisten kemikaalien yhteisvaikutukset on otettava huomioon, ja esim. hitsaajilla hitsaushuuruissa saattaa olla aineita, jotka ovat korvalle myrkyllisiä (ototoksisia).

Käytännössä työpaikoilla kuulonsuojainten käyttö on tutkimusten mukaan heikkoa. Vähäinenkin kuulonsuojainten käytön laiminlyönti vaikuttaa suojaukseen: jo puolen tunnin käyttämättömyys työpäivän aikana vähentää 25 dB vaimentavan suojaimen todellisen suojauksen 12 desibeliin (Suomen standardisoimisliitto 2005). Tällainen pudotus saattaa syntyä, jos kuulonsuojaimia raotetaan päivän aikana keskusteluja varten, tai jos suojaimet ovat huonosti asetettuja. Tämä on tavallista varsinkin kertakäyttöisten tulppasuojainten ollessa kyseessä (Koskinen ym. 2013). Tärkeimmät muut syyt kuulonsuojainten käyttämättömyyteen ovat käyttäjien tuntema eristyneisyyden tunne ja kuulonsuojainten aiheuttama epävarmuus, joka johtuu suuntakuulon ja signaalien kuulemisen heikkenemisestä (Toppila ym. 2009). Usein syynä näihin haittoihin on huonosti tehty suojainten valinta (Toppila 2007).

Kun verrataan kuulonsuojainten vaimennusta työpaikalla laboratoriossa mitattuihin arvoihin, vaimennus työpaikalla on yleensä huonompi. Tämä johtuu monesta syystä: kuulonsuojaimet asetetaan väärin, eri suojaimet eivät toimi kokonaisuutena tai suojaimet ovat rikkiäiset. Tutkimuksessa, joka tehtiin terästehtaalla, huomattiin että kuulonsuojainten käytössä suurimmat ongelmat olivat soveltumattomuus puheenymmärrykseen ja todellisen vaimennuksen heikko teho. Tulppasuojaimilla suurin tekijä oli väärä asennustapa ja kupusuojaimilla suojainyhdistelmien toimimattomuus (Koskinen ym. 2013). Kun kuulonsuojaimen valinta on oikein tehty ja suojain on sopiva käyttäjälle ja kyseiseen työhön, kuulonsuojainta käytetään koko melussaoloaika.

Kuulonsuojainten valinta huonokuuloisille on haastavaa: liian tehokas suojaus eristää huonokuuloisen muusta ympäristöstä ja suojaimet jäävät käyttämättä. Liian vähäinen suojaus altistaa henkilön taas lisäkuulovammalle. Kommunikaation lisäksi suuntakuulon säilyttäminen huonokuuloisilla on hankalaa kuulonsuojainten kanssa. Yleensä kuulonsuojaimet, joissa on tasainen vaimennus kaikilla taajuuksilla tai tasoriippuvuusominaisuus, koetaan parhaina vaihtoehtoina, kun kuulo on alentunut

(Ruhala ym. 2012). Nämä ongelmat luovat tarpeen kehittää kuulonsuojainten valintaprosessia siten, että painopiste valinnassa on suojainten sopivuus yksilölle.

Standardi SFS-EN 458 (Suomen standardisoimisliitto 2005) kuvaa miten arvioidaan, valitaan, huolletaan ja pidetään kuulonsuojaimia. Yleisesti kuulonsuojainten käyttöaste on noussut jatkuvasti. Toisaalta, mitä monimutkaisempi ja hankalampi tilanne on, sitä tärkeämpää on suojainten oikea valinta. Jos valintaa ei ole tehty oikein, suojaimia ei käytetä. Kuulonsuojainten vähäinen käyttö näkyy varsinkin kommunikaatiota vaativissa työtehtävissä, joiden määrä nykyisessä työelämässä lisääntyy jatkuvasti.

Kuulonsuojainten käyttöaste tulee saada mahdollisimman korkeaksi: suojaimen on rajoitettava kommunikointia mahdollisimman vähän ja puheenymmärrys on säilytettävä. Suojaimista tulee huolehtia oikein ja valmistajan ohjeistusta on käytettävä. Työntekijöitä tulee opastaa asianmukaisesti. Suojainten käyttöä tulee arvioida säännöllisesti ja jos suojaimia ei käytetä, niiden käyttämättömyyteen tulee puuttua ja syyt selvittää.

Eri suojainten yhdistelmät eivät saa heikentää kuulonsuojainten suojauskykyä. Esimerkiksi jos käytetään yhtä aikaa hitsausmaskia ja kuvullisia kuulonsuojaimia, on pidettävä huoli siitä, että mikään suojaimen toinen osa ei synnytä rakoa tiivisteiden ja pään väliin. Suojainten aiheuttamat mahdolliset lisävaarat tulee kartoittaa.

On huomioitava myös se, että kuulonsuojainten pakkauksissa ilmoitetut vaimennukset perustuvat oletukseen, että ainakin 84 % käyttäjistä saavuttaa ilmoitetun vaimennuksen. Reunaehtona on, että suojaimet on asetettu oikein, niitä käytetään oikein, ja niiden valinta on tehty oikein (esim. pieneen korvakäytävään on valittu sopivan kokoinen tulppasuojain, jos tulppia on monta eri kokoa). Jotta kommunikaatiokyky säilyisi, kuulonsuojain ei saa vaimentaa liikaa. Standardin SFS-EN 458 (Suomen standardisoimisliitto 2005) mukaan suojaimen sisäpuolisen melun tulisi noudattaa taulukkoa 2.

Taulukko 9. Kuulonsuojaimen sisäpuolinen äänitaso SFS-EN 458:n mukaan. L_{act} on kansallinen toiminta-arvo, jonka ylittyessä kuulonsuojaimia tulee käyttää.

A-painotettu efektiivinen äänitaso korvassa, (L'_A [dB re 20 μ Pa])	Suojausluokitus
$L'_A > L_{act}$	Riittämätön
$L_{act} \geq L'_A > L_{act} - 5$	Hyväksyttävä
$L_{act} - 5 \geq L'_A \geq L_{act} - 10$	Hyvä
$L_{act} - 10 > L'_A \geq L_{act} - 15$	Hyväksyttävä
$L'_A < L_{act} - 15$	Liian suuri, ylisuojaus



Kuva 24. Tosipäämikrofonin sijoitus hitsausmaskiin.

3.1 Äänitallenteet ja -mittaukset

Äänitallennuksien ja niistä tehtävien analyysien avulla haluttiin selvittää minkälainen hitsaajan ääniympäristö käytännössä on. Tallennuksia tehtiin sekä koehitsauskohteessa että työpaikalla.

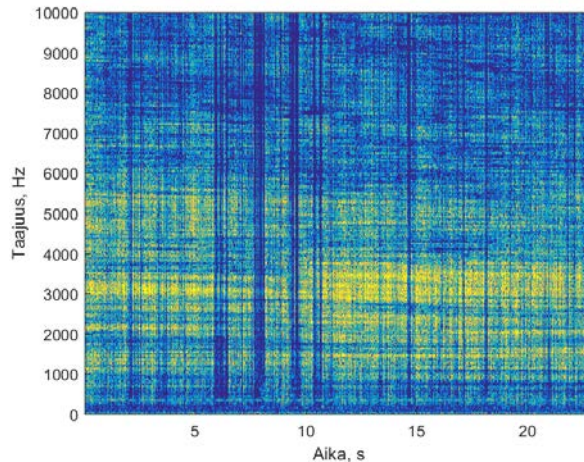
Äänitallennuksissa käytettiin kahta Sennheiser KE 4-211-2 -elektreettimikrofonia, joita käytetään yleensä korvissa mittausmikrofoneina ja joita siksi nimitetään tosipäämikrofoneiksi. Tosipäämikrofonit kiinnitettiin hitsaajan maskiin lähelle korvia, jotta niiden tuottama signaali kuvaisi mahdollisimman hyvin hitsaajan korviin kohdistuvaa äänenpainetta (kuva 24). Tosipäämikrofoneille on rakennettu signaalimuokkain, jota käytettiin tallennuksissa. Signaalimuokkaimen tuottamat signaalit tallennettiin RION DA-40 -tallentimella.

Tosipäämikrofonien lisäksi käytettiin Brüel & Kjær 4100D -keinopäätä, joka sijoitettiin hitsauspaikan lähelle ja jonka tuottamat signaalit tallennettiin samalla tallentimella (kuva 25). Keinopäätä tallennettu ääni vastaa hitsausta läheltä seuraavan henkilön kokemusta. Ääniä tallennettiin Kempin koulutustilassa. Hitsattavana oli 2 mm ja 4 mm paksuista alumiinia ja 8 mm paksuista hiiliterästä. Hitsausprosesseina olivat pulssi- ja tasavirta-MIG.



Kuva 25. Keinopään sijoitus koehitsauskohteessa.

Äänisignaalit analysoitiin ja äänenpainetasot laskettiin MATLAB- ja R-ohjelmointikielillä tehdyillä ohjelmilla (R Core Team 2015). Psykoakustiset tunnusluvut laskettiin Brüel & Kjær 7968 -äänenlaatuohjelmalla. Kuvassa 26 on esimerkki analysoidusta hitsausäänen spektrogrammista (äänen sisältämistä taajuuksista ajan funktiona). Siinä näkyvät selvät voimakkaat komponentit alle 6 kHz taajuuksilla, erityisesti noin 3 kHz kohdalla. Lisäksi siinä näkyy selvästi katkoksia äänessä, jotka johtuvat hitsauksen pienistä katkoksista.

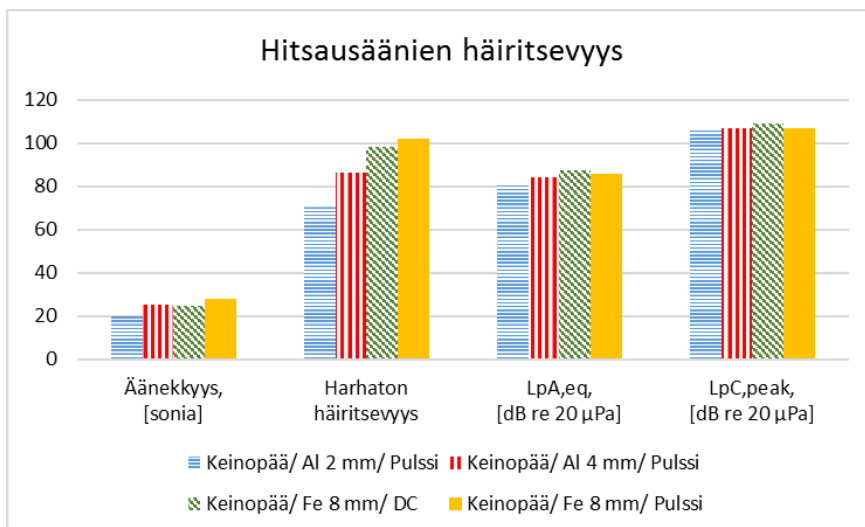


Kuva 26. Hitsausäänen spektrogrammi.

Hitsausääninäytteistä laskettiin myös äänenlaadullisia (psykoakustisia) suureita. Taulukossa 10 ja kuvassa 27 esitetty äänenlaatusuureita. Kuvassa 27 on esitelty ainoastaan keinopäällä tehdyt mittaustulokset, koska tosipään kalibrointi ei ole yhtä tarkka kuin keinopään ja tosipään mahdolliset indusoituvat hitsausvirrat vääristävät tuloksia.

Taulukko 10. Hitsausääninäytteistä määritetyt äänenlaatusuureet.

Mikrofoni	Materiaali	Prosessi	Äänekkyyss, soni	Harhaton häiritsevyys	$L_{pA,eq}$, dB re 20 μ Pa	$L_{pC,peak}$, dB re 20 μ Pa
Tosipää	Al 2 mm	Pulssi	58,4	251	87,7	116
Tosipää	Al 4 mm	Pulssi	73,5	321	89,8	117
Tosipää	St 8 mm	DC	71,5	362	93,6	118
Tosipää	St 8 mm	Pulssi	82,4	387	93,7	116
Keinopää	Al 2 mm	Pulssi	20,0	70,4	81,7	106
Keinopää	Al 4 mm	Pulssi	25,1	86,1	84,2	107
Keinopää	St 8 mm	DC	24,7	98,4	87,4	109
Keinopää	St 8 mm	Pulssi	27,8	102	86,0	107



Kuva 27. Hitsausäänien äänenlaatusuureita ja häiritsevyyden arviointia keinopäällä tehdyissä tallenteissa.

Kuvasta 27 näkee, että erot eivät ole suuria mutta silti merkittäviä. Häiritsevyyttä on arvioitu neljän eri suureen avulla. $L_{pA,eq}$ kuvastaa keskimääräistä äänenpainetasoa, ja sitä on konventionaalisesti käytetty äänen arviointiin. $L_{pC,peak}$ kuvaa äänessä esiintyviä huipputasoja. Äänekkyys kuvaa ihmisen kokemaa melun äänekkyyttä. Harhaton häiritsevyys (Unbiased Annoyance) on yhdistelmäsuure useasta äänenlaadun perussuureesta (Zwicker 1991) ja se pyrkii kuvaamaan melun häiritsevyyttä. Keskimääräisen äänenpainetason muutokset ovat pieniä, mutta sekä äänekkyys että harhaton häiritsevyys muuttuvat selviten. Tämän tarkastelun perusteella häiritsevin ääni oli 8 mm terästä hitsattaessa pulssihitsauksella. Samanlaista terästä hitsaava dc-hitsaus on arvioinnin perusteella hieman vähemmän häiritsevää, vaikka se sekä keskiäänitasossa että piikkitasossa mitattuna on suurempi.

Ääniä tallennettiin myös Meyer Turun ohutlevypajan ruostumattomien levyjen hitsauspaikassa ja lohkotuotantohallissa MIG-hitsauspaikalla. Ruostumatonta terästä (Inox) hitsattiin TIG-menetelmällä, joka on hyvin hiljainen eikä sen ääni juurikaan erotu taustamelusta, joka aiheutuu yleisilmanvaihdosta, muiden työpisteiden tuottamasta melusta, hitsaustyöpöydän kohdepoistosta sekä valaistuksesta. Lohkotuotantohallissa käytetty MIG-menetelmä on taustamelua äänekkäämpi, mutta lohkotuotantohallissa merkittävästi melua aiheuttavia työvaiheita hitsauksen lisäksi ovat lohkolevyjen talttaaminen ja hionta. Kaikissa tapauksissa lohkotuotantohallissa hitsattiin tasavirralla (dc-hitsaus).



Kuva 28. Ruostumattoman teräksen hitsausta.

Äänisignaalit analysoitiin ja äänenpainetasot laskettiin VTT:ssä MATLAB- ja R-ohjelmointikielillä tehdyillä ohjelmilla (R Core Team 2015). Psykoakustiset tunnusluvut laskettiin Brüel & Kjær Type 7698 -äänenlaatuohjelmalla. Taulukossa 11 ja 12 on esitetty analyysituloksista lasketut keskiarvot. Harhaton häiritsevyys laskettiin kaavalla

$$N_{10}^{1,3} \left(1 + 0,25(S - 1) \log_{10}(N_{10} + 10) + \frac{0,3F(1+N_{10})}{N_{10}+0,3} \right), \quad (2)$$

jossa N_{10} on äänekkyyden 10 % kvantiili, S on terävyys ja F on vaihteluvoimakkuuden keskiarvo. (Zwicker 1991). Laskentamenetelmät olivat

- äänekkyyden: Zwicker / DIN 45631
- terävyys: Aures (Fastl & Zwicker 2007)

Vaihteluvoimakkuus on laskettu yhtälöllä

$$F = \sum^{24} F'(z), \quad (3)$$

jossa

$$F'(z) = \frac{0,032\Delta L(z)\Delta z}{f_{mod}(z)/4+4/f_{mod}(z)}, \quad (4)$$

jossa f_{mod} on modulaatiotaajuus

$$\Delta L = 20 \log \left(\frac{N'(1)}{N'(99)} \right), \quad (5)$$

jossa $N'(1)$ on äänekkyyksiheyden 1 % kvantiili ja $N'(99)$ on äänekkyyksiheyden 99 % kvantiili.

Taulukko 11. Hitsausääninäytteistä määritetyt suureet. Inox = ruostumaton teräs, St= tavallinen teräs.

Mikrofoni	Materiaali	Äänekkyyds, soni	Harhaton häiritsevyys	$L_{pA,eq}$	$L_{pC,peak}$
Keinopää	Inox	17,1	43,1	66,3	87,8
Keinopää	St	25,4	90,9	85,6	108

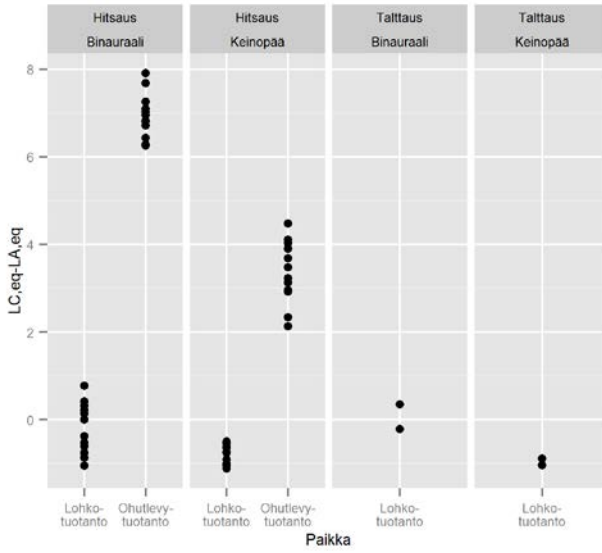
Ruostumattoman teräksen hitsaus TIG-hitsauksella on varsin hiljaista, joka näkyy myös mittaustuloksissa. Tavallisen teräksen hitsauksen arvot ovat hyvin samansuuntaisia kuin laboratorio-olosuhteissa tehdyissä mittauksissa (taulukko 10 ja kuva 27). Tulosten perusteella ääni-olosuhteita on mahdollista arvioida siis myös laboratorio-olosuhteissa.

Keinopäällä tallennetuille äänille tehtiin myös diffuusin kentän korjaus, joka pitäisi lukea mukaan, kun tuloksia käytetään työpaikkamelun arvioinnissa. Korjaukset on esitetty taulukossa 12 alaindeksillä DFC. Kun diffuusin kentän korjaus luetaan mukaan, keinopäällä saatu äänitaso on lähempänä sitä arvoa, joka äänikentässä olisi vallinnut, jos keinopäätä ei olisi ollut. Keinopään diffuusin kentän korjaus toteutettiin MATLAB-ohjelmassa keinopään valmistajan antamia korjauskertoimia hyödyntäen.

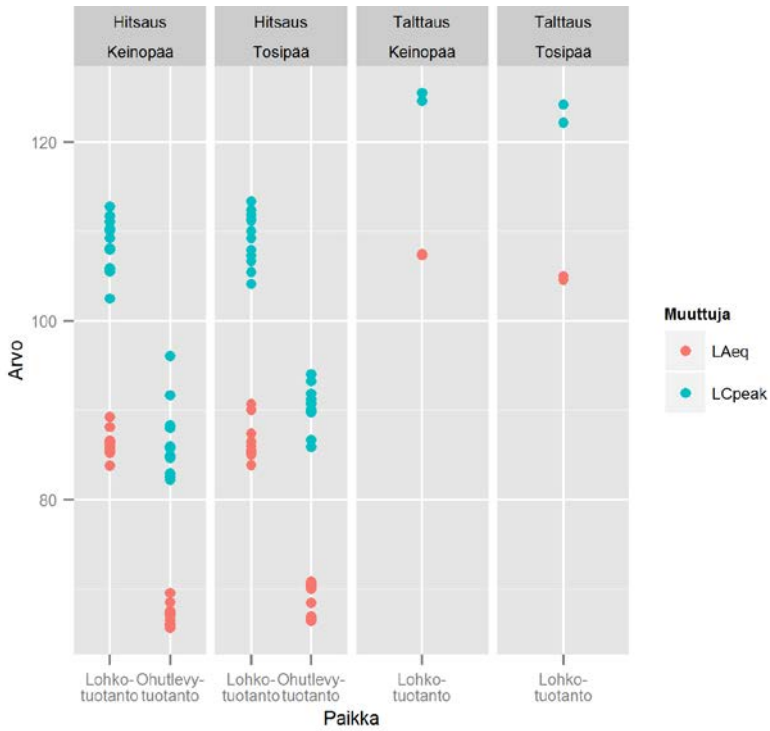
Kuvissa 29 ja 30 on esitetty näytteiden äänitasojen jakaumat. Erityisen mielenkiintoisia tietoja ovat kuvassa 30 esitetyt kokonaisäänitasot, joiden perusteella nähdään selkeästi miten paljon voimakkaampi esimerkiksi talttausmelu on verrattuna hitsausmeluun. Juuri tästä syystä työpaikalla pitäisi pitää koko ajan kuulonsuojaimia, koska talttausmelulähteiden ajalliset kestot ja ajankohdat ovat satunnaisia. Tämä puoltaa käytössä mukavien tulppasuojaimien käyttöä.

Taulukko 12. Hitsausäänien ekvivalenttitasoja (eq) ja huipputasoja (peak)

Mikrofoni	Materiaali	$L_{pA,eq,DFC}$	$L_{pC,peak,DFC}$	$L_{pC,eq} - L_{pA,eq}$
Keinopää	Inox	63,5	84,0	3,4
Keinopää	St	80,5	103	-0,8



Kuva 29. Ääninäytteiden äänitasojen erotus, $L_{C,eq}-L_{A,eq}$ (dB re 20 μ Pa)



Kuva 30. Ääninäytteiden äänitasot (dB re 20 μ Pa).

EN 458 standardin mukaisen suojainten valinnassa käytettävän HML-pikamenetelmän mukaan melu jaetaan kahteen eri luokkaan: HM- ja L-luokka eri taajuuspainotusten mukaisesti. HM-luokkaan kuuluvat työpaikat, joissa $L_C - L_A < 5$ dB. L-luokkaan kuuluvat työpaikat, joissa $L_C - L_A \geq 5$ dB. Valittaessa kuulonsuojainta HM-luokan meluun käytetään M-indeksiä ja L-luokan meluun L-indeksiä, jotka saadaan kuulonsuojainten käyttöohjeesta. Menetelmässä mittauksista tarvitaan siis tieto $L_C - L_A$ tasojen erotuksesta ja L_{Aeq} -altistustaso. Kuvien 29 ja 30 mukaan ohutlevytuotannossa valinta pitäisi tehdä L-indeksin perusteella, tosin, äänitason perusteella suojainta ei välttämättä tarvita. Muissa tapauksissa valittaisiin kuulonsuojain M-indeksin mukaan eli $L_{Aeq} - M$ - indeksi = äänitaso suojaimen alla. Valinnassa tulee pyrkiä siihen, että suojaimen alla oleva äänitaso on 75 - 80dB(A). Havainnot kuuluvuudesta määrittelevät puolestaan muita ominaisuuksia, jotka hitsaajan kuulonsuojaimella tulisi olla.

Tosipäämikrofonien herkkyys sähkömagneettisille häiriöille saattoi olla liian suuri hitsausääniä tarkkaan tallennukseen. Herkkyttä sähkömagneettisille kentille ja sähkömagneettista herätettä ei mitattu, joten häiriöiden osuutta tallennetuissa signaaleissa ei voida määrittää. Häiriöherkyydestä saatiin viitteitä TIG-hitsauksen tallenteista, joissa oikean ja vasemman tosipäämikrofonin signaaleissa esiintyy näytteen tarkkuudella samanaikaiset lähes koko mitta-alueen suuruiset askeleet, jotka vaimenevat hitaammin kuin ääniperäisen signaalin voi odottaa vaimenevan.

3.2 Kuulonsuojainkokeilut

Koska hitsaus perustuu sekä kommunikaatioon työparin ja muiden apuhenkilöiden kanssa sekä hitsausäänen kuunteluun, kuulonsuojainten käyttö hitsaajilla on haasteellista. Hitsauksen ääni on impulssimaista, ja monesti hitsaaja ei edes hahmota, että kuulonsuojelu olisi perusteltavaa. Lisäksi hitsausmaski ja muut pään suojaimet vaikeuttavat usein kupusuojainten käyttöä, vaikkakin kupu toisaalta suojaa korvan aluetta hitsauskipinöiltä ja kuumuudelta.

Suojainten valinnalla voidaan vaikuttaa sopivan suojaimen löytymiseen, jotta kommunikaatio säilyy ja varoitusäänet kuuluvat. Jos hitsaajalla ei ole vakavaa kuulovammaa, tasaisesti kaikkia taajuuksia vaimentavat kuulonsuojaimet soveltuvat todennäköisesti parhaiten työhön. Näillä hitsaaja kuulee myös hitsauksen äänen parhaiten ja kuulee ohjeet oikein, jotta esim. hionnan määrä vähenee, kun jälkeä ei jouduta korjaamaan. Jos kuulovamma on vakava, silloin tutkimustulosten (Ruhala ym. 2012) mukaan tasoriippuva kuulonsuojain on kommunikaatiotyöhön ainoa vaihtoehto.

Kuulonsuojainten tulee olla sopivat tehtyyn työhön ja mukavat käytössä. Tämän vuoksi käyttäjille tulee tarjota erilaisia vaihtoehtoja kokeiltavaksi. Kuulonsuojainten tulee olla henkilökohtaiset. Koekäytön ja aikaisemman kokemuksen perusteella voidaan valita jokaiselle sopivat suojaimet. Kuulonsuojaimia valittaessa pitää myös huomioida sairaudet, esim. huonokuuloisten suojaaminen on hankalampaa ympäristössä jossa on kommunikaatiotarve tai varoitussignaaleja (Toppila ym. 2009; Toppila 2009)

Käytössä tulee huolehtia siitä, että kuulonsuojaimia säilytetään oikein, koko melussa oloajan, niitä huolletaan ja kuntoa tarkkaillaan (Suomen standardisoimisliitto 2005). Tiivisteet tulee vaihtaa tarvittaessa ja rikkiäiset suojaimet vaihtaa uusiin. Kun käytetään kertakäyttöisiä tulppia, niitä tulee aina olla saatavilla. Kaikki työntekijät tulee kouluttaa kuulonsuojainten käyttöön ja opettaa huoltamaan suojaimiaan. Isoissa yrityksissä on yleensä keskitetty suojainten huolto.

Henkilönsuojainten käytössä on kyse ihmisten turvallisuudesta. Suojain ei auta, jos se on väärin asennettu tai jos se on vääränlainen. Kuulonsuojainten väärä valinta voi pahimmillaan aiheuttaa kuolemaan johtavan onnettomuuden (varoitussignaalia ei kuulla). Tämä vastuu tulee tunnistaa suojainten valintaprosessissa ja suhtautua siihen vakavasti.

Kertakäyttöisten tulppasuojainten asentamiseen voidaan vaikuttaa lisäkoulutuksella ja rajoittamalla niiden käyttöä töissä, joissa kuulonsuojaimia ei tarvita koko aikaa, ja jolloin tulppia ei malteta laittaa oikein jokaisella kerralla. Tulppasuojaimista muotoon valetut menevät yleensä oikein korvaan, ja niiden suojaustehoon voi luottaa, kun tulppia huolletaan oikein. Kupusuojaimissa tulee kiinnittää huomiota suojainten yhteiskäyttöön, ja siihen, että aina ne eivät maskin kanssa sovi yhteen. Vaikka kaikkia suojainyhdistelmiä ei käytykään läpi, on ilman muuta selvää, että muidenkin yhdistelmien täytyy toimia ja ne tulee ottaa huomioon työpaikkakohtaisesti.

Tässä hankkeessa keskityttiin tulppasuojaimiin, joissa on useita eri vaihtoehtoja sekä koon että tasaisen vaimennuksen osalta. Tulppa on myös hyvä vaihtoehto, jos maskin alle ei saa kupusuojaimia. Tulpan tasainen vaimennus tarkoittaa, että tulppa vaimentaa eri taajuuksilla suurin piirtein saman verran. Täysin suoraa vaimennuskäyrää on lähes mahdotonta toteuttaa.

Ensimmäinen kokeilu suoritettiin hitsauslaboratoriossa, jossa tilannetta pystyttiin hyvin kontrolloimaan ja vertailemaan eri malleja. Hitsaajat hitsasivat eri tyyleillä tietyn koejakson ajan ja tulppia vaihdettiin joka jakson välillä. Kokeiluun osallistui kolme erittäin kokenutta hitsaajaa, koehenkilöt H1, H2 ja H3. Kun hitsaukset oli saatettu loppuun, hitsaajaa haastateltiin käyttökokemuksesta ja pyydettiin vertaamaan eri tulppia keskenään.

Tulppasuojaimina käytettiin yhteistyökumppanin eri suojainmalleja. Kokeilussa käytetyt tulpat ominaisuuksineen ovat esitelty taulukossa 13. Tässä kokeilussa käytettiin MV1-, MV2- ja MK-malleja.

Taulukko 13. Kokeilussa käytetyt suojaimet

Suojoin	Indeksit				Koehenkilöt	Suojaimeen kuvaus
	H	M	L	SNR		
MV1	17	17	14	18	H1, H2, H3, H4, H5, H6	Muotoon valettu tulppa, tasainen vaimennus
MV2	29	24	24	28	H1, H2, H3, H4, H5, H6	Muotoon valettu tulppa, iso vaimennus
MK	24	23	22	24	H1, H2, H3	Monikäyttöinen tulppa, tasainen vaimennus
KK1	32	29	29	33	H4	Kertakäyttöinen tulppa, iso vaimennus
KK2	34	32	31	35	H5	Kertakäyttöinen tulppa, iso vaimennus
YHD	-	-	-	-	H6	Vanhat kuvat + tulpat, vaimennus tuntematon

Taulukossa 14 on eri hitsaustyyppit, joita kokeilussa käytettiin, ja hitsaajien (H1 ja H2) huomiot eri tulpista. Toisella koehenkilöllä oli ilmeisesti MK liian pieni korvakäytävään ja tulpassa oli siten äänivuoto, mutta toisaalta kumpikin valitti vaimennuksen riittämättömyyttä. Sinänsä vähiten vaimentava tulppa oli kuitenkin nimellisesti MV1.

Taulukko 14. Eri hitsaustyyppit hitsauslaboratoriossa

Hitsaustyyppi	Kommentit
DC avoin kaari teräs 8 mm	MV1 oli paras, muotoon valettu H2:lla äänet epäselvempiä, muotoon valettu H3:lla riittämätön, äänitaso koettiin liian kovaksi
Pulssi oikosulkuja teräs 8 mm	MV1:sta parempi jälki, sitten MV2 ("jotain puuttui äänestä") ja MK
Pulssi steppaava(askeltava) alumiini 2 mm	MV1 paras, nopein hitsaustahti, MV2:lla äänet epäselvempiä, MK riittämätön
Pulssi suora alumiini 4 mm	Erot eivät niin suuria ohuemmallalla materiaalilla, MV1 paras, MV2:lla äänet epäselvempiä, MK riittämätön

Kommunikaatio tulpilla oli vaikeaa toiselle koehenkilölle, joka yleensäkin ei käytä kuulonsuojaimia kuin kovassa melussa. Toinen koehenkilöistä pystyi kuulemaan puheen MV1 tulpalla, muttei enää MV2-tulpalla.

MV2:n vaimennuskyky oli toisen koehenkilön mielestä parempi kupu- ja tulppasuojaimiin verrattuna, toisen mielestä normaalit kupusuojaimet olivat parempi kuin MV2. MV1:n vaimennuskyky oli toisen koehenkilön mielestä parempi kupu- ja tulppasuojaimiin verrattuna, toisen mielestä MV1 oli parempi vaihtoehto verrattuna muihin suojaimiin, mutta vaimennuskyvyllä tähän mielipiteeseen ei ollut merkitystä.

Kupusuojaimet koettiin helpommaksi asentaa, mutta tulpat eivät taasen ole tiellä työssä. Muotoon valetuista todettiin, että voisivat olla vähän pehmeämpää materiaalia ja jonkinlainen runko sisällä, että pinnassa olisi joustoa. Kehon äänet kuuluivat tulppien kautta (kahinaa). Alkuun käyttö koettiin hankalaksi, ja muutaman kokeilukerran jälkeen suojaimet olivat vieläkin hankalat saada paikalleen.

Koehenkilö ei ole aiemmin käyttänyt rasvaa (jota käytetään pakalleen asennuksesta asennusta helpottamassa) ja huomasi, että rasvan kanssa on helpompaa. Hän kokeili rasvaa, koska hänelle mainittiin siitä henkilökohtaisessa opastuksessa.

Muotoon valetut tulpat koettiin vähän paremmaksi hitsausäänen kuuluvuuden kannalta. Varsinkin MV1 tuntui päästävän tärkeitä ääniä paremmin läpi. Kuulokuvat vaihtelivat niin paljon, että kommentoitiin, että kuin olisi eri materiaali hitsauksessa. Tämä havainto painottaa hitsaajan kuulonsuojainten valinnan tärkeyttä ja sitä että kuulonsuojaintyyppiä vaihtaessa uusilla suojaimilla äänen muutos tulee ottaa huomioon.

Koehenkilö totesi, että kupusuojaimia ei tule puhdistettua, mutta tulpat on puhdistettava. Hän kuitenkin kommentoi, että ne ovat helppo puhdistaa ja normaalisti ihan helppo saada korvaan, kun käyttää silloin tällöin. Suojaimen merkinnät (oikea ja vasen) olivat niin pienellä, että niitä oli vaikea erottaa. Aluksi hän oli käyttänyt suojaimia ilman rasvaa, jolloin korviin jäi paineen tunne, mutta totesi nyt, että ehkä ei osannut laittaa sitä oikeaoppisesti. Todettiin myös:

Tämä päivä antoi paljon ohjeistusta kuulonsuojainten käyttöön, huonot alkukokemukset eivät rohkaise käyttöön...

Tämä korostaa sitä, että muotoon valettuihin suojaimiin on tärkeä saada asiantunteva käyttöopastus, jotta suojaimia käytettäisiin ja alkuongelmat saisivat heti vastaukset.

Toinen kokeilukierros tehtiin telakkatyöpaikalla, ja siinä käytettiin yhteistyökumppanin kahta muotoon valettua ja kahta kertakäyttöistä normaalisti vaimentavaa (vaimentaa enemmän korkeilla taajuuksilla kuin matalilla taajuuksilla) vaahtomuovitulppaa, sekä yhtä tuplasuojausyhdistelmää (kuvut + tulppa). Kokeiluissa käytetyt tulpat ominaisuuksineen on esitelty taulukossa 13. Työpaikalla käytettiin kokeiluissa MV1 ja MV2-malleja, normaalisti hitsaajat ovat käyttäneet kaikki tuplasuojasuojauksista (yhdellä koehenkilöllä kupusuojaimet olivat niin vanhaa mallia, että jousivoima oli liian pieni, joka todennäköisesti aiheutti tunteen tuplasuojauksista). Kokeiluissa käytettiin kolmantena suojaimena hitsaajan omia suojaimia, kuitenkin niin että vain yhdessä kohteessa käytettiin tuplasuojauksista.

Hitsaajat hitsasivat normaalissa työtilanteessa tietyn koejakson ajan ja tulppia vaihdettiin joka jakson välillä. Kokeiluun osallistui kolme kokenutta hitsaajaa, H4, H5 ja H6. Kun hitsaukset oli saatettu loppuun, hitsaajaa haastateltiin käyttökokemuksesta ja pyydettiin vertaamaan eri tulppia keskenään.

Kommunikaatio muotoon valetuilla tulvilla oli helpompaa kaikille kolmelle koehenkilölle. MV2:n vaimennuskyky oli yhden koehenkilön mielestä parempi tulppasuojaimiin verrattuna, muut eivät osanneet sanoa, koska normaalisti käyttävät tuplasuojauksista. MV1:n vaimennuskyky oli yhden koehenkilön mielestä parempi kupusuojaimiin verrattuna ja kahden koehenkilön mielestä tulppasuojaimiin verrattuna.

Muotoon valetuista tulvista todettiin, että asennus oli aluksi hankalaa, mutta onnistui ihan hyvin jo toisella kerralla. Käyttömukavuutta luonnehdittiin sanoilla ”ihan hyvät” ja ”ihan mukavat”, vaikkakin korva tuntui täydeltä yhden koehenkilön mielestä. Yksi koehenkilö koki muotoon valetut tulpat paremmaksi hitsausäänen

kuuluvuuden kannalta, muille sillä ei ollut eroa. Tämä voi myös johtua taustamelusta, joka kyseisellä työpaikalla on kohtuullisen kova.

Koehenkilö totesi, että tulpat eivät tunnu päässä ja että asentaminen on mukavaa. Toinen koehenkilö huomautti, että vaimennus tuntui hyvältä. Todettiin myös, että suojaimet vaativat opettelun opettamisen, ja opastajan on hyvä olla paikan päällä, kun suojainta otetaan käyttöön. Muotoon valetut koettiin parempina hitsaukseen, yksi vastaaja piti MV1:sta parempana ja MV2:n joutui vielä ottamaan pois puhuessa. Yksi koehenkilö ottaa kupusuojaimet pois puhuessaan.

MV2:n kohdalla vaimennuskyvyn eroista ei yleensä osattu kertoa, yhden vastaajan mielestä kupusuojaimet vaimentavat paremmin kuin muotoon valetut tulpat, kahden vastaajan mielestä muotoon valetut vaimensivat paremmin kuin kupusuojaimet tai muut tulpat.

MV1:n kohdalla jotkut eivät kuulleet mitään eroa, kahden vastaajan mielestä kupusuojaimet vaimentavat paremmin kuin muotoon valetut tulpat, kahden vastaajan mielestä muotoon valetut vaimensivat paremmin kuin kupusuojaimet tai muut tulpat.

Tulppien asennus oli aluksi hankalaa, mutta tulpat koettiin mukavan tuntuisina. Kupusuojaimet olivat helpompi asentaa, mutta tulpat eivät olleet tiellä ja mahtuivat hyvin maskin alle. Tulppien materiaalista toivottiin joustavampaa. Muotoon valettujen tulppien asennus oli rasvan kanssa helpompaa, jota koehenkilö kokeili vasta, kun häntä opastettiin niin tekemään.

Kaksi hitsaajaa ei huomannut mitään eroa, mutta kolme hitsaajaa piti muotoon valettuja tulppia parempana. He kokivat, että tärkeät äänet kuuluvat paremmin, erityisesti MV1:n ollessa kyseessä. MV2 jakoi hieman mielipiteitä. Tämä on sinänsä ymmärrettävää, koska MV2 vaimentaa jo huomattavan paljon, eikä ole erityisesti kommunikaatioon suunniteltu.

Kupusuojaimia ei tule puhdistettua, tulppien huolto vaaditaan. Oikean ja vasemman merkinnät olivat vaikea erottaa, kirjaimet olivat pieniä lukea. Käyttöohjeistusta pidettiin tärkeänä, jopa siinä määrin, että arveltiin että suojaimet voivat jäädä käyttämättä muuten. Huonot alkukokemukset eivät rohkaise käyttämään. Suojaimia pidettiin myös huomaamattomina. Yksi vastaaja piti MV2:a parempana työhönsä kuin MV1:ä, äänitaso ilmeisesti sen verran suurempi, että MV1 ei riitä hänen työhönsä.

Työpaikalla suojainten huolto ja vaihto oli järjestetty erinomaisesti: jakelijana koulutettu henkilö ja malleja löytyy sovitettavaksi. Suojainten oikeaa vaihtoaikaa ei ollut huomattu painottaa tarpeeksi, liian vanhoja ja paikattuja suojaimia löytyi käytöstä. Kasvokkain annettu opastus auttoi silmin nähdessä, erityisesti rasvan käytössä, joka helpotti asennusta. Hitsaajista ainakin yksi jatkoi MV1 mallin käyttöä ja oli tyytyväinen puheen hyvään kuuluvuuteen suojaimen läpi. Tuplasuojauksessa myös radion ääni kuului tällöin hyvin kupusuojaimesta. Hetkellisesti kuonan irrotuksessa tulpat koettiin vaimennusteholtaan riittämättömäksi. Suojaimiin oltiin kuitenkin tyytyväisiä.

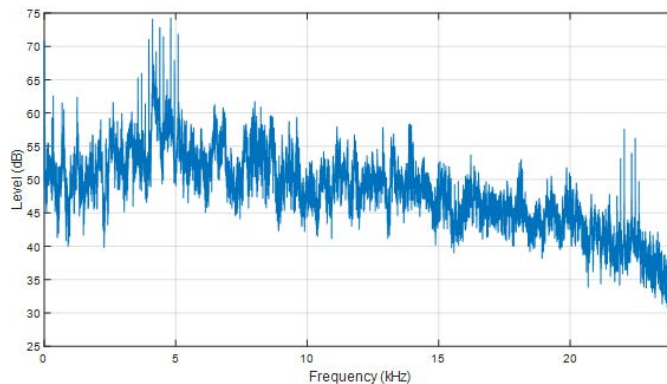
3.3 Kuunneltava malli kuulonsuojaimien valinnan apuna

Arvioitaessa hitsaustapahtuman kuulonsuojausta voidaan testata erilaisia kuulonsuojaimia ja sen lisäksi käyttää apuna erilaisia malleja. Yksi tällaisista malleista on kuunneltava malli. Se on eräänlainen interaktiivinen audiosoitin, jossa mallin parametreja voi muuttaa kuuntelun aikana ja kuulla muutoksen vaikutus ääneen. Kuunneltavan mallin avulla voidaan helposti tutkia melun vaikutuksia. Vastaavanlaisia malleja on käytetty liikkuvien työkonoiden (Antila ym. 2013) ja tuulivoimaloiden (Pieren ym. 2014) äänen arviointiin. Mallilla voidaan tutkia myös hitsausääntä ja muita siihen liittyviä äänikomponentteja (Antila ym. 2016).

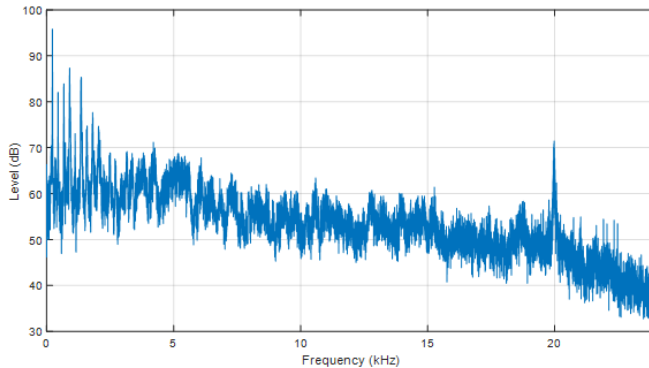
Hitsausäänen kuunneltava malli koostuu sekä syntesoiduista että tallennetuista äänistä. Yksittäisiä äänikomponentteja voidaan kytkeä päälle tai pois päältä ja näin tarkastella niiden vaikutusta psykoakustiikan kannalta. Äänikomponentteja ovat erilaiset hitsausäänet, taustamusiikki, kulmahiomakone ja pajavasara. Kuunneltavaan mallin on myös lisätty puhuttua äänitallenteita. Mallilla voidaan näin ollen tutkia puheäänen ymmärrettävyyttä hitsaukseen ja muuhun konepajatoimintaan liittyvässä taustamelussa. Kuunneltava malli on kehitetty alun perin taustamelun tutkimiseen tehdystä mallista (Antila ym. 2014).

Lähdesignaaleina olevat hitsausäänet mitattiin sekä konepaja- että laboratorioolosuhteissa. Hitsaustyyppinä olivat DC- ja pulssihitsaus. Useita äänitallennuksia tehtiin molemmilla hitsaustyypeillä ja käsiteltiin kuunneltavaa mallia varten. DC- ja pulssihitsauksen tyypilliset spektrit on esitetty kuvissa 31 ja 32. Hitsattu materiaali oli näissä tapauksissa 8 mm paksu teräs.

Valittujen kahden hitsaustyyppin spektrit eroavat toisistaan selkeästi. DC-hitsauksessa esiintyy korkeita melukomponentteja 3 kHz - 5 kHz taajuusalueella, kun taas pulssihitsauksessa suurimmat tasot ovat alle 2 kHz alueella. Tämä ero sekä korkeammat äänenpainetasot tekevät pulssihitsauksesta karkeamman ja kovemman kuuloista kuin DC-hitsaus. Artikkelissa (Pal, Bhattacharya & Surjya K. Pal 2010) on tutkittu tarkemmin eri hitsaustyyppien ominaisuuksia laaduntarkkailun näkökulmasta.

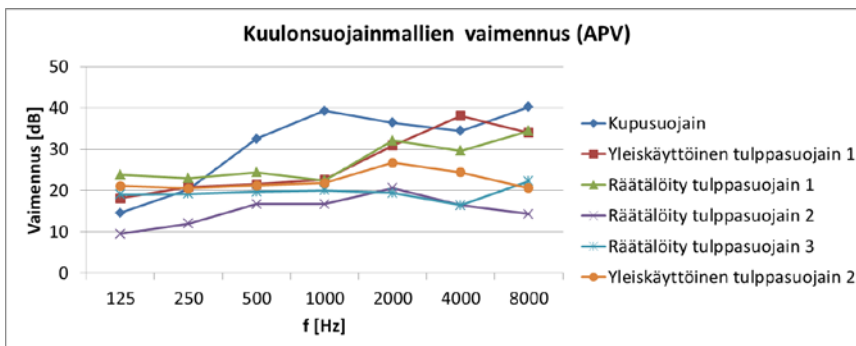


Kuva 31. DC-hitsauksen spektri.



Kuva 32. Pulssihitsauksen spektri.

Paras tapa suojautua hitsausmelulta on lähdemelun vähentäminen. Esimerkiksi MIG-hitsauksessa melua voidaan vähentää käyttämällä sopivaa pulssimuotoa (Iordachescu ym. 2006). Menetelmällä on kuitenkin rajoituksensa ja yleensä tarvitaan kuulonsuojaimia, joko kupumaisia tai tulppamaisia. Suojainten tehokkuus ja käyttötarkoitukset vaihtelevat. Kuvassa 33 on esitetty muutamien kuulonsuojainten vaimennuskäyrät. Ne voidaan jaotella karkeasti kolmeen ryhmään: suhteellisen tasaisesti vaimentavat (yleiskäyttöinen tulppasuojain II, räätälöidyt tulppasuojaimet II ja III), maksimaalisesti keskialuetta vaimentavat (kupusuojain) ja maksimaalisesti suuria taajuuksia vaimentavat (yleiskäyttöinen tulppasuojain I, räätälöity tulppasuojain I).



Kuva 33. Kuulonsuojainten vaimennuskäyriä desibeleinä.

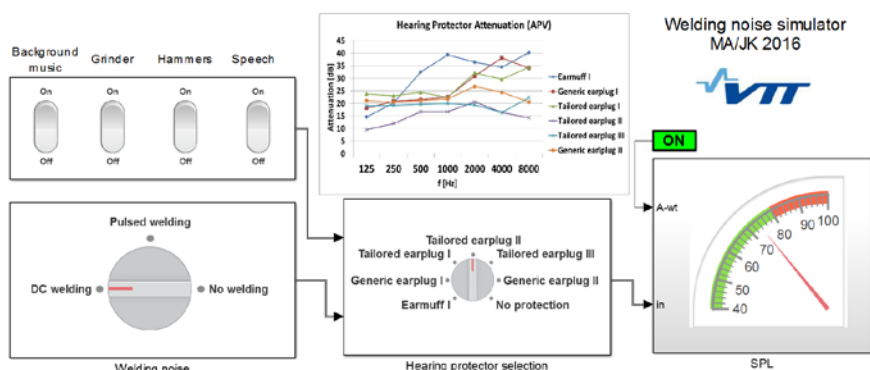
Kuulonsuojainten vaikutusten arvioimiseksi tehtiin kuunneltava malli, jolla voidaan mallintaa suojaimien toimintaa erilaisissa olosuhteissa. Kuulonsuojaimet mallinnettiin suotimina, jotka muokkaavat alkuperäistä melua niin että lopputulos kuulostaa siltä kuin kuuntelijalla olisi kuulonsuojaimet. Mallinnuksen lähtökohdana oli kuulonsuojainten vaimennuskäyrät, joista laskettiin ensin minimivaiheiset taajuusvasteet. Ne sisältävät sekä vahvistus- että vaihetiedon ja seuraavaksi

vasteisiin sovitettiin IIR-tyyppiset suotimet. Suojainten mallintaminen tehtiin Matlabilla.

Kuunneltava malli on esitetty kuvassa 34. Jokainen melukomponentti voidaan kytkeä erikseen päälle tai pois päältä. Hitsausääni, pajavasaran ääni ja taustamusiikki ovat tallenteita ja kulmahiomakoneen ääni on syntetisoitu. Puheäänien ovat myös tallenteita ja niistä voidaan valita joko miehen tai naisen äänen (ITU-T P Series ei pvm.). Puheäänien tasot oli kalibroitu niin että ne vastasivat korotetun puheen tasoa, noin 70 dB.

Kuunneltavaa mallia voidaan käyttää kuulonsuojainten vaikutusten arviointiin. Kullekin suojaimelle laskettiin A-painotetut ekvivalenttiäänitasot (L_{Aeq}) ja C-painotetut piikkitasot (L_{Cpeak}). Tasot on esitetty muutamien suojaimen osalta taulukossa 15. A-painotetut ekvivalenttitasot laskettiin metrin päästä hitsauspisteen yläpuolelta mitatuista tallenteista. DC-hitsauksessa L_{Aeq} -arvo on ilman suojaimia noin 89 dB kun taas pulssihitsauksessa se on 99 dB. Piikkitasot lasketaan yleensä C- eikä A-painotetuista signaaleista. C-painotus on nykyään mukana useimmissa standardeissa. L_{Cpeak} -arvoja käytetään työpaikkamelun mittaamiseen paikoissa, joissa on kovaäänistä impulssimaista melua (NoiseMeters Inc. 2008).

Ilman kuulonsuojaimia sekä DC- että pulssihitsauksen tasot ylittävät 85 dB, kun taas kuulonsuojainten kanssa kaikki L_{Aeq} -tasot ovat alle 85 dB. Kuulonsuojaimet eroavat toisistaan äänenlaadun ja erilaisten melukomponenttien kuultavuuden osalta. Mikään suojain ei sovellu hyvin kaikkiin tarkoituksiin. Korkeat L_{Cpeak} -arvot voivat olla todellisia tai ne voivat selittyä tallennukseen käytetyn mikrofonin hetkellisestä kosketuksesta toiseen esineeseen.



Kuva 34. Kuunneltava malli hitsausäänille konepajaolosuhteissa.

Taulukko 15. A-painotetut äänenpainetasot eri kuulonsuojaimille kuunneltavassa mallissa.

Suojaintyyppi	DC-hitsaus		Pulssihitsaus	
	L_{Aeq}	$L_{C,peak}$	L_{Aeq}	$L_{C,peak}$
Ilman suojainta	89	126	99	122
Räätälöity tulppasuojain II	73	111	83	107
Yleiskäyttöinen tulppasuojain I	55	93	73	95
Kupusuojain	53	90	68	91

Kuunneltavasta mallista tehtiin myös hieman yksinkertaistettu verkkoversio (VTT 2017), jota voi käyttää hitsausmeluun liittyvien kuulonsuojaimien yleiseen arviointiin (kuva 35). Verkossa oleva malli on käyttökelpoinen suojaimien vaikutuksen suuruusluokan ja tyyppin arviointiin, ja se käytettävissä vapaasti.

Welding noise demonstrator

Demonstrates Noise Level and Sound Quality differences of various noise sources and hearing protectors

All noise samples are as indication only! Please adjust your sound levels to a comfortable volume

More information on Noise and Sound Quality research at VTT [Noise Control and Sound Quality](#) web pages

(c) VTT Technical Research Centre of Finland Ltd 2017

Kuva 35. Kuunneltavan mallin verkkoversio.

4. Hiukkasaltistus hitsaustyöpaikoilla

Hiukkasmittaukset toteutettiin ohutlevypajassa ruostumattoman teräksen (RST) hitsaustyöpisteessä sekä lohkotuotannossa. Päähuomio tarkasteluissa oli puhaltimella varustetun suodatinsuojaimen suojaustehokkuudessa hengitettäviä hiukkasmaisia epäpuhtauksia (PM10, hiukkasten halkaisija alle 10 µm) vastaan sekä työntekijöiden toimintatavoissa suojainta käytettäessä.



Kuva 36. Ruostumattoman teräksen hitsaustyöpiste ja ääni- sekä ilmanlaatumittajat työssään.

4.1 Mittaukset

Tarkasteluissa hyödynnettiin Kemppi Beta 90 FreshAir raitisilmamaskia, Kemppi FreshAir Flow Control –puhallinyksikköä (ilmavirta 140-210 l/min), FreshAir Basic hiukkassuodatinta (suodatusluokka PSL R) sekä FreshAir Basic haju- ja esisuodatinta (kuva 38). Järjestelmän ilmoitettu suojausluokka oli TH2/A2 ja suojauskerroin 50 (EN 12941/A2).

Ilmanäytteenotto toteutettiin raitisilmamaskin ulkopuolelta sekä maskin sisäpuolelta hengitysalueelta (kuva 39). Sähköisesti heikosti varautuvien näytteenottoletkujen pituus oli n. 7,8 m (letkun sisähalkaisija 6,5 mm). Näytelinjojen aiheuttama viive käytetyillä näyteilmavirroilla oli n. 5 s -10 s. Maskin ulkopuolista ilmanäytettä laimennettiin tarvittaessa hiukkaslaskurien mittausalueelle sopivaksi

VTT:n rakentamilla laimentimilla, joiden laimennuskertoimet olivat 11 tai 32. Laimennuskertoimien määrittelyyn sisältyy epävarmuutta, koska kertoimet oli määritetty eri hiukkaslaskureilla ja eri hiukkaspäästöillä. Maskin sisäpuolisen mittauksen sijaan maskin ulkopuolinen mittaus oli ainoastaan suuntaa antava eikä siinä haettu tarkkaa absoluuttista arvoa. Tarvittaessa laimentimet kytkettiin näytteenottolinjaan peräkkäin.



Kuva 37. Puhaltimella varustettu suodatinsuojain PAPR.



Kuva 38. Ilmanäytteenottopiste maskin ulko- ja sisäpuolelta

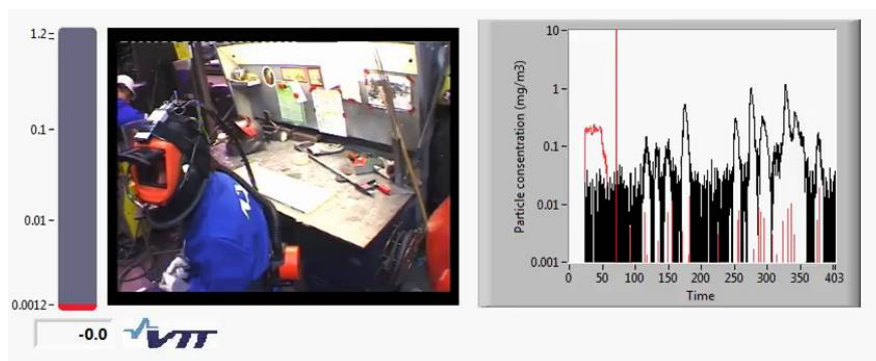
Hiukkasten kokonaismassapitoisuutta (PM10) mitattiin optisilla hiukkaslaskureilla. Maskin ulkopuolista pitoisuutta mitattiin DustTrak Aerosol Monitor 8520 -laskurilla (näyteilmavirta 1,7 l/min) ja sisäpuolista pitoisuutta DustTrak II Aerosol Monitor 8530 -laskurilla (näyteilmavirta 3,0 l/min). Laitteiden hiukaskokoluokka on 0,1 μm - 10 μm . Mittaustulokset kerättiin ja tallennettiin reaaliaikaisesti NI USB-6215 tiedonkeruukortilla ja kannettavalla tietokoneella.

Mittauksissa hyödynnettiin lisäksi videokuvan ja mittausdatan yhdistävää PIMEX Video Exposure Monitoring (VEM) -menetelmää (Säämänen ym. 2006).

Menetelmässä videokameralla kuvataan toimintaa eri ympäristöissä. Samanaikaisesti eri mittalaitteilla voidaan mitata esim. toiminnasta syntyviä hiukkaspäästöjä tai henkilön altistumista haitallisille aineille. Saatua materiaalia voidaan hyödyntää esim. altistuksen vähentämiseksi työtapoja tai suojaustoimenpiteitä muuttamalla tai suojainten suojaustehokkuuden arvioinnissa todellisissa käyttöympäristöissä. VEM-materiaalia voidaan hyödyntää myös eri ilmiöiden havainnollistamiseen sekä koulutusmateriaalina.

4.2 Tulokset ja niiden tarkastelu

Kuvassa 40 on esitetty esimerkki hiukkaspitoisuuden vaihtelusta ruostumattoman teräksen TIG-hitsauksen yhteydessä. VEM-tiedoista kaapatussa pysäytyskuvassa hiukkasten massapitoisuus (mg/m^3) maskin ulkopuolella on esitetty mustalla ja hiukkaspitoisuus (mg/m^3) maskin sisäpuolella punaisella viivalla. Puhallinyksikön ilmavirta tarkastelun aikana oli 140 l/min. Työpisteen kohdepoisto oli käytössä normaalisti. Mittaushetkellä lämpötila oli 21 °C ja suhteellinen kosteus 63 %.

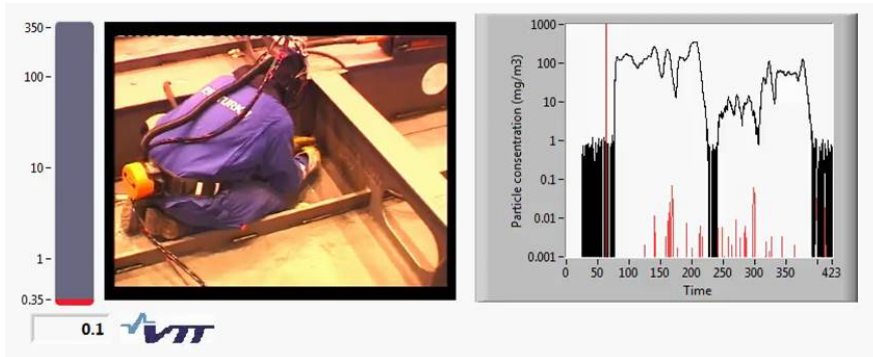


Kuva 39. Hiukkaspitoisuus RST:n TIG-hitsauksen aikana,

Laivanrakennusteräksen MIG/MAG-hitsauksen aikana syntyvien hiukkaspäästöjen mittaukset toteutettiin lohkotuotantohallin keskiosassa kahdessa eri työpisteessä (kuva 41). Mittausten aikana hallin päädyt ja osa sivuovista oli auki. Lämpötila oli 18 °C ja suhteellinen kosteus 73 %. Puhallinyksikön ilmavirta oli 170 l/min.

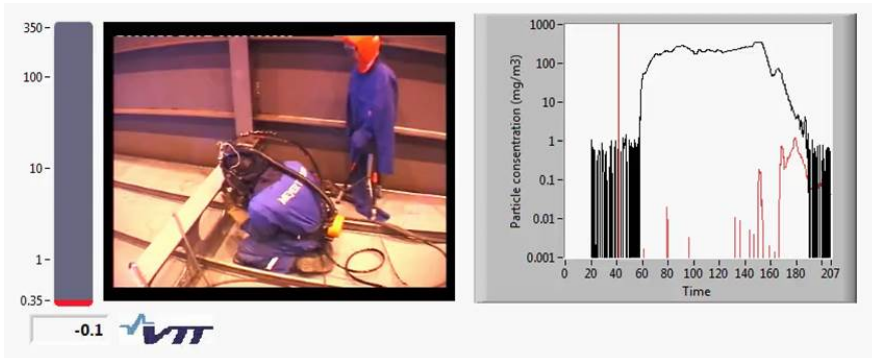


Kuva 40. Lohkotuotantohalli



Kuva 41. Hiukkaspitoisuus laivanrakennusteräksen hitsauksen aikana

Kuvassa 43 esitetyssä tilanteessa hiukkasten enimmäispitoisuus hitsausmaskin ulkopuolella ylitti hetkellisesti mitta-alueen rajan, 350 mg/m^3 . Maskin sisäpuolella mitattiin vähäisiä hetkellisiä vuotoja hitsaajan siirtymisten tai maskin suojalasin noston yhteydessä. Hetkellinen enimmäispitoisuus maskin sisällä, 1 mg/m^3 , mitattiin, kun työntekijä riisui maskin pois nopeasti valokaaren sammumisen jälkeen (kuva 43). Taustapitoisuus tuotantohallissa toiminnan aikana oli enimmillään n. $0,7 \text{ mg/m}^3$.



Kuva 42. Hiukkaspitoisuus laivanrakennusteräksen hitsauksen aikana (2)

Raitisilmamaskin ulkopuolella hitsaajan hengitysalueella mitattiin korkeita hiukkaspitoisuuksia, RST-hitsaustyöpisteessä enimmillään 30 mg/m^3 ja lohko tuotannossa 350 mg/m^3 . Optisesti toteutettujen massapitoisuusmittausten perusteella voidaan todeta, että puhaltimella varustettu suodatinsuojain suojasi tehokkaasti hiukkasmaisilta (kokoluokka $0,1 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$) hitsaushuuruilta. Hitsaustyön aikana maskin sisäpuolella esiintyi vähäisiä ohivuotoja siirtymisten tai asennon vaihdon aikana.

5. Yhteenveto ja suositukset

Hankkeen tuloksena on saatu tuoretta tutkimustietoa hitsaustilanteen olosuhteista ja hitsaajan suojauksen toimivuudesta sekä kehitystarpeista. Lisäksi hankkeen tuloksena syntyi suosituksia hitsaajan kokonaissuojauksen parantamiseksi ja suojainten valintaan. Hankkeessa on syntynyt menetelmiä äänen muokkaukseen ja tuottamiseen sopivaksi normaali- ja ikähuonokuuloisille, sekä hitsausmelun tuomiseen hallitusti kuultavaksi hitsaajalle siten, että hitsauksen äänestä välittyvä tieto työn sujuvuudesta säilyy.

Hankkeessa tutkimusosapuolina olivat Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Työterveyslaitos. Mukana on myös hitsauslaitteita, suojavaatteita ja -varusteita valmistavia yrityksiä, sekä yrityksiä, joilla on hitsaustoimintaa. Hankkeen tuloksia alettiin julkistaa vuoden 2016 aikana ja loppuraportti on julkinen vuonna 2017.

5.1 Magneetikentiltä suojautumisen työtapoja kehittämällä

Hitsauksesta syntyvä magneetikentän voimakkuus on suurimmillaan hetkittäisen virran maksimiarvon aikana. Maksimiarvo syntyy yleensä hitsauksen aloituspulssissa ja kestää selvästi alle sekunnin. Vastaava voimakkaampi pulssi syntyy myös hitsausta lopetettaessa tai mikäli hitsauksen aikana on virran voimakkaita vaihteluja, joka yleensä näkyy myös hitsauksen laadun heikkenemisenä.

Sähkömagneettinen altistuminen hitsauksen aikana on vähäisempää kuin alussa syntyvän maksimipiikin aikana. Määritettäessä altistusta ICNIRP 1998 mukaisesti suosituksiin perustuen oli hitsauskaapelista lähtevä sähkömagneettisen kentän altistusarvo huomattavasti yli sadan prosentin suosittelun altistusrajan. ICNIRP 2010 mukaisten suositusten mukaan altistusta määritettäessä sadan prosentin suositusarvo ylittyi vain maksimipiikin aikana, mutta muuten jäi sen alle. ICNIRP 2010 suositus vastaa Suomessa käytössä olevaa työntekijärajaa.

Erlaisia hitsausohjelmia käytettäessä hitsauksen aikaiset sähkömagneettiset kentät ylittivät sadan prosentin altistusarvon noin 25 prosentissa mitatuista tilanteista. Ylitys tapahtui aina hitsauksen alussa syntyneen maksimipiikin aikana. Hitsaajan altistumisen suuruus riippuu myös hitsaajan tavasta hitsata. Mitä kokeneempi hitsaaja on, sitä tasaisempaa hitsiä hän yleensä tekee, jolloin virran heilahtelut ovat pienempiä ja sitä kautta myös magneetikentät ovat pienempiä ja niissä on vähemmän eri taajuuksia. Laadullisesti hyvä hitsausjälki tarkoittaa siis myös hitsaajan pienempää altistumista magneetikentille.

Suositusarvot ylittäviä sähkömagneettisia kenttiä esiintyy satunnaisesti hitsattaessa ns. kovemmillä arvoilla. Erityishitsauskohteissa, kuten pistehitsauksessa sähkömagneettinen säteily oli huomattavaa. Pistehitsauslaitteelle annettiin suositukset työtavoista, joita noudattamalla työntekijöiden altistuminen pysyy alle työntekijärajan. Arvo laskee etäisyyden kasvaessa. Työtappoihin ja tarvittaessa muuhun suojautumiseen tulisi kiinnittää huomiota erityisesti näissä tapauksissa.

Telakalla huomattiin käytäntö kääriä hitsauskaapelit kiepille. Tällöin kaapelit ovat paremmin poissa jaloista, jolloin esim. kompastumisvaara pienenee, mutta samalla hitsauskaapeleiden aiheuttama magneettikenttä moninkertaistuu kelalla olevan kaapelin kierrosten mukaan. Kiepillä olevat johdot aiheuttavat selkeän magneettikenttältistuksen kasvun, ja niiden muodostamista sekä niiden läheisyydessä oleskelua tulisi välttää.

Erilaisilla työpaikoilla olisi hyödyllistä tehdä magneettikenttien kartoitusmittaukset, jotta saataisiin laajemmin tietoa magneettikenttätilanteesta. Kaikilla työpaikoilla tämä ei ole tarpeen, mutta jos käytössä on laitteita, joissa on suuria, hetkellisiä virtoja ja virtapiikkejä (kuten esimerkiksi hitsauslaitteet, jotkin moottorit ja plasmaleikkauslaitteet) magneettikentät voisi olla syytä mitata ja tarvittaessa ryhtyä toimenpiteisiin.

5.2 Magneettikentiltä suojaavat materiaalit

Hankkeen yhtenä tavoitteena oli löytää materiaali, joka laskisi hitsaajan saaman altistuksen annettujen suositusarvojen rajoihin. Parhaan suojauskyvyn tutkimuksessa mukana olleista materiaaleista antoivat alumiini, teräs, μ -metalli sekä kaupallinen ja kokeellinen kalvomateriaali. Näistä jatkotarkasteluihin valittiin alumiini sekä kaupallinen ja kokeellinen kalvomateriaali, joista kaksi viimeksi mainittua olivat potentiaalisimpia hitsaajan suoja-asuissa käytettäväksi taipuisuutensa vuoksi.

Kokeelliselle materiaalille tehtiin tarkasteluja myös asettamalla materiaalia useampi kerros päällekkäin. Tällöin materiaalin suojauskyky parani, muttei saavuttanut kaupallisen materiaalin suojaustasoa vielä 3-kerroksisenaakaan. Materiaalissa todettiin kuitenkin olevan hyvät kehitysmahdollisuudet.

Tutkittaessa etäisyyden vaikutusta mittalaitteeseen kohdistuva sähkömagneettinen säteily voimistui siirryttäessä kauemmaksi materiaalista ja lähteestä, koska sähkömagneettiset säteet pystyivät ohittamaan suojamateriaalin. Laitte tulisi suojata muualta tulevalta säteilyltä, mikäli halutaan tarkastella tilannetta, jossa suoja on aukoton.

Koehitsauskohteessa mittauksista saatujen tulosten perusteella kaupallinen kalvomateriaali (materiaali 1) ja kokeellinen kalvomateriaali (materiaali 2) suojasivat säteilyltä lähes yhtä paljon, kun taas aiemmissa mittauksissa kaupallisen materiaalin suojaavuus oli hieman suurempi. Molemmat materiaalit ovat potentiaalisia valintoja kehitettäessä suojaimia magneettikentille.

Erlaisia suojainratkaisuja voivat olla esimerkiksi magneettikentältä suojaavat esiliinat tai olkapääsuojaimet. Usein tilanne on se, että melko vähäinenkin suojaus riittää alentamaan altistuksen alle suositusarvojen, joten materiaalin magneettisen vaimennuksen ei tarvitse olla erityisen suuri.

5.3 Melulta suojautuminen

Lähtökohtana hitsaustyössä on se, että ympäristöstä ja hitsauksesta tulevaa melua pitää pystyä vaimentamaan niin, että äänitaso ei enää ole kuulolle

vaarallinen. Toisaalta hitsauksen ääni on pystyttävä sopivasti kuulemaan, sekä tarvittaessa keskustelemaan muiden työntekijöiden kanssa.

Työpaikoilla ja eri MIG-koehitsauksista tehtyjen äänitasomittausten perusteella kuulon suojaukseen on tarvetta. Koska hitsaajien päivittäisestä työrytmistä ja varsinaisesta hitsausajasta ei tehty tämän hankkeen puitteissa tarkempia selvityksiä, tuloksia ei voida verrata suoraan toiminta-arvoihin. Tuloksista voidaan kuitenkin laskea kuinka kauan työtä voi turvallisesti tehdä.

Talttauksen äänitaso oli enimmillään 108 dB(A), jolloin turvallinen raja ylittyi muutamassa minuutissa. Kun otetaan huomioon, että työympäristö on itsessäänkin meluinen ja muikin altistus päivän aikana on todennäköistä, on selvää, että suojausta tarvitaan.

Hitsaus ohutlevytuotannossa ei välttämättä vaadi kuulonsuojaimia, jos työtehtävät rajoittuvat vastaaviin koko päivän aikana. Jos päivän aikana tehdään muita meluisia työtehtäviä, suojaustarvetta saattaa olla. Jos ääni koetaan epämiellyttävänä, voi kuulonsuojainten käyttö olla senkin vuoksi perusteltua. Lohkolla kuulo tulee suojata, jos hitsataan mitatuilla 90 dB(A) tasoilla yli kaksi tuntia. Arvioinnissa tulee myöskin ottaa huomioon, että erityisen herkäät voivat saada kuulonaleneman alemmallakin toiminta-arvolla, erityisesti jos hengitysilmassa on korvalle myrkyllisiä kaasuja.

Kupusuojaimet koettiin helpommaksi asentaa, mutta tulppasuojaimet eivät toisaalta ole tiellä työssä. Muotoon valetuista tulppasuojaimien toivottiin olevan hieman pehmeämpää materiaalia ja sisältävän jonkinlaisen rungon, että pinnassa olisi joustoa. Kehon äänet kuuluivat jonkin verran tulppien kautta. Alkuun käyttö koettiin hankalaksi. Tulppasuojaimet sopivat hyvin myös hitsausmaskin ja -kypärän alle

Muotoon valetut tulpat koettiin jonkin verran kupusuojaimia paremmiksi hitsausäänen kuuluvuuden kannalta. Kuulokuvat vaihtelivat niin paljon, että kommentoitiin tuntuvan siltä, että hitsauksissa olisi eri materiaaleja vaikka hitsattiin vain yhtä materiaalia. Tämä havainto painottaa hitsaajan kuulonsuojainten valinnan tärkeyttä ja sitä että kuulonsuojaintyyppiä vaihtaessa uusilla suojaimilla äänen muutos tulee ottaa huomioon. Erityinen etu tulppasuojaimilla on niiden käyttömukavuus verrattuna kupusuojaimiin. Tällöin suojaimia ei tarvitse välttämättä poistaa keskusteluja tai matkapuhelimessa puhumista varten. Koska tutkitulla työpaikalla monet melunlähteet olivat yllättäviä ja transienttimaisia, niin jatkuva suojaimien käyttö voi suojata mahdollisesti yllättävältäkin kuulovauriolta tai kuulon alenemalta.

Kuvassa 36 on esitetty tiivistetysti ne asiat, mitä erityisesti hitsaajan tulee huomioida kuulonsuojaimia valittaessa.

1. Suojaimet tulee valita aina altistuksen mukaan: jos suojain vaimentaa liikaa, se jää käyttämättä tai vaimentaa myös tarpeellisia ääniä. Jos se vaimentaa liian vähän, kuulo on vaarassa.
2. Opastus suojainten käyttöönotossa on tärkeää, myös muotoon valettujen tulppien ensimmäinen sovitus.
3. Muotoon valetut ja tasaisesti vaimentavat korvatulpat ovat hyvä vaihtoehto monessa hitsaustilanteessa.
4. Kertakäyttöisten tulppasuojainten asennus tulee opastaa huolellisesti, hitsausäänen kuuleminen voi olla ongelma, koska vaimennus ei yleensä ole näissä tulpissa tasainen.
5. Tasaisesti kaikilla taajuuksilla vaimentavat suojaimet helpottavat kommunikaatiota ja hitsausäänen kuulemistä, ja ne voivat vähentää myös jälkitöitä hitsausaumassa. Ne helpottavat myös huonokuuloisten työskentelyä.
6. Teollisuusolosuhteissakaan tulppia ei saa asentaa likaisin käsin. Ainoastaan tulpat, joissa on asetinosa, joka jää korvan ulkopuolelle, voidaan laittaa vähemmän puhtaillakin käsillä korvaan.
7. Kun kuulonsuojaimia käytetään muiden päänalueen suojainten kanssa, on EHDOTTOMAN TÄRKEÄÄ, että yhdistelmä toimii ja että mikään suojain ei estä toisen suojaimen toimintaa. Mitkään hihnat, huput, nauhat tai muut suojainten osat eivät saa jäädä kuvun tiivisteen ja ihon väliin, jos käytetään kupusuojaimia. Jos kupusuojain ei mahdu tai kupu ei sulje korvaa tiivistä, on harkittava tulppavaihtoehtoa. Korvakäytävän koko tulee ottaa huomioon valinnassa.
8. Hengityksensuojaus on osa kuulonhuoltoa, osa hitsauksessa syntyvistä kaasuista on ototoksisia eli kuulolle haitallisia.
9. Valinta tulee suorittaa huolella, erilaiset hitsaustavat voivat vaatia eri tavalla vaimentavat kuulonsuojaimet.
10. Työntekijää täytyy opastaa näkemään suojainten puutteet ja viat ja vaihtamaan kuulonsuojaimia tietyin aikaväleihin ja työnantajan valvoa sitä, että työpaikalla ei ole liian vanhoja ja rikkiäisiä suojaimia (tyynyt kovettuneet, jousivoima heikentynyt, teipillä paikatut suojaimet).

Kuva 43. Hitsaajan 10 kohdan muistilista kuulonsuojainten käyttöön.

5.4 Ilman laatu hitsaustöissä

Puhaltimella varustetun suodatinsuojaimen käyttö on tarpeellista erityisesti kohteissa, joissa kohdepoistoilla tai yleisilmanvaihdolla ei voida vähentää hitsaushuurujen pitoisuutta turvalliselle tasolle tai joissa hitsataan aineita, joista muodostuu syöpävaarallisia yhdisteitä. Suojaimen ja sen ohjeiden mukaiseen käyttöön ja käyttökoulutukseen tulee kiinnittää huomioita. Esimerkiksi suojain tulee riisua vasta hitsaussavun hälvettyä.

Kokonaishitsaushuuruille ei ole Suomessa asetettu HTP-arvoa. Terästen hitsaussavun/huurun tavoitetasoja kromi-, nikkeli- ja mangaaniyhdisteille on esitetty mm. Työterveyslaitoksen muistiossa TY-04-2011 (Taxell ym. 2011). Esimerkiksi Hollannissa kokonaishitsaushuuruille on asetettu kahdeksan tunnin työhygieeninen ohjearvo 1 mg/m^3 seostettujen sekä seostamattomien terästen hitsauksessa. Hitsaushuurujen suojaustoimenpiteiden kehittämisessä olisi tarpeen huomioida olosuhteita ja ammattiryhmiä, joissa voidaan altistua merkittäväälle taustapitoisuudelle.

Laajemmalla alueella tapahtuvassa hitsaustyössä syntyvien huurujen ja kaasujen pitoisuutta voidaan vähentää hitsausalueelle suunnatulla kannettavalla tai liikuteltavalla kohdepoistoratkaisulla tai hitsauspistoolilla, johon on liitetty kiinteästi kohdepoisto. Hitsaajien rinnalla kohonneessa taustapitoisuudessa työskentelevien muiden ammattiryhmien kuten levyseppien hengitysilman laadun kehittämiseksi on mahdollista luoda hitsauskypäriä kevyempiä henkilökohtaisia ratkaisuja.

Viitteet

- Ali, K.J., 2012. Measurement of magnetic fields emitted from welding machines. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 5(2), ss.114–128.
- Antila, M. ym., 2004. Hiljainen, ilmastoitu ohjaamo. Työsuojelurahaston HILMA-hankkeen (102350) loppuraportti. BTUO56-041, Report., Tampere: VTT.
- Antila, M. ym., 2016. Intelligent protection from welding noise. Teoksessa *Proceedings of Baltic-Nordic Acoustic Meeting 2016 (BNAM 2016)*. Stockholm, Sweden.
- Antila, M. ym., 2014. Recording, evaluation and artificial real-time creation of metal workshop noise. Teoksessa *Proceedings of Baltic-Nordic Acoustic Meeting 2014 (BNAM 2014)*. Tallinn, Estonia.
- Antila, M. & Kataja, J., 2013. Tuulivoimamelun kuunneltava malli. Teoksessa *Akustiikkapäivät 2013*. Turku, ss. 166–170.
- Antila, M., Kataja, J. & Isomoisio, H., 2015. Kuunneltavat mallit ja niiden käyttö tutkimuksessa ja tuotekehityksessä. Teoksessa *Akustiikkapäivät 2015*. Kuopio.
- Antila, M., Kataja, J. & Kokkonen, E., 2013. Virtual engine and ventilation noise generation for an underground loader cabin. Teoksessa *Aachen Acoustic Colloquium 2013, Aachen, Germany*. ss. 167–174.
- ARATA, Y. ym., 2012. Investigation on welding arc sound (Report I): effect of welding method and welding condition of welding arc sound (welding physics, processes & instruments).
- Campo, P. ym., 2009. Combined exposure to noise and ototoxic substances. , Report., Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work.
- EU, 1989. *The minimum health and safety requirements for the use by workers of personal protective equipment at the workplace*, EU: Directive 1989/656/EEC of the European Parliament and of the council of 30 November 1989.
- EU, 2013a. *The minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)*., EU: Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the council of 26 June 2013.
- EU, 2013b. *The minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)*.,

- EU: Directive 2013/35/EU of the European Parliament and of the council of 26 June 2013.
- Fastl, H. & Zwicker, E., 2007. *Psychoacoustics: Facts and Models (3rd ed.)*, Berlin, Germany: Springer.
- ICNIRP, 1998. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Physics*, 74(4), ss.494–522.
- ICNIRP, 2010. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health physics*, 99(6), ss.818–836.
- Iordachescu, D. ym., 2006. Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates. *Materials & Design*, 27(5), ss.381–390.
- ISO, 2008. *Protective clothing for use in welding and allied processes (ISO 11611:2007)*, SFS-EN ISO.
- ITU-T P Series, Telephone transmission quality, telephone installations, local line networks. Available at: <http://www.itu.int/net/itu-t/sigdb/genaudio/Pseries.htm> [Viitattu syyskuuta 22, 2016].
- Jokela, K. ym., 2014. Sähkömagneettisten kenttien biologiset vaikutukset: kansallinen tutkimusstrategia 2013 - 2016. , Report., Helsinki: Sosiaali- ja terveysalan asiantuntijalaitosten yhteenliittymä (SOTERKO).
- Järveläinen, H. ym., 1998. Työkoneiden ohjaamomelun häiritsevyys ja sen vähentäminen. Raportti 4, Report., Espoo: Teknillinen korkeakoulu, akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio.
- Karjalainen, M., 1999. *Kommunikaatioakustiikka*, Espoo: Helsinki University of Technology.
- Koskinen, H. ym., 2013. Developing an individual hearing protector selection process for better communication and use. Teoksessa *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. ss. 3311–3316.
- Lehnert, M. ym., 2012. Exposure to Inhalable, Respirable, and Ultrafine Particles in Welding Fume. *The Annals of Occupational Hygiene*, 56(5), ss.557–567.
- Lehtimäki, M. & Säämänen, A., 2013. Best available technology (BAT) nanomateriaalien valmistuksessa ja käsittelyssä. Tutkimusraportti VTT-R-02265-13. , Report., Tampere.
- Lv, N. ym., 2013. Audio sensing and modeling of arc dynamic characteristic during

- pulsed Al alloy GTAW process. *Sensor Review*, 33(2), s.7.
- Mair, P., 2005. Assessment of EMF (electromagnetic fields) and biological effects in arc welding applications. Teoksessa *International Institute of Welding, Commission XII, Intermediate Meeting, Fronius International*. ss. 1–10.
- NoiseMeters Inc., 2008. Maximum, Minimum and Peak Sound Level. *Min, Max, Peak FAQ*. Available at: <https://www.noisemeters.com/help/faq/min-max-peak.asp> [Viitattu maaliskuuta 31, 2017].
- Pal, K., Bhattacharya, S. & Pal, S.K., 2010. Investigation on arc sound and metal transfer modes for on-line monitoring in pulsed gas metal arc welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(10), ss.1397–1410.
- Pal, K., Bhattacharya, S. & Pal, S.K., 2010. Multisensor-based monitoring of weld deposition and plate distortion for various torch angles in pulsed MIG welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(5–8), ss.543–556.
- Picard, M. ym., 2008. Association of work-related accidents with noise exposure in the workplace and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240,000 person-years of observation. *Accident Analysis & Prevention*, 40(5), ss.1644–1652.
- Pieren, R. ym., 2014. Auralization of wind turbine noise: Emission synthesis. *Acta Acustica united with Acustica*, 100(1), ss.25–33.
- Rabinowitz, P.M., 2012. The Public Health Significance of Noise-Induced Hearing Loss. Teoksessa C. G. Le Prell ym., toim. *Noise induced hearing loss*. New York: Springer Boston.
- R Core Team, 2015. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*,
- Ruhala, A., Toppila, E. & Mäkinen, H., 2012. Kuulon merkitys suojaimen valinnassa. , Report., Työterveyslaitos.
- Sosiaali- ja terveysministeriö, 2016. *Käytännön opas sähkömagneettisten kenttien aiheuttamien vaarojen hallintaan työpaikoilla*, Helsinki.
- Suomen standardisoimisliitto, 2005. Kuulonsuojaimet. Valintamenetelmät, käyttö, hoito ja kunnossapito. Suositukset.
- Säämänen, A., Heinonen, K. & Kalliohaka, T., 2006. Applying video exposure monitoring in clean production. Teoksessa *37th R3-Nordic Contamination Control Symposium, VTT Symposium 240*. Espoo, ss. 375–385.
- Taxell, P. ym., 2011. Terästen hitsaussavun/huurun tavoitetasoperustelumui- stio. ,

Report., Helsinki.

- Tiikkaja, M. ym., 2012. Sydäntahdistipotilaan työhön paluun tukeminen. Sähkömagneettisten häiriöriskien hallinta. , Report., Helsinki: Työterveyslaitos.
- Toppila, E., 2009. HPD-Railroad - Eliminating accident risk on the Finnish railway. Teoksessa *Assessment, elimination and substantial reduction of occupational risks*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, ss. 60–62.
- Toppila, E., 2007. The impact of directives on noise (2003/10/EC) and vibration (2002/33/EC) on the selection of PPE. Teoksessa S. Mäki, toim. *8th European Seminar on Personal Protective Equipment, Work Environment Research Report Series 27*. Saariselkä, Finland, ss. 18–26.
- Toppila, E., Pyykkö, I. & Pääkkönen, R., 2009. Evaluation of the Increased Accident Risk From Workplace Noise. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 15(2), ss.155–162.
- VNA, 2006. *Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta*,
- VNK, 2002. *Työturvallisuuslaki*, Finland.
- VNK, 1993. *Valtioneuvoston päätös henkilösuojaamista*,
- VTT, 2017. Hitsausäänidemo. Available at: www.vttresearch.com/wndemo/wnd_en.html [Viitattu kesäkuuta 30, 2017].
- WHO, 2007. Extremely low frequency fields. *Environmental Health Criteria 238*, Report., Geneva, Switzerland: World Health Organization (WHO).
- Yamaguchi-Sekino, S. ym., 2011. Measuring exposed magnetic fields of welders in working time. *Industrial health*, 49(3), ss.274–279.
- Zwicker, E., 1991. A proposal for defining and calculating the unbiased annoyance. Teoksessa *5th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics, Oldenburg, Germany*. Germany, ss. 187–202.

Liite A: Kyselylomake hitsaajille.

Taustatiedot

1. Ikä: _____ v
2. Onko sinulla allergioita?
3. Onko sinulla astmaa tai muita hengitystie-elinsairauksia?
4. Tupakoitko?
 Kyllä
 En
5. Oletko mielestäsi normaalikuuloinen?
 Kyllä
 Kuuloni on hieman heikentynyt
 Kuuloni on selvästi heikentynyt
6. Mikä on koulutuksesi (ammattitutkinto)?

Taustatiedot (jatkuu)

7. Sukupuoli:

Nainen

Mies

8. Minkä tyyppisissä hitsaukseen liittyvissä tehtävissä olet ollut aiemmin?

9. Kuinka kauan olet hitsannut? _____ v

Hitsaustyö

10. Kuvaile hitsaustyön vaiheita (aputyöt, varsinainen hitsaus yms.):

11. Mitkä ovat hitsaukseen liittyvät keskeiset työtehtäväsi, missä teet työtäsi?

12. Miten paljon hitsaat viikossa (MIG-hitsaus) keskimäärin: _____ h

13. Yhden hitsauskerran pituus? _____ h

14. Minkälaisissa työskentelyolosuhteissa hitsausta tehdään:

a. Ääniympäristö

b. Ilman laatu ja pöly

c. Valaistusolosuhteet

d. korkeat paikat

e. vuorotyö

f. ulkona/sisällä

g. iso/ahdas työtila

h. istuen/seisten

i. muut olosuhteet

15. Kuvaile yleisimmät tilanteet hitsauslaitteen sijainnille ja kaapelin kulkureitille hitsattaessa sekä käytössä olevan kaapelin pituus.
16. Mitkä asiat pitää olla kunnossa, jotta hitsaustyö sujuu siten, kuin teillä halutaan?
17. Millaisia MIG-laitekoonpanoja teillä on käytössä?

6. Turvallisuus

18. Mitkä työolosuhteet tai työturvallisuusasiat ovat mielestäsi teillä erityisen hyvin hoidettu? Minkälaisiin työolosuhteisiin tai työturvallisuuteen liittyviin seikkoihin tai ongelmiin olet törmännyt (esim. työn miellyttävyys, lämpömukavuus, ergonomia...)?

7. Suojaimet ja työvaatetus

19. Mitkä ovat hitsaustyösi normaalit suojarusteet (kuulo, hengitys, suojavaatetus, muuta)?
20. Aiheuttaako työympäristö jotakin erityisvaatimuksia suojaautumiselle?
21. Mikä motivoi sinut käyttämään suojaimia? Ovatko suojaimet hyviä, vai onko niiden käytössä ongelmia? Kuinka usein otat suojaimet pois?
22. Kuinka suojaimia ja suojavaatteita huolletaan? Huoltoväli/vaihtoväli eri suojaimille?

8. Ohjeet

23. Mitä työohjeita käytät?
24. Miten käytät työohjeita (esim. paperimanuaalit tai sähköiset tiedostot)?
25. Millaiset suojausohjeet ja ohjeet suojavälineiden hankintaan ja käyttöön teillä on?
26. Oletko tutustunut suojaimien käyttöohjeisiin?

9.

10. Muut

27. Avoimet kehitysehdotukset?

Nimeke	Hitsaajan työolosuhteiden parantaminen Loppuraportti. TSR-hanke 114388
Tekijä(t)	Marko Antila, Inga Mattila, Heli Koskinen, Tommi Alanko, Heikki Isomoisio, Jari Kataja & Hannu Salmela
Tiivistelmä	<p>HITOP-hankkeen tuloksena on saatu tuoretta tutkimustietoa hitsaustilanteen olosuhteista ja hitsaajan suojauksen toimivuudesta sekä kehitystarpeista. Pääasiallisena tutkimuskohteena olivat MIG-hitsaajat. Erityisesti tutkittiin magneettikenttien vaikutuksia, mutta niiden lisäksi tutkittiin hitsausmelua ja hengitysilman laatua.</p> <p>Sähkömagneettinen altistuminen hitsauksen aikana on vähäisempää kuin alussa syntyvän maksimipiikin aikana. ICNIRP 2010 mukaisten suositusten mukaan sadan prosentin suositusarvo ylittyi vain maksimipiikin aikana. ICNIRP 2010 suositus vastaa Suomessa käytössä olevaa työntekijärajaa. Hitsauksen aikaiset sähkömagneettiset kentät ylittivät sadan prosentin altistusarvon noin 25 prosentissa mitatuista tilanteista. Hitsaajan altistumisen suuruus riippuu hitsaajan tavasta hitsata. Laadullisesti hyvä hitsausjälki tarkoittaa myös hitsaajan pienempää altistumista magneettikentille. Edelleen, saatujen tulosten perusteella löydettiin kaksi kalvomateriaalia, joilla on potentiaalia suojata sähkömagneettiselta säteilyltä ja joita voitaisiin käyttää suojainratkaisuissa.</p> <p>Hitsausmeluun liittyen hankkeen tuloksena syntyi suosituksia ja menetelmiä hitsaajan suojainten valintaan, samoin kuin tapoja hitsausmelun tuomiseen hallitusti hitsaajalle siten, että äänestä välittyvä tieto työn sujuvuudesta säilyy. Henkilökohtaisten tulppasuojaimien todettiin olevan hyvä vaihtoehto hitsaus- ja konepajamelulta suojautumiseen.</p> <p>Hengitysilman osalta hitsaajien tilanne on pääosin kunnossa käytettäessä puhaltimella varustetun suodatinuojainta. Suojainta tulee kuitenkin käyttää ohjeistuksen mukaisesti, eikä sitä saa esimerkiksi ottaa pois liian aikaisin hitsaustyön päätyttyä. Sen sijaan muiden hitsaajien lähellä toimivien työntekijöiden tilanne hengitysilman osalta on huonompi, ja heidän tilannettaan tulisi parantaa kaikin käytettävissä olevin keinoin.</p> <p>Hanketta rahoittivat Työsuojelurahasto, VTT Oy, Työterveyslaitos, Kemppe Oy, Meyer Turku Oy, Oticon Oy, Leijona Group Oy sekä ATEX Ammattiasut Oy. Hanke toteutettiin aikavälillä 1.1.2015 - 15.11.2016. Projektin toteuttivat VTT Oy sekä Työterveyslaitos. Hankkeen tuloksia alettiin julkistaa vuoden 2016 aikana ja loppuraportti on julkinen vuonna 2018.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8648-6 (nid.) ISBN 978-951-38-8647-9 (URL: http://www.vtt.fi/julkaisut) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Painettu) ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8647-9
Julkaisu-aika	Toukokuu 2018
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	63 s. + liitt. 4 s.
Projektin nimi	HITOP - Hitsaajan työolosuhteiden parantaminen. Työsuojelurahaston hanke 114388.
Rahoittajat	Työsuojelurahasto, VTT Oy, Työterveyslaitos, Kemppe Oy, Meyer Turku Oy, Oticon Oy, Leijona Group Oy sekä ATEX Ammattiasut Oy.
Avainsanat	Hitsaus, MIG, magneettisuojaus, melu, ilman laatu, suojain
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111

Title	Improvement of the welders' work conditions Final report. The Finnish Work Environment Project 114388
Author(s)	Marko Antila, Inga Mattila, Heli Koskinen, Tommi Alanko, Heikki Isomoisio, Jari Kataja & Hannu Salmela
Abstract	<p>As a result of the HITOP project, fresh research data have been obtained on the conditions of the welding and on the performance of the welding protection, as well as on the development needs. The main research topic was the MIG welding. In particular, the effects of magnetic fields were studied. Additionally, welding noise and air quality were studied.</p> <p>Electromagnetic exposure during welding is less than during the initial peak. According to the recommendations in ICNIRP 2010, the recommended value of 100 % was exceeded only during the initial peak. ICNIRP 2010 recommendation corresponds to the employee exposure limit in Finland. Electromagnetic fields during welding exceeded the 100% exposure value in about 25% of the measured situations. The amount of the welder's exposure depends on the welder's way of welding. A qualitatively good welding result also means less exposure to magnetic fields. Further, based on the results obtained, two film materials were found which have the potential to protect against electromagnetic radiation and which could be used in personal protection solutions.</p> <p>Regarding to the welding noise, the project resulted in recommendations and methods for selecting welding protectors, as well as ways to bring welding noise to the welder in a controlled manner, so that information included in the welding noise remains. Personalised earplugs were found to be a good option for protection against welding, machinery and tool noise.</p> <p>In the case of breathing air, the working condition of the welders is fine when they use the Powered air-purifying respirator (PAPR). However, PAPR must be used in accordance with the instructions and may not, for example, be removed too soon after the end of the welding work. On the other hand, the situation of workers near the welders is worse with regard to the air quality, and their situation should be improved by all available means.</p> <p>The project was sponsored by the Finnish Work Environment Fund (Työsuojelurahasto), VTT Ltd, Finnish Institute of Occupational Health, Kemppi Oy, Meyer Turku Oy, Oticon Oy, Leijona Group Oy and ATEX Ammattiasut Oy. The project was lasted from 1 January 2015 to 15 November 2016. The project reasearch part was carried out by VTT and the Finnish Institute of Occupational Health. The first results of the project were presented in 2016 and the final report will be public in 2017.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8648-6 (Soft back ed.) ISBN 978-951-38-8647-9 (URL: http://www.vttresearch.com/impact/publications) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-1211 (Print) ISSN 2242-122X (Online) http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8647-9
Date	May 2018
Language	Finnish, English abstract
Pages	63 p. + app. 4 p.
Name of the project	HITOP. The Finnish Work Environment Project 114388
Commissioned by	The Finnish Work Environment Fund, VTT LTd, Työterveyslaitos, Kemppi, Meyer Turku, Oticon Oy, Leijona Group Oy sekä ATEX Ammattiasut Oy.
Keywords	welding, electromagnetic influence, noise, air quality
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111

Hitsaajan olosuhteiden parantaminen

Loppuraportti. TSR-hanke 114388

HITOP-hankkeen tuloksena on saatu tutkimustietoa hitsaustilanteen olosuhteista ja hitsaajan suojausten toimivuudesta sekä kehitystarpeista. Tutkimuskohteena olivat MIG-hitsaajat. Erityisesti tutkittiin magneettikenttien vaikutuksia, mutta niiden lisäksi tutkittiin hitsausmelua ja hengitysilman laatua.

Sähkömagneettinen altistuminen hitsauksen aikana on vähäisempää kuin alussa syntyvän maksimipiikin aikana. Suosituarvot ylittyivät vain muutamissa tapauksissa. Hitsaajan altistumisen suuruus riippuu hitsaajan tavasta hitsata. Laadullisesti hyvä hitsausjälki tarkoittaa myös hitsaajan pienempää altistumista magneettikentille. Saatujen tulosten perusteella löydettiin kaksi kalvomateriaalia, joilla on potentiaalia suojata sähkömagneettiselta säteilyltä ja joita voitaisiin käyttää suojainratkaisuissa.

Hitsausmeluun liittyen hankkeen tuloksena syntyi suosituksia ja menetelmiä hitsaajan suojainten valintaan, samoin kuin tapoja hitsausmelun tuomiseen hallitusti hitsaajalle siten, että äänestä välittyvä tieto työn sujuvuudesta säilyy. Henkilökohtaisten tulppasuojaimien todettiin olevan hyvä vaihtoehto hitsaus- ja konepajamelulta suojautumiseen.

Hengitysilman osalta hitsaajien tilanne on pääosin kunnossa käytettäessä puhaltimella varustetun suodatinsuojainta. Sen sijaan hitsaajien lähellä toimivien työntekijöiden tilanne hengitysilman osalta on huonompi, ja heidän tilannettaan tulisi parantaa.

ISBN 978-951-38-8648-6 (nid.)
ISBN 978-951-38-8647-9 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)
ISSN-L 2242-1211
ISSN 2242-1211 (Painettu)
ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8647-9>