

HITSAUSÄÄNEN JA SITÄ VAIMENTAVIEN KUULONSUOJAIMIEN KUUNNELTAVA MALLI

Marko Antila¹, Jari Kataja²

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
PL 1300
33101 TAMPERE

¹ marko.antila@vtt.fi

² jari.kataja@vtt.fi

Tiivistelmä

Hitsaajan on tärkeää pystyä arvioimaan ja ohjaamaan työtään hitsauksesta syntyvän äänen avulla. Hitsausympäristö sisältää kuitenkin usein myös muita, häiritseviä sekä mahdollisesti kuuloa vaurioittavia ääniä, joilta pitää suojautua. Kuulonsuojaimien valinnassa voidaan käyttää apuna kehittämäämme kuunneltavaa mallia. Sen avulla voidaan tutkia melun vaikutuksia jo ennen kuulonsuojaimien valintaa ja käyttöä. Sillä voidaan myös kokeilla uudenlaisia kuulonsuojainmalleja, joita ei vielä todellisuudessa ole olemassa, sekä arvioida kuulonsuojauksen vaikutusta huonokuuloisilla henkilöillä. Malli koostuu sekä syntesoiduista että tallennetuista äänistä. Malli toimii tavallisessa kannettavassa tietokoneessa, ja lisäksi siitä on tehty kevyt verkkoversio, jota voi käyttää erilaisilla päätelaitteilla.

1 JOHDANTO JA TAVOITE

Hitsaustapahtuman tuottama ääni on tärkeä osan hitsaajan havainnoimaa hitsaustilannetta. Hitsausympäristö sisältää usein myös muita, häiritseviä sekä mahdollisesti kuuloa vaurioittavia ääniä, joita pitää vaimentaa riittävällä kuulonsuojauksella.

Arvioitaessa hitsaustapahtuman kuulonsuojausta voidaan testata erilaisia kuulonsuojaimia ja sen lisäksi käyttää apuna erilaisia malleja. Yksi tällaisista malleista on kuunneltava malli. Se on interaktiivinen audiosoitin, jossa mallin parametreja voi muuttaa kuuntelun aikana ja kuulla muutoksen vaikutus ääneen. Kuunneltavan mallin avulla voidaan tutkia melun vaikutuksia ja sen häiritsevyyttä. Vastaavanlaisia malleja on käytetty liikkuvien työkonoiden [1] ja tuulivoimaloiden [2] äänen arviointiin. Mallilla voidaan tutkia myös hitsausääntä ja muita siihen liittyviä äänikomponentteja [3].

Toteuttamamme hitsausäänen kuunneltava malli koostuu sekä syntesoiduista että tallennetuista äänistä. Se koostuu hitsausäänilähteestä sekä muista hitsausympäristöön liittyvistä äänilähteistä ja kuulonsuojaimen siirtotiemallista. Hitsausmenetelmissä olemme rajautuneet MIG-hitsaukseen.

Yksittäisiä äänikomponentteja voidaan kytkeä päälle tai pois päältä ja näin tarkastella niiden vaikutusta psykoakustiikan kannalta. Äänilähteitä ovat erilaiset hitsausäänet, taustamusiikki, kulmahiomakone ja pajavasara. Kuunneltavaan mallin on myös lisätty puhuttuja äänitallenteita. Mallilla voidaan siten tutkia puheäänen ymmärrettävyyttä hitsaukseen ja muuhun konepajatoimintaan liittyvässä taustamelussa. Kuunneltava malli on kehitetty alun perin taustamelun tutkimiseen tehdystä mallista [4]. Mallilla voidaan tutkia myös itse hitsausääntä ja muita siihen liittyviä äänikomponentteja, koska hitsausäänen luonteella on vaikutusta tarvittavaan kuulonsuojaukseen.



Kuva 1. Hitsaustapahtuma koehitsauskohteessa.

2 HITAUSTAPAHTUMA

Lähdesignaaleina olevat hitsausäänet mitattiin tyypillisessä hitsaustilanteessa, joka näkyy kuvassa 1. Hitsaajan vieressä vasemmalla on suojatakkiin ja kasvosuojaan puettu keinopää ja sen torso äänen binauraalista tallennusta varten. Varsinainen äänien tallennus tehtiin lähelle hitsausta asennetulla mittausmikrofonilla. Hitsaajalla oli suodattimella varustettu puhallinmaski, ja hitsaaja käytti kuulonsuojaukseen tulppasuojaimia.

MIG-hitsaustyyppinä olivat DC- ja pulssihitsaus, joista tehtiin myös äänitallenteet. Hitsattu materiaali oli 8 mm paksu teräs, jolle asetettiin sekä DC- että pulssihitsaukseen sopivat hitsausparametrit.

Taulukossa 1 on laskettu A-painotetut äänenpainetasot hitsausäänille, sekä L_{Aeq} että L_{Cpeak} -arvot. Pulssihitsauksen jatkuva äänenpainetaso on 10 dB korkeampi kuin DC-hitsauksen, mutta aloituspiikki DC-hitsauksessa on ollut voimakkaampi.

Taulukko 1. A-painotetut äänenpainetasot hitsausäänille.

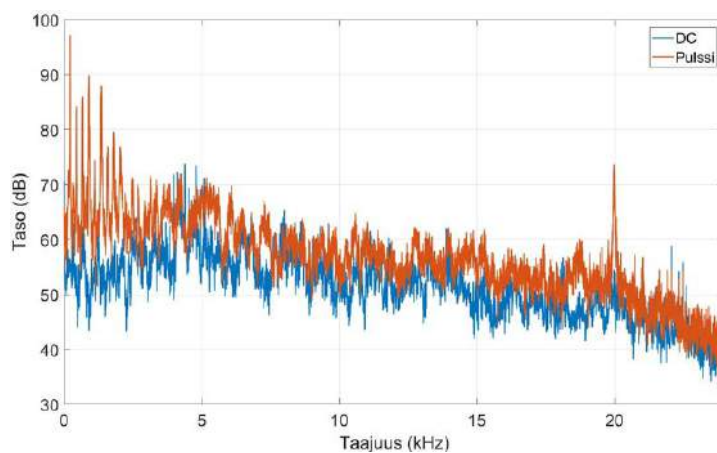
DC-hitsaus		Pulssihitsaus	
L_{Aeq}	L_{Cpeak}	L_{Aeq}	L_{Cpeak}
89	126	99	122

Artikkelissa [5] on tutkittu tarkemmin eri hitsaustyyppien ominaisuuksia laaduntarkkailun näkökulmasta. Yli 10 kHz taajuuksilla äänienergia on vähäistä verrattuna alle 10 kHz taajuuksiin, joten tarkastelu on rajoitettu pääasiallisesti alle 10 kHz taajuuksiin.

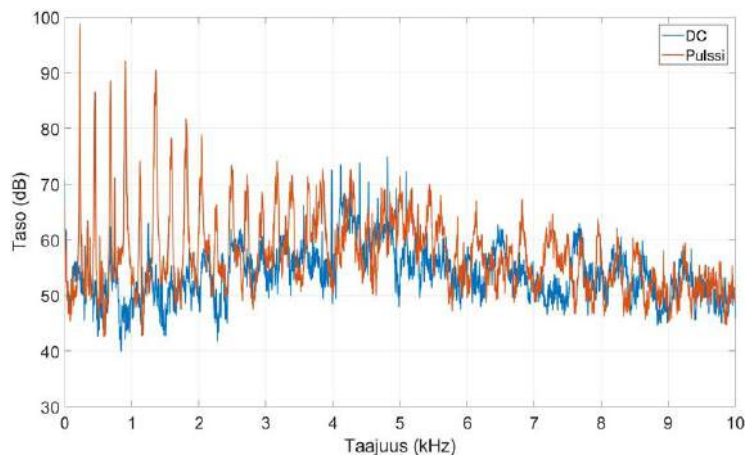
3 HITS AUSÄÄNET

Kokonaiskuvan saamiseksi DC- ja pulssihitsauksen tyypilliset spektrit on esitetty kuvassa 2 koko kuulualueelle. Kuvan spektreissä ovat mukana myös alkutransientit. Hitsaustyyppien äänten spektrit eroavat toisistaan. 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.

Kuvassa 3 on esitetty ero hitsauksen tasaisella osalla eri hitsausääniä välillä, rajautuen merkittävimpiin, alle 10 kHz taajuuksiin. Ero eri hitsaustyyppien välillä käy entistä selkeämmäksi tarkasteltaessa tätä jatkuvaa ääntä.

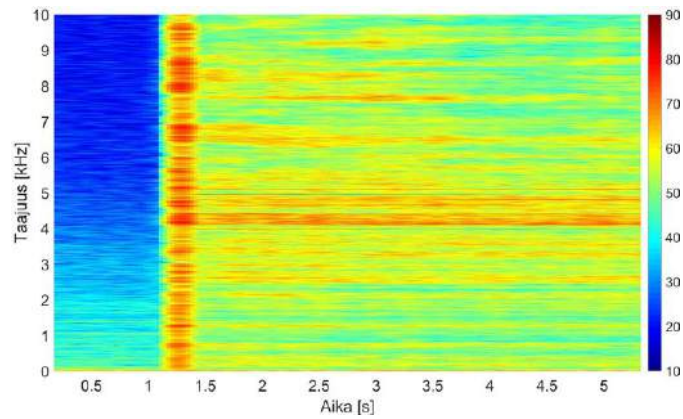


Kuva 2. DC- ja pulssihitsauksen spektrit koko kuulualueella mukaan lukien alkutransientit.

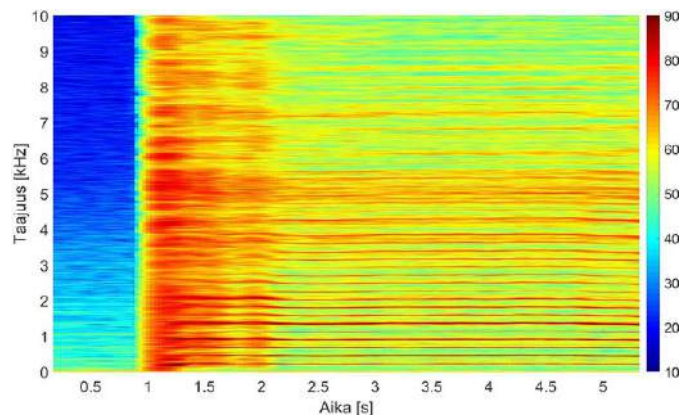


Kuva 3. Tasaisen hitsauksen spektrit.

Kuvissa 4 ja 5 on esitetty molempien hitsaustapojen spektrogrammit. Alkutransientti erottuu selvästi kummassakin spektrogrammissa. DC-hitsauksessa se on kestoaltaan n. 200 ms, mutta pulssihitsauksessa pidempi, noin 1 s. Jatkuvassa äänessä DC-hitsauksessa nousee selvästi esille taajuusalue välillä 4 kHz - 5 kHz, kun taas pulssihitsauksessa koko taajuuskaista aina noin 6,5 kHz asti nousee voimakkaasti esille.



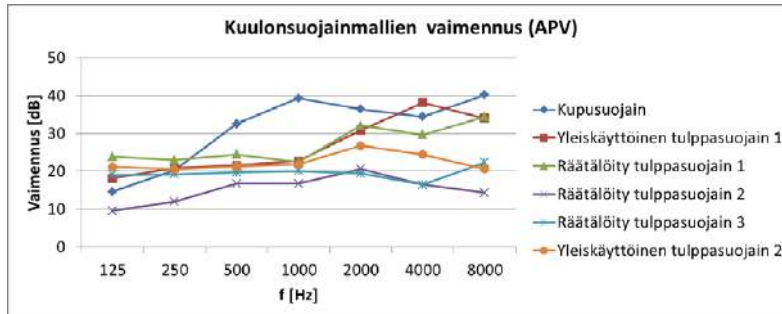
Kuva 4. DC-hitsauksen spektrogrammi.



Kuva 5. Pulssihitsauksen spektrogrammi.

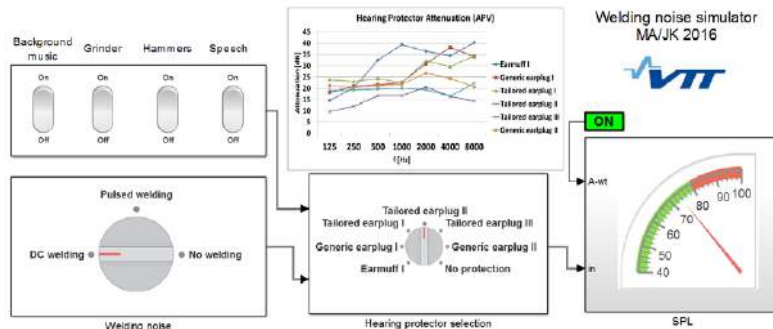
4 KUUNNELTAVA MALLI

Paras tapa suojautua hitsausmelulta on lähdemelun vähentäminen. Esimerkiksi MIG-hitsauksessa melua voidaan vähentää käyttämällä sopivaa pulssimuotoa [6]. Menetelmällä on kuitenkin rajoituksensa ja yleensä tarvitaan kuulonsuojaimia, joko kuppimaisia tai tulppamaisia. Suojainten tehokkuus ja käyttötarkoitus vaihtelevat. Kuvassa 6 on esitetty muutamien kuulonsuojainten vaimennuskäyrät. Tässä tutkitut suojaimet voidaan jaotella 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). Kunkin suojaintyyppin sopivuus hitsausmelun vaimentamiseen vaihtelee, ja siihen vaikuttavat hitsaustyyppi, taustamelun luonne sekä henkilökohtaiset mieltymykset.

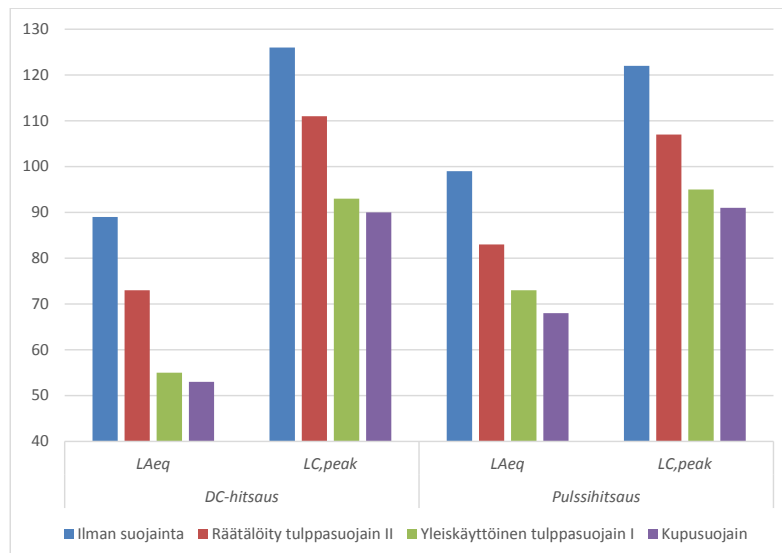


Kuva 6. Kuulonsuojainten vaimennuskäyriä desibeleinä.

Kuulonsuojainten vaikutusten arvioimiseksi tehtiin kuunneltava malli, jolla voidaan mallintaa suojaimien toimintaa erilaisissa olosuhteissa. Se on esitetty kuvassa 7. Jokainen melukomponentti voidaan kytkeä erikseen päälle tai pois päältä. Hitsausääni, pajavasaran ääni ja taustamusiikki ovat tallenteita ja kulmahiomakoneen ääni on syntetisoitu. Puheäänien tasot oli kalibroitu niin että ne vastasivat korotetun puheen tasoa, noin 70 dB(A).



Kuva 7. Kuunneltava malli hitsausäänille konepajaolosuhteissa.



Kuva 8. A-painotetut tasot eri hitsaustavoille ja muutamalle eri kuulosuojaintyyppille.

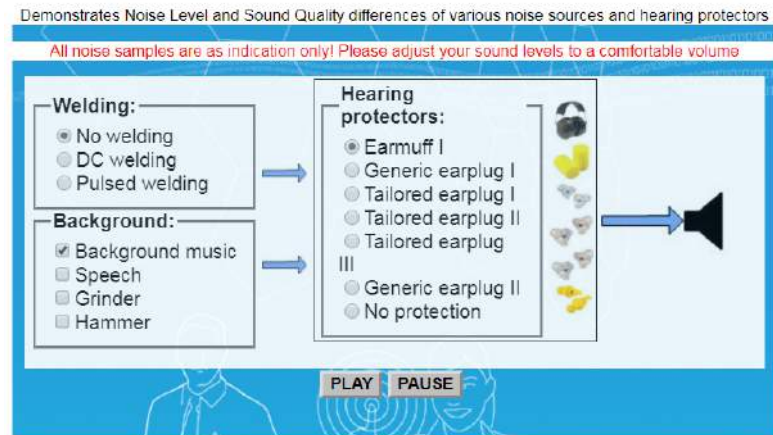
Kuulosuojaimet mallinnettiin suotimina, jotka muokkaavat alkuperäistä melua niin että lopputulos kuulostaa siltä kuin kuuntelijalla olisi kuulosuojaimet. Mallinnuksen lähtökohdaksi olivat kuulosuojainten vaimennuskäyrät, joista laskettiin ensin minimivaiheiset taajuusvasteet. Ne sisältävät sekä vahvistus- että vaihetiedon ja seuraavaksi vasteisiin sovitettiin IIR-tyyppiset suotimet. Suojainten mallintaminen tehtiin Matlabilla.

Kuunneltavaa mallia voidaan käyttää kuulosuojainten vaikutusten arviointiin. Kullekin suojaimelle laskettiin A-painotetut ekvivalenttiäänitasot (L_{Aeq}) ja C-painotetut piikkitasot (L_{Cpeak}). Näin lasketut tasot on esitetty kuvassa 8. Mallissa on oletettu, että kuulosuojaimien toiminta pysyy lineaarisella alueella. On mahdollista äänenpainetasojen kasvaessa, että kuulosuojaimet toimivat jossain määrin epälineaarisesti, mutta sitä ei ole tässä vielä huomioitu.

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 [8].

Ilman kuulosuojaimia sekä DC- että pulssihitsauksen tasot ylittävät 85 dB, kun taas kuulosuojainten kanssa kaikki L_{Aeq} -tasot ovat alle 85 dB, eli 85dB(A) alittuu varmasti 8 tunnin keskiäänitasona. Todellisessa altistusarvioinnissa täytyy olla käytössä myös tieto siitä, montaa tuntia hitsaaja tekee kyseistä työtä. Erilaisia työtehtävien äänitasot täytyy määrittellä erikseen. Sen jälkeen lasketaan työtuntitietojen perusteella ne yhteen ja siten saadaan altistus 8 tunnille. Käytännössä kuulosuojaimet eroavat toisistaan äänenlaadun ja erilaisten melukomponenttien kuultavuuden osalta. Mikään suojain ei sovellu hyvin kaikkiin tarkoituksiin.

Welding noise demonstrator



Kuva 9. Kuunneltavan mallin verkkoversio.

5 MALLIN VERKKOVERSIO

Kuunneltavasta mallista tehtiin myös julkisesti käytettävä kokeiloversio, joka löytyy www-osoitteesta www.vttresearch.com/wndemo/wnd_en.html [9]. Sen ruudunkaappaus on kuvassa 9. Siinä voi käyttäjä valita hitsaustyyppin, yhden tai useamman taustamelutyypin sekä erilaisia kuulonsuojainvaihtoehtoja, ja kokeilla miltä ne kuulostavat toisiinsa verrattuna. Demo ei pyri kuvaamaan mitään absoluuttista tilannetta vaan sitä, miltä äänet kuulostavat toisiinsa verrattuna.

6 YHTEENVETO

Hitsausääntä ja sen vaimentamista voidaan arvioida kuunneltavan mallin avulla. Kuunneltava malli on käytettävissä myös julkisena verkkoversiona. Erilaiset hitsausolosuhteet vaativat erilaista kuulonsuojausta, ja eri vaihtoehtoja voidaan arvioida jo etukäteen kuunneltavan mallin avulla. Kuunneltavan mallin kehitystyö jatkuu kuulonsuojaimien osalta. Jatkotutkimuksen arvoisia osa-alueita ovat häiritsevyyden arviointi, kuulonsuojaimien epälineaarisuudet ja ei-ideaalit kuulonsuojaimien käyttötilanteet.

KIITOKSET

Kiitokset Työsuojelurahastolle työn rahoittamisesta HITOP-hankkeen (TSR-hanke 114388) puitteissa. Samoin kiitokset hankkeeseen osallistumisesta ja sen osarahoittamisesta seuraaville yrityksille: Kemppi, Meyer Turku, Atex Workwear, Leijona Group ja Oticon. VTT ja Työterveyslaitos olivat hankkeen tutkimusosapuolina ja myös osarahojittajina.

VIIITTEET

- [1] M. Antila, J. Kataja, ja E. Kokkonen, "Virtual engine and ventilation noise generation for an underground loader cabin", teoksessa *Aachen Acoustic Colloquium 2013, Aachen, Germany*, 2013, ss. 167–174.
- [2] R. Pieren, K. Heutschi, M. Müller, M. Manyoky, ja K. Eggenschwiler, "Auralization of wind turbine noise: Emission synthesis", *Acta Acust. united with Acust.*, vsk. 100, nro 1, ss. 25–33, 2014.
- [3] M. Antila, J. Kataja, H. Isomoisio, H. Koskinen, ja T. Koistinen, "Intelligent protection from welding noise", teoksessa *Proceedings of Baltic-Nordic Acoustic Meeting 2016 (BNAM 2016)*, 2016.
- [4] M. Antila, J. Kataja, H. Isomoisio, ja H. Nykänen, "Recording, evaluation and artificial real-time creation of metal workshop noise", teoksessa *Proceedings of Baltic-Nordic Acoustic Meeting 2014 (BNAM 2014)*, 2014.
- [5] K. Pal, S. Bhattacharya, ja S. K. Pal, "Investigation on arc sound and metal transfer modes for on-line monitoring in pulsed gas metal arc welding", *J. Mater. Process. Technol.*, vsk. 210, nro 10, ss. 1397–1410, heinä 2010.
- [6] D. Iordachescu, L. Quintino, R. Miranda, ja G. Pimenta, "Influence of shielding gases and process parameters on metal transfer and bead shape in MIG brazed joints of the thin zinc coated steel plates", *Mater. Des.*, vsk. 27, nro 5, ss. 381–390, tammi 2006.
- [7] P. Series, "Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks", *ITU-T Rec*, 2008.
- [8] NoiseMeters Inc., "Maximum, Minimum and Peak Sound Level", *Min, Max, Peak FAQ*, 2008. [Verkossa]. Saatavissa: <https://www.noisemeters.com/help/faq/min-max-peak.asp>. [Viitattu: 31-maalis-2017].
- [9] VTT, "Hitsausäänidemo", 2017. [Verkossa]. Saatavissa: www.vttresearch.com/wndemo/wnd_en.html. [Viitattu: 30-kesä-2017].