

# **KAIVOSKONEEN MELU**

**Velipekka Mellin**

Sandvik Mining and Construction Oy  
PL 434, 20101 TURKU  
velipekka.mellin@sandvik.com

## **1 JOHDANTO**

Melu on kaikelle kaivostoiminnalle yhteinen terveysriski [1]. Altistuminen melulle ja kuulovauriot ovat yleisiä kaivostoiminnassa. Yhdysvaltain kansallinen työturvallisuus ja -terveysinstituutti, NIOSH, on arvioinut että Yhdysvaltalaisien kaivostyöntekijöiden päivittäinen meluallistus ylittää 85 dB 80 % tapauksista ja 90 dB 25 % tapauksista [2]. NIOSH on vuosina 1996 ja 1997 todennut että 90%:lla Yhdysvaltalaisista hiilikaivostyöntekijöistä ja 49%:lla muista kaivostyöntekijöistä oli meluvamma 50-vuotiaana [3, 4].

Maanalaisissa kaivoksissa käytettävien kaivoskoneiden ulkomelulle ei yleisesti ole rajoituksia. Eräissä maissa lainsäädäntö ja siitä johdetut turvallisuusstandardit rajoittavat laitteiden operaattoreiden meluannosta siten että käytännössä suurin sallittu käyttäjän paikan melu on 82 dB. Tämä yleensä edellyttää suljetun ohjaamon asentamista. Näin ei kuitenkaan ole kaikissa maissa. Kaivostoimintaa käydään usein matalien työvoimakustannusten alueilla, jolloin kuljettajien terveys tai ergonomia ei ole etusijalla. Näille alueille usein hankitaan turvakatoksellisia laitteita ohjaamalla varustettujen sijaan.

Kaivoskäyttöön suunniteltujen laitteiden ensisijaiset valintaperusteet ovat maksimaalinen tuottavuus sekä huollon toimivuus. Kehittyneissä maissa yhä enenevässä määrin huomiota kiinnitetään kuitenkin myös kuljettajien työskentelyolosuhteisiin. Osin tämä johtuu lainsäädännöstä, osin työvoimapulasta.

Tässä paperissa käsitellään maanalaiseen kaivostoimintaan tarkoitettua LHD-koneen hyttimelua.

## **2 LHD-KONEET**

Maanalaisessa kaivostoiminnassa malmin tai muun kiviaineksen lastaukseen ja kuljetukseen käytetään yleisimmin LHD-koneita (Load-Haul-Dump). Poraus- ja räjäytyslouhinnassa nopea ja tehokas louheen kuljetus merkitsee nopeampaa louhintasykliä ja koneiden tehokkaampaa käyttöä. LHD-kone on painonjakaumansa, suuren kauhansa ja suuren kuljetusnopeutensa ansiosta maanalaisessa toiminnassa tavallista pyöräkuormaajaa tehokkaampi [5].

LHD-koneen työkiertoon kuluva aika on tärkeä arvioitaessa koneen tuottavuutta. Työkiertoon kuluva aika koostuu ajoajasta sekä kauhan täyttöajasta. Ajoaikaan voidaan vaikuttaa koneen ajo-ominaisuuksilla ja jarrujen tehoilla. Kauhan täyttöaikaan vaikuttavat monet seikat: esimerkiksi koneen omamassa, kitka renkaiden ja alustan välillä, moottoritaho, hydrauliiikka ja rungon jäykkyys [6].

Sähkökäyttöisten LHD-koneiden käyttö on 1980-luvulta lähtien lisääntynyt. Sähkökäyttöisillä LHD-koneilla on useita, lähinnä ympäristöön liittyviä etuja. Pääosa LHD-laitteista on kuitenkin edelleen dieselkäyttöisiä [7].

Sandvik valmistaa kahdeksaa eri dieselkäyttöistä LHD-mallia 1-21 tonnin kuljetuskapasiteetilla sekä yhdeksää sähkökäyttöistä LHD-mallia. Dieselkäyttöisiä LHD-koneita toimitetaan useiden eri moottorivalmistajien moottoreilla

## **2.1 LHD-koneiden mitoituksesta**

Kaivoskäyttöön suunniteltujen pyöräkuormaajien moottorit mitoitetaan siten että ne pystyvät kuljettamaan suunnitellun lastin mahdollisimman tehokkaasti. Maanalaisissa kaivoksissa koneiden tulee pystyä kuljettamaan lastia 1:5 (20%) mäkeä. Yleensä suurimmat tehot tarvitaan kuitenkin malmikasaan tunkeutumiseen.

Jäähdytysjärjestelmä mitoitetaan moottoritoimittajan ohjeiden mukaisesti. Yleisesti mitoituksella pyritään saamaan aikaan riittävä jäähdytysteho maksimikuormituksen mukaisesti ulkoilman lämpötilan ollessa 50-55° C. Maanalaisissa kaivoksissa lämpötila voi geotermisen lämmön tai työkoneiden tuottaman lämpökuorman vuoksi kohota näihin lämpötiloihin ja ylikin.

Moottoreiden päästörajoitukset voivat näkyä työkoneiden melussa siten että mikäli päästöjä vähennetään käyttämällä pakokaasun takaisinkierätystä, vaaditaan lisää jäähdytystehoa pakokaasujen jäähdytykseen. Päästörajoitusten vaatimukset koskevat yleensä lähinnä Euroopan ja USA:n aluetta. Kaivostoiminnan painopiste on kuitenkin maissa joissa ei päästörajoituksia yleensä ole. Näissä maissa polttoaineen rikkipitoisuus ja puhtaus sekä huollon laatu ei myöskään välttämättä mahdollista uuden sukupolven moottoreiden käyttöä.

## **2.2 LHD-koneen ohjaamomeluun vaikuttaminen**

Kaivoskoneen valmistajan on pyrittävä käyttämään ensisijaisesti vakioituja tai saatavissa olevia komponentteja. Valmistetut sarjat ovat pieniä eikä kaivoskoneen valmistajalla ole kovin paljon sananvaltaa komponenttien suunnitteluun. Jossain määrin komponenttien valinnalla voidaan vaikuttaa meluun, mutta komponenttien toiminta- ja toimitusvarmuus ovat pääomavaltaisella kaivosalalla erittäin suuressa roolissa komponentteja valitessa.

Laitevalmistaja voikin parhaiten vaikuttaa melun siirtoteihin ja ohjaamon vasteeseen.

LHD-koneiden ohjaamot valmistetaan turvallisuussyistä paksusta teräslevystä ja ovat siksi melko hyvin ääntä eristäviä. Haasteita ohjaamomelun torjunnalle asettavat lähinnä tarvittavat läpiviennit sekä runkomelun torjunta. Ohjaamon sisälle on sijoitettu joitain absorptiomateriaaleja, mutta niiden käyttöä rajoittaa se, että ohjaamojen halutaan pölyisten ja mutaisten työolosuhteiden vuoksi olevan pestävissä painepesurilla. Myös paloturvallisuus on kaivostoiminnassa ensiarvoisen tärkeää.



*Kuva 1. Sandvik LH514 LHD-kone.*

### **3 MITTAUKSET**

#### **3.1 Sandvik LH514**

Sandvik LH514 on 14 tonnin hyötykuormalle mitoitettu LHD-kone, jonka omapaino on 38 tonnia (kuva 1). Koneessa yleisesti käytetään Detroit S60, 243 kW:n 14 litran kuusisylinteristä dieselmoottoria.

#### **3.2 Äänenpainesignaalien tallennus**

LH514 – koneesta tallennettiin äänenpainesignaali kuljettajan pään vierestä erilaisissa käyttöolosuhteissa. Koneita käytettiin puolivapaassa kentässä ulkona. Tallennuksia tehtiin kuormittamattomana tyhjäkäynnillä siten että ilmanvaihtopuhallin oli puoliasennossa ja puhaltimen täydellä nopeudella. Paikallaan kuormittamattomana tehtiin myös moottorin kierrosluvun nosto tyhjäkäynniltä maksimikierroksille (ylösajo, 700–2180 rpm). Tämän lisäksi konetta ajettiin kiihdyttäen paikaltaan noin 20 km/h nopeuteen vaihtaen vaihteita kiihdytyksen aikana. Lisäksi tallennettiin signaali simuloidun työkierron aikana. Simuloitu työkierto tehtiin lastaamalla kauha täyteen kiveä kasalla, peruuttamalla pieni matka, ajamalla takaisin kasalle ja tyhjentämällä kauha takaisin kasaan. Moottorin jäähdytyspuhallin ei ollut käytössä mittausten aikana.

Tallennukset analysoitiin 01dB:n dBFA32- ohjelmalla. A-painotettuja äänenpainetasoja tarkasteltiin kapeakaistaspektrien avulla. Äänenpainesignaali analysoitiin myös ajan funktiona melulähteiden identifioimiseksi.

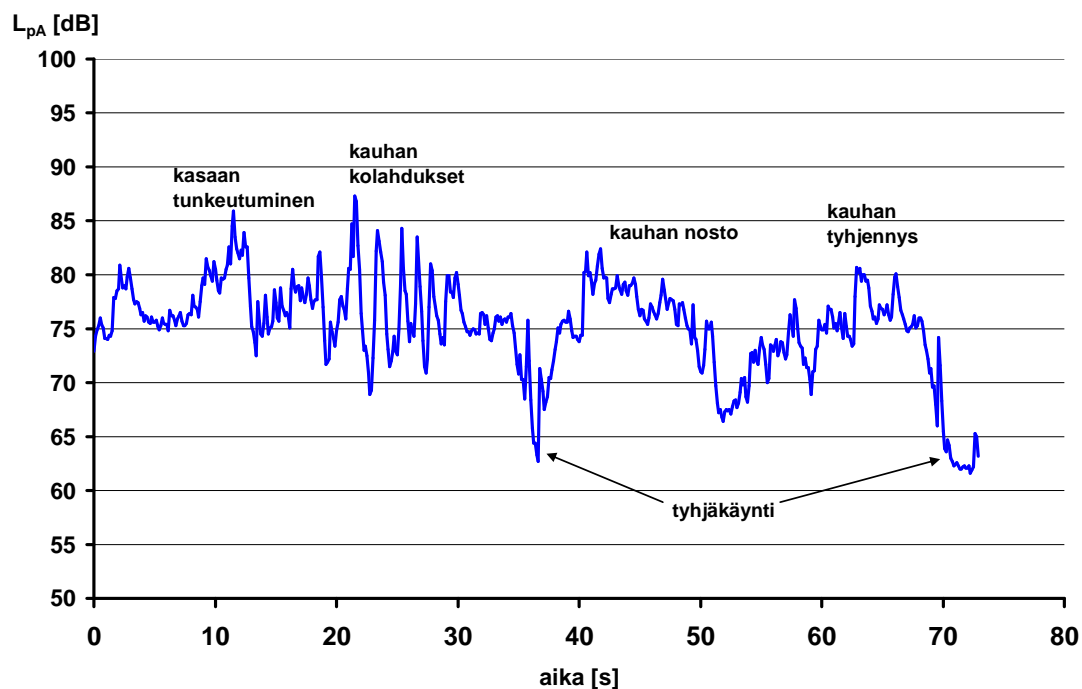
### **4 TULOKSET**

Käyttäjän paikalla mitatut A-painotetut äänenpainetasot (taulukko 1) ovat tutkituissa käyttötilanteissa alle 80 dB, osoittaen ohjaamon ääneneristyksen toimivan hyvin. Kuormittamattomana ohjaamomelu on maksimikierroksilla 71 dB. Koneita kuormittaessa ohjaamomelu lisääntyy noin 6–7 dB. On huomattava että ilmanvaihtopuhallin täydellä teholla on yhtä merkittävä melulähde kuin kuormitettu kone.

Taulukko 1. A-painotettu äänenpainetaso käyttäjän paikalla eri käyttötilanteissa.

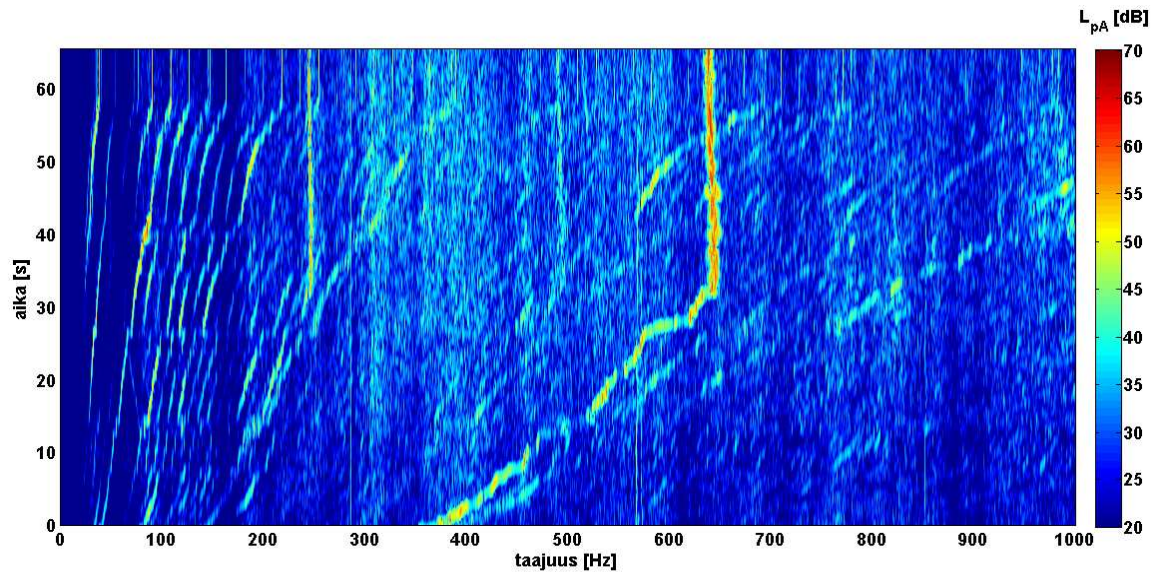
mittaus	$L_{pA}$ [dB]
tyhjäkäynti, ilmanvaihto puoliasennossa	64
tyhjäkäynti, ilmanvaihto täydellä teholla	77
maksimikierrokset, kuormittamaton	71
kiihdytys	78
lastaus	77

Simuloidun lastaussyklin aikana äänenpainetaso ohjaamossa vaihteli tapahtuman mukaan (kuva 2). Äänenpainetaso oli suurimmillaan kauhan kolahtelun aikana sekä kasaan tunkeutumisen aikana.



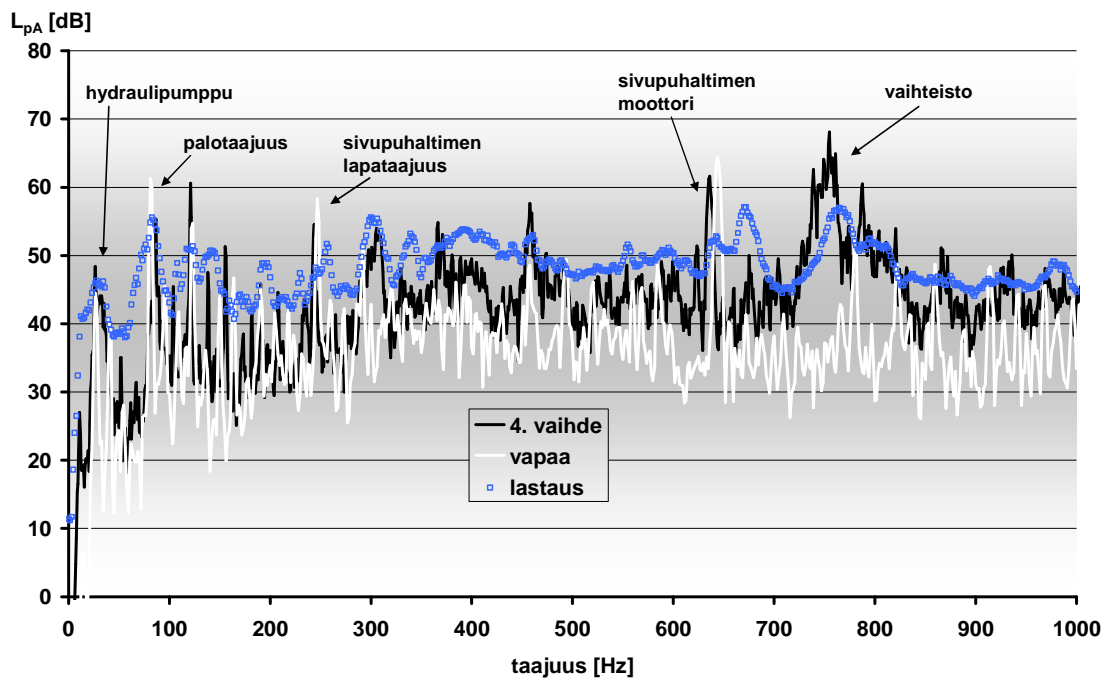
Kuva 2. A-painotettu äänenpainetaso ohjaamossa simuloidun lastaussyklin aikana.

Ylösajomittauksen taajuusanalyysi ajan funktiona (kuva 3) viittaa siihen että A-painotetun hyttimelun tärkeimmät lähteet ylösajon aikana ovat moottori, hydraulikkapumppu ja voimansiirron ja hydraulikan jäähdytyspuhallin, ns. sivupuhallin. Kuvassa 3 havaitaan voimakkaimpina hydraulikkapumpun pyörimistaajuus, monet moottorin liittyvät tonaaliset komponentit, tärkeimpänä moottorin palotaajuus, sekä sivupuhaltimen liittyvät taajuudet. Sivupuhaltimen kierrokset nousevat tässä mittauksessa moottorin kierrosten mukaan ylösajossa noin 30 sekuntia, jonka jälkeen puhallin on saavuttanut täyden nopeutensa. Kuvassa 3 voimakkaina näkyvät sivupuhaltimen täyden nopeuden lapataajuutta vastaava 254 Hz sekä vielä voimakkaampi oletettavasti puhaltimen moottorin rattaistoon liittyvä 640 Hz:n ääni.



Kuva 3. Värikartta A-painotetusta hyttimelusta ylösajon aikana. Maksimikierrosluku on saavutettu noin 60 s kohdalla.

Verrattaessa ohjaamomelun A-painotettua spektriä suurimmalla vaihteella vaihde vapaalla mitattuun spektriin (kuva 4), havaitaan vaihteistomelun olevan merkittävin yksittäinen melulähde ajon aikana. Yleisesti sivupuhaltimen aiheuttama melu on molemmissa tapauksissa samaa luokkaa moottorimelun kanssa. Lastauksen aikana moottorin kierrosnopeus vaihtelee jonkin verran ja sen vuoksi melun keskimääräinen spektri on jossain määrin levinnyt. Laajakaistaisuutta lisää myös kauhan kolahtelu. Merkittävimmät melulähteet ovat kuitenkin lastauksen aikana samat kuin muissa käyttötilanteissa.



Kuva 4. Ohjaamomelun A-painotettu spektri alle 1000 Hz:n taajuuskaistalla eri käyttötilanteissa. Moottorin kierrosnopeus 1700 rpm 4. vaihteella ajattaessa ja vapaalla. Melu lastauksen aikana on keskimääräinen äänenpainetaso työkierron aikana. Kuvaan merkitty eräiden tunnistettujen melulähteiden aiheuttamat piikit.

## 5 YHTEENVETO

Melu on yleinen terveysriski kaivostoiminnassa. Kehittyneissä maissa enenevässä määrin kiinnitetään huomiota kaivoskoneiden kuljettajien työskentelyolosuhteisiin ja samalla on asetettu vaatimuksia koneiden melutasoon käyttäjän paikalla. Näiden vaatimusten täyttämisen edellyttää suljetun ohjaamon käyttöä.

Kaivoskoneen valmistaja voi vaikuttaa ohjaamomeluun parhaiten melun siirtoteihin ja ohjaamon rakenteeseen vaikuttamalla. Kaivostoiminnan olosuhteet ja vaatimukset, kuten likaisuus, korkea lämpötila ja törmäys- ja paloturvallisuus tulee ottaa erityisen hyvin huomioon melun-  
torjuntatoimenpiteitä kaivoskoneeseen suunniteltaessa.

Tehtyjen mittausten perusteella ohjaamojen ääneneristys toimi hyvin ja A-painotetut äänenpainetasot ohjaamossa olivat tutkituissa olosuhteissa alle 80 dB. Tärkeimmiksi melulähteiksi identifioitiin koneen hydraulikka, moottori, hydraulikan jäähdytys ja vaihteisto. Moottorin jäähdytyspuhaltimen vaikutusta meluun ei tarkasteltu tässä työssä.

## VIITTEET

1. MCBRIDE D.I., Noise-induced hearing loss and hearing conservation in mining. *Occupational Medicine* **54**(2004)5, 290–296.
2. <http://www.cdc.gov/NIOSH/mining/highlights/programareahighlights14.htm>. viitattu 18.4.2009.
3. FRANKS J. R. Analysis of Audiograms For a Large Cohort of Noise-Exposed Miners - Technical report: National Institute for Occupational Safety and Health. 1996.
4. FRANKS J. R. Prevalence of Hearing Loss for Noise-Exposed Metal/Nonmetal Miners - Technical report: National Institute for Occupational Safety and Health. 1997.
5. HEINIÖ M (TOIM.), *Rock Excavation Handbook*. Sandvik Tamrock Corp., 1999.
6. PUHAKKA T (TOIM.), *Underground Drilling and Loading Handbook*. Tamrock Corp., Tampere 1997.
7. HAKAPÄÄ A, LAPPALAINEN P (TOIM.), *Kaivos- ja louhintatekniikka*. Kaivannaisteollisuusyhdistys ry ja Opetushallitus, Vammala 2009.