

KALLIOPORAUSÄÄNTEN SUBJEKTIIVINEN ARVIOINTI

Sami Oksanen¹, Tuomo Pirinen², Vesa Välimäki¹

¹ TKK, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos
PL3000, 02015 ESPOO
etunimi.sukunimi@tkk.fi

² Sandvik Mining and Construction
PL100, 33311 TAMPERE
etunimi.sukunimi@sandvik.com

1 JOHDANTO

Työperäiset kuulovauriot ovat kallioporareilla hyvin yleisiä kuulon suojauksesta huolimatta. Kuulovauriot syntyvät yleisimmin pitkäaikaisen altistuksen tuloksena. Meluongelma on pyritty ratkaisemaan poravaunun hytin äänieristyksellä, kuulosuojaimilla ja erilaisilla poralaitteiston kotelointiratkaisuilla [1]. Eräs ratkaisumahdollisuus on etäohjaus, jossa operaattori ohjaa laitetta turvallisen matkan päästä. Porarien on todettu käyttävän ääntä hyväkseen kallioporan ohjauksessa, sekä häiriöiden että kalustovaurioiden havaitsemisessa. Tämän vuoksi olennaiset äänivihjeet tulee välittää etäohjauspäätteelle.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää operaattorien kykyä käyttää äänivihjeitä poraustilanteen tarkkailussa. Tutkimusmenetelmänä käytettiin kuuntelukoetta, jonka avulla selvitettiin operaattorien kykyä erotella ja luokitella poraustilanteita äänivihjeiden perusteella. Kuuntelukokeen ääninäytteet koostettiin koeporausten yhteydessä tallennetuista äänisignaaleista.

2 KALLIOPORAUKSEEN LIITTYVÄT ÄÄNET

Poralaitteistot ovat äänekkäitä. Tämä johtuu käytettävästä porausperiaatteesta [2] sekä porauksen tarvitsemasta moottoritehosta. Porattaessa reikiä kovaan kiveen (esim. graniittiin) on hydraulinen, päältäiskevä poraus hyötysuhteeltaan, tehokkuudeltaan ja kustannuksiltaan paras vaihtoehto. Pääältäiskevässä porauksessa iskuenergia tuotetaan hydraulisella vasaralla ja välitetään jännitysaaltona teräksisten poratankojen kautta poran teränä käytettävään kruunukappaleeseen [3]. Porareiässä rikkoutuva kivi poistetaan paineilma- tai vesihuuhtelulla, joka välitetään tankojen keskiosan kautta.

Vasaran isku saa poratangot värähtelemään ja näin syntyy melua [2, 4]. Muita melulähhteitä ovat iskutapahtuma vasarassa, poravaunun värähtelevät rakenteet, porattava kivi, huuhtelujärjestelmä, polynerotin sekä diesel- tai sähkömoottorilla toimiva voimayksikkö. Voimayksiköllä tuotetaan porauksessa tarvittava hydraulinen, pneumaattinen ja sähköinen teho.

Poraustapahtuman onnistumisen kannalta keskeistä on asettaa porausparametrit vastaamaan poraustilannetta. Keskeisiä parametreja iskuihin käytettävän voiman lisäksi ovat

syöttövoima, pyöritysnopeus ja huuhtelu. Syöttövoimalla painetaan porakruunua kiveä vasten. Liian suuri voima, ylisyöttö, aiheuttaa kruunun tylsistymistä ja louhintaa haittaavaa reiän taipumista. Alisyöttö puolestaan hidastaa porausta ja rasittaa poratankoja. Pyörityksen avulla porakruunu käännetään irti edellisestä iskukohdasta lyömään ehjää kiveä seuraavalla iskulla. Liian pieni pyöritysnopeus aiheuttaa porauksen hidastumista ja kruunun kulumista. Vastaavast liian suuri pyöritysmomentti puolestaan kuluttaa porakruunun tylsäksi. Sopivalla huuhtelulla varmistetaan rikkoutuneen kiven poistuminen reiästä. Muuten porausjäte jää kruunun alle hidastamaan porausta [3, 5].

3 SUORITETUT KALLIOPORAUSÄÄNTEN MITTAUKSET

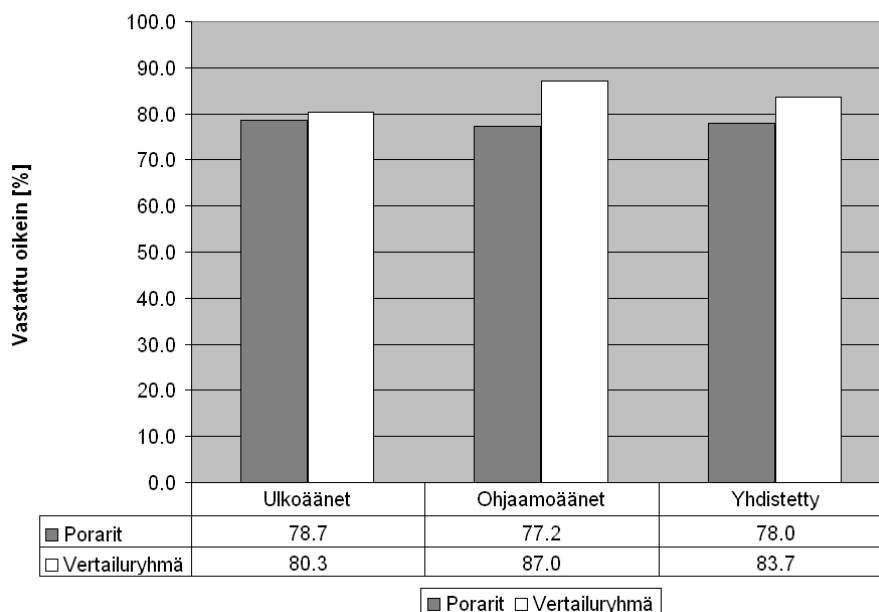
Tutkimuksen aikana suoritettiin koeporauksia joissa pyrittiin tuottamaan normaalista poikkeavia poraustilanteita. Koeporauksien aikana tallennettiin äänisignaaleja poralaitteen ohjaamoon sijoitetulla mikrofonilla ja poralaitteen ulkopuolelle noin 5–7 metrin etäisyydelle sijoitetulla mikrofonilla. Tämän lisäksi tallennettiin porauksen ohjauksen kannalta keskeisimmät hydrauliset suureet [6].

Normaalin poraustilanteen äänisignaaleja tallennettiin eri reikäsyvyyksillä ja porausparametreilla. Ylisyöttötilanteita tuotettiin säätämällä syöttöpaine normaalien ohjearvojen yläpuolelle. Ylisyöttötilanteita äänitettiin useilla eri reikäsyvyyksillä. Alisyöttötilanteita tuotettiin säätämällä syöttöpaine normaalia porausta alemmalle tasolle. Taipuva reikä tuotettiin poikkeuttamalla poralaitteen puomia reiän aloituksen jälkeen. Reiän taipuma mitattiin jälkikäteen reikäsuoruuden mittaamiseen tarkoitettulla laitteistolla. Lustaan poraaminen aiheutettiin keinotekoisesti poraamalla viistossa olemassa olevan lustaa simuloivan reiän läpi. Kivilajin muutos toteutettiin keinotekoisesti poraamalla aluksi pienempi ohjausreikä, jonka jälkeen pehmeämpää kivilaattia simuloitiin avartamalla ohjausreikä isommalla kruunulla.

4 KUUNTELUKOE

Kuuntelukokeen [7] tavoitteena oli selvittää operaattoreiden käyttämiä äänivihjeitä porausprosessin ohjauksessa sekä tutkia operaattorien kykyä tunnistaa poraustilanteista äänivihjeiden perusteella. Kokeeseen osallistui yhteensä 16 henkilöä, joista 12 kuului varsinaiseen testiryhmään. Testiryhmä koostui porareista, poramestareista sekä poralaitteistoa huoltavista ja säätävistä henkilöistä. Suurin osa testiin osallistuneista porareista oli työskennellyt enimmäkseen hytillisillä poravaunuilla. Vertailuryhmänä toimi porausprosessin äänivihjeitä tuntevia henkilöitä tutkimus- ja tuotekehitysosastoilta. Kukin henkilö osallistui kuuntelukokeeseen kahtena eri päivänä. Ensimmäisenä päivänä kokeen aiheena oli tarkastella ääninäytteitä, jotka oli äänitetty poralaitteen ulkopuolelta, toisena päivänä kokeen rakenne oli samanlainen, mutta tällä kertaa ääninäytteet olivat poralaitteen ohjaamosta.

Kuuntelukoe koostui kolmesta tehtävätyypistä, joissa kysymykset perustuivat ääninäytepareihin. Ensimmäisessä tehtävätyypissä (Vertailu) koehenkilön tuli arvioida oliko parin näytteissä samanlainen poraustilanne. Toisessa tehtävätyypissä (Väittäjä) koehenkilön tehtävänä oli arvioida edustiko jälkimmäinen ääninäyte väitettyä poraus-



Kuva 1: Ääninäyteparin sisältöjen vertailu. Oikeiden vastausten prosentuaaliset osuudet eri poraustilanteita esittäneiden ääninäytteiden suhteen

tilannetta. Viimeisessä tehtävätyypissä (Luokittelu) parin jälkimmäinen ääninäyte tuli luokitella poraustilanteen mukaan. Ohessa esitetyt tulokset ovat viitteellisiä, sillä koehenkilöitä pyydettiin vastaamaan kokemuksen perusteella.

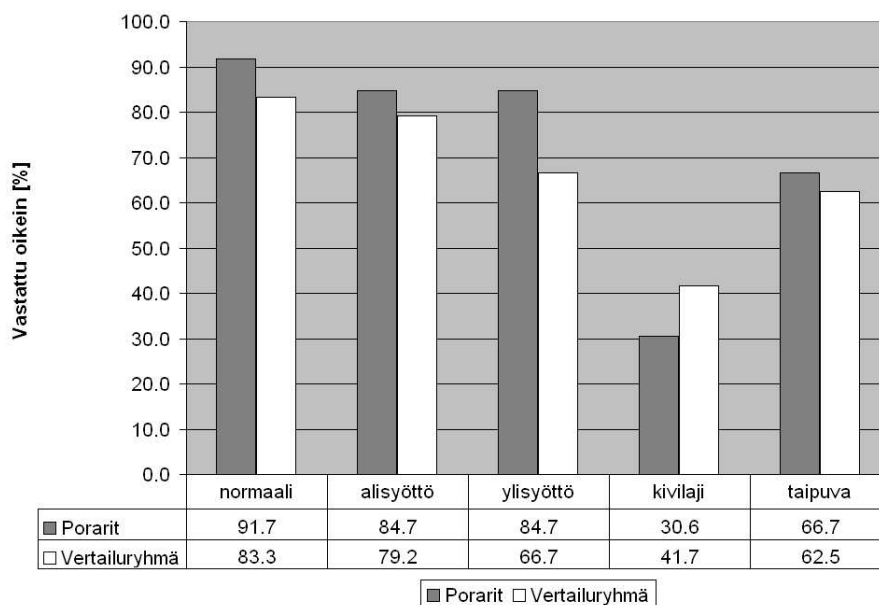
5 KUUNTELUKOKEEN TULOKSET

Kuuntelukokeen tulokset esitetään tehtävätyypeittäin. Tulososion lopussa tarkastellaan myös koetulosten luotettavuusarvioinnissa käytettyjä koehenkilöiden suoritustason tarkailumenetelmiä. Kuuntelukokeen tulokset on esitetty vastaajaryhmien keskiarvoina.

5.1 Vertailutehtävä

Ensimmäisessä tehtävätyypissä selvitettiin onko poraustilanteita mahdollista erottaa pelkästään äänivihjeiden avulla. Osiossa esitettiin ääninäytteitä eri poraustilanteista satunnaisessa järjestyksessä. Kuvassa 1 on esitetty oikeiden vastausten prosentuaaliset osuudet eri vastaajaryhmien osalta. näistä kuvaajista nähdään, että oikeiden vastausten prosentuaalinen osuus kaikkien ääninäytteiden osalta vaihteli välillä 77–87 %. Samoin on havaittavissa, että poralaitteen ulkopuolelta äänitettyjen näytteiden osalta molempien ryhmien suoritustaso oli likimäärin samalla tasolla. Lisäksi kuvat osoittavat, että poralaitteen hytistä äänitettyjen näytteiden erottamisessa vastaajaryhmien välille muodostui melko suuri ero oikeiden vastausten prosentuaalisessa osuudessa.

Opetusjakson yhteydessä koehenkilöitä pyydettiin tekemään päätökset kuulemiensa porausäänivihjeiden osalta. Hytissä äänitetyissä näytteissä oli kuitenkin äänivihjeitä joiden ei voida todeta olevan pelkästään porausääniä, näitä ylimääräisiä äänivihjeitä synnyttivät ohjaamossa olevien ylimääräisten komponenttien värähtelyt yms. Ylimääräisten ää-



Kuva 2: Poraustilanteiden tunnistus annetun väitteen perusteella. Oikeiden vastausten prosentuaaliset osuudet eri poraustilanteita esittäneiden ääninäytteiden suhteen

nivihjeiden vaikutusta kokeen lopputulokseen ei kyetty arvioimaan tarkasti.

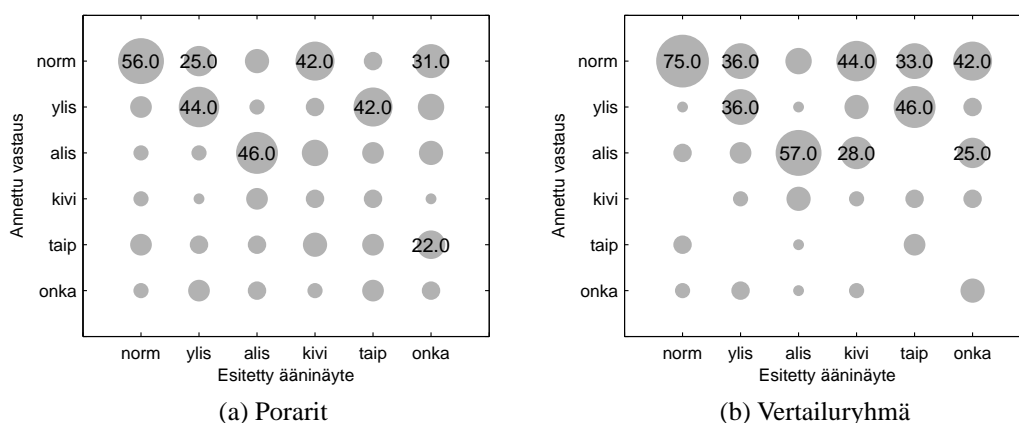
5.2 Väittämätehtävä

Toisena tehtävätyyppinä oli vastata jälkimmäisenä esitettyä ääninäytettä koskevaan väittämään. Kyseisen ääninäytteen väitettiin olevan tietystä poraustilanteesta ja koehenkilön tehtävänä oli antaa vastaus aiempaan kokemukseensa perustuen poraustilanteisiin liittyvistä ääninäytteistä. Osion tarkoituksena oli selvittää äänivihjeiden avulla tunnistettavissa olevat poraustilanteet.

Kuvassa 2 on esitetty tulokset poralaitteen ulkopuolelta äänitetyille näytteille. Tässä tehtävätyypissä porareilla oli hieman korkeampi oikeiden vastausten prosentuaalinen osuus kaikissa poraustilanteissa, lukuun ottamatta kivilajin muutoksessa. Kuvasta nähdään, että molemmat vastaajaryhmät tunnistivat normaalin porauksen ja alisyötön n. 80% tarkkuudella ja että ylisyöttö tunnistettiin porareiden keskuudessa paremmin kuin vertailuryhmässä. Kivilajin muutosta esittävien ääninäytteiden tunnistustarkkuus oli alle 50, minkä perusteella voidaan todeta, että kivilajin muutosta esittävissä ääninäytteissä ei ollut havaittavissa olevia äänivihjeitä.

5.3 Luokittelutehtävä

Kolmantena tehtävätyyppinä oli ääninäytteen luokittelu poraustilanteen mukaisesti. Luokittelutehtävässä esitettiin kaksi ääninäytettä ja koehenkilön piti valita mitä poraustilannetta jälkimmäinen ääninäyte edusti. Tehtävänannossa koehenkilöille korostettiin, ettei kysymyksiin ollut yksiselitteisiä vastauksia, ja että koehenkilön tuli valita sopivin vastausvaihtoehto perustuen aiempaan kokemukseensa porausäänistä.



Kuva 3: Luokittelutehtävissä annettujen vastausten prosentuaaliset jakaumat, pystyri- vi vastaa esitettyä ääninäyteluokkaa, vaakariveillä on esitetty koehenkilöiden luokittelun prosentuaaliset osuudet. Harmaiden ympyröiden pinta-alat on skaalattu annettujen vastausten suhteen.

Kuvassa 3 on esitetty ulkoäänille annettujen vastausten prosentuaaliset jakaumat poraustilanteittain vastaajaryhmille. Pystyri- vi kuvaavat esitettyjä (todellisia) poraustilan- teita ja vaakariveillä on esitetty koehenkilöiden antamat vastaukset. Sarakkeilta voidaan lukea annettujen vastausten jakauma poraustilanteille. Kuvia 3a ja 3b vertailemalla nähdään, että vertailuryhmä luokitteli normaaleina pidetyt ääninäytteet suuremmalla osuudella (75 %) normaaleiksi. Porarit olivat luokitelleet normaalitilanteista olleet ääninäytteet normaaleiksi hieman pienemmällä osuudella (56 %), muista vastausvaihtoehdoista ylisyöttö ja taipuva reikä saivat eniten vastauksia. Näiden havaintojen perusteella on mahdollista, että osa normaaleiksi väitetyistä ääninäytteistä eivät olleet normaalista poraustilanteesta. Kuvista nähdään myös, että ylisyöttö luokiteltiin tavallisimmin ylisyötöksi ja normaaliksi poraukseksi. Tämä poikkeama selittyy sillä, että osa ylisyöttöä esittävästä ääninäytteistä oli käytännön rajoitusten vuoksi äänitetty erittäin lievissä ylisyöttötilanteissa.

Molemmat koehenkilöryhmät olivat pääsääntöisesti luokitelleet alisyöttötilanteet oikein, porareilla toiseksi yleisin vaihtoehto oli normaali poraustilanne, vertailuryhmällä tämän lisäksi myös kivilajin muutos. Kuvaajista nähdään myös, että kolme viimeistä ääninäyteluokkaa onnistuttiin luokittelemaan huonommin kuin kolme ensimmäistä. Porarit luokittelivat kivilajin muutosta esittävät ääninäytteet useimmin normaaliksi poraustilanteeksi, alisyöttö sekä taipuva reikä olivat myös tyypillisiä arvioita. Vertailuryhmä luokitteli kivilajin muutoksen normaaliksi tai alisyötöksi. Taipuva reikä oli useimmiten luokiteltu ylisyötöksi molemmissa vastaajaryhmissä. Onkaloporaus luokiteltiin normaaliksi poraustilanteeksi tai taipuvaksi reiäksi porareiden ryhmässä, vertailuryhmä sen sijaan luokitteli sen kuuluvan normaaliksi tai alisyöttöporaukseksi. Näiden perusteella voidaan olettaa, että kolmessa viimeisessä ääninäyteluokassa äänivihjeet ovat vaikeammin havaittavissa. Tätä seikkaa tukevat myös kuvassa 2 esitetyt tulokset

Taulukko 1: Koehenkilöryhmien suorituskyvyn arviointi, vastaajaryhmien konsistenssit ja keskimääräiset ääninäytteiden toistot jokaiselle tehtävä- ja ääninäytetyypille.

	<i>Porarit</i>				<i>Vertailuryhmä</i>			
	<i>Ulko</i>		<i>Ohjaamo</i>		<i>Ulko</i>		<i>Ohjaamo</i>	
<i>Tehtävätyyppi</i>	<i>kons.</i>	<i>tois.</i>	<i>kons.</i>	<i>tois.</i>	<i>kons.</i>	<i>tois.</i>	<i>kons.</i>	<i>tois.</i>
Vertailu	0.81	1.26	0.84	1.22	0.93	1.22	0.84	1.16
Väittäjä	0.78	1.20	0.76	1.19	0.68	1.32	0.77	1.19
Luokittelu	0.53	1.29	0.53	1.24	0.62	1.27	0.63	1.20
<i>Keskiarvo</i>	0.71	1.25	0.71	1.22	0.74	1.27	0.75	1.18

5.4 Koehenkilöiden suoritustaso

Koehenkilöiden suorituskkyä kokeessa tarkkailtiin usealla tavalla. Yhtenä keinona käytettiin saman ääninäyteparin toistoa tehtävätyypin sisällä — jokainen kysymys toistettiin ainakin kerran. Koehenkilön samalle ääninäyteparille antamien vastausten perusteella laskettiin konsistenssi. Mikäli konsistenssi saa arvon 1.00, koehenkilö on vastannut jokaisella kerralla samaan kysymykseen samalla tavalla. Jokaisessa tehtävätyypissä koehenkilöllä oli mahdollisuus kuunnella ääninäytepari toisen kerran ennen vastaamista. Kuuntelukertojen määrää seurattiin osana tulosanalyysiä.

Taulukossa 1 on esitetty vastaajaryhmien keskimääräinen konsistenssi ja tarvittujen ääninäytteiden toistojen lukumäärä jokaiselle tehtävä- ja ääninäytetyypille. Vastaajaryhmien välillä ei ollut suurta eroa vastausten keskimääräisessä konsistenssissa, äänilähteen sijainti ei myöskään vaikuttanut keskimääräiseen konsistenssiin. Luokittelutehtävän pienemmät keskimääräiset konsistenssit selittyvät suuremmalla saman ääninäyteparin toistomäärällä. Luokittelutehtävässä ääninäyteparit esitettiin kolme kertaa, muissa tehtävätyypeissä ääninäyteparit esitettiin kahdesti. Kuuntelukertojen lukumäärä oli korkeampi poralaitteen ulkopuolelta äänitetyillä näytteillä verrattuna poralaitteen ohjaamosta äänitettyihin. Selittävänä tekijänä voi olla porarien tottumus hytissä työskentelyyn sekä koejakson aikana tapahtunut harjaantuminen. Testin ensimmäisenä päivänä käytettiin vain poralaitteen ulkopuolelta äänitettyjä näytteitä, kun taas toisena päivänä tehdyssä kokeessa käytettiin hytissä äänitettyjä näytteitä ja koehenkilöt olivat jo oppineet tehtävätyypit sekä vastaustavat.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kuuntelukokeen tulosten perusteella voidaan todeta kallioporaus ammattilaisten käytävän äänivihjeitä porausprosessin ohjauksessa ja tarkkailussa. Normaalin poraustilanteen tuottamat äänivihjeet tunnetaan parhaiten. Molemmat koehenkilöryhmät kykenivät erottamaan suurella varmuudella normaalista poikkeavia poraustilanteita. Esitettyjen väittämien perusteella on mahdollista tunnistaa normaalin poraustilanteen lisäksi yli- ja alisyöttötilanteet. Taipuvan reiän tunnistaminen normaalista poraustilanteesta poikkeavana on myös mahdollista. Luokittelutehtävän tulosten perusteella voidaan todeta pelkästään äänivihjeiden riittävän normaalista porauksesta poikkeavien alisyöttötilanteiden ja selkeiden ylisyttötilanteet tunnistamiseen sekä luokitteluun. Kivilajin muutos ja taipuva reikä on mahdollista erottaa normaalista poraustilanteesta, mutta koehenkilöt eivät

kyenneet luokittelemaan niitä oikein. Taipuva reikä luokiteltiin useimmiten ylisyöttötilanteeksi, kivilajin muutosta esittävät ääninäytteet luokiteltiin useimmiten normaaliksi poraustilanteeksi tai alisyöttötilanteeksi.

VIITTEET

- [1] JÄRVELÄINEN H, KARJALAINEN M, MAIJALA P, SAARINEN K, & TANTTARI J, *Työkoneiden ohjaamomelun häiritsevyys ja sen vähentäminen*, Teknillinen korkeakoulu, Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio. Raportti 47, 1998.
- [2] LESAGE C & CHAMPOUX Y, Experimental characterization of the noise generation mechanism of the percussion drill rods, *CIM Bulletin*, **90**(1997) 1010, 65–69.
- [3] NAAPURI J, *Surface Drilling and Blasting*, Tamrock, 1995.
- [4] ÖGREN J E, *Noise Radiation from Drill Steels and other experimental investigations in acoustics and fluid mechanics*, Ph.D. thesis, Lulea University of Technology, 1983.
- [5] HEINIÖ M, editor, *Rock Excavation Handbook for Civil Engineering*, Sandvik Tamrock Corp., 1999.
- [6] OKSANEN S, *Psychoacoustic analysis of rock drilling*, Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, 2009.
- [7] BECH S & ZACHAROV N, *Perceptual Audio Evaluation*, Wiley, 2006.