

MÄNTÄMOOTTORIVOIMALAITOKSEN YMPÄRISTÖMELUN PSYKOAKUSTISIA PIIRTEITÄ

Ville Veijanen¹⁾, Antti Lankila²⁾

¹⁾ Wärtsilä Finland Oy, Power Plants
Tarhaajantie 2, PL 252, 65101 VAASA
etunimi.sukunimi@wartsila.com

²⁾ VTT
PL 1000, 02044 VTT
etunimi.sukunimi@vtt.fi

1 JOHDANTO

Melu on yksi merkittävä tekijä arvioitaessa voimalaitoksen ympäristövaikutuksia. Yleisesti ympäristölainsäädännössä käytetty vertailuluku on A-painotettu ekvivalenttiäänenpainetaso. Pelkkä äänitaso ei tunnetusti kuitenkaan kuvaa kuulijan kokemaa äänen häiritsevyyttä. Psykoakustiset tunnusluvut pyrkivät määrittelemään äänen laadullisia ominaisuuksia. Tässä artikkelissa tutkitaan yleisimpien psykoakustisten tunnuslukujen soveltuvuutta voimalaitosmelun laadullisessa tarkastelussa. Samalla luonnehditaan mäntämoottorivoimalaitosmelulle tyypillisiä erityispiirteitä taajuus- ja aikatasossa. Työ on tehty osana Wärtsilä Finland Oy Power Plantsin Tekes-rahoitteista E-Power tutkimusprojektia.

Keskustelua ihmisen äänihavaintoja paremmin edustavista tunnusluvuista on käyty vuosia. Ihmiset saattavat valittaa melusta, vaikka A-painotettu ekvivalenttiäänenpainetaso olisi lainsäädännön sallimissa rajoissa. [1]. Lainsäädäntöä rajoittava tekijä on yleisen häiritsevyyden määrittelyn vaikeus ja ongelman monikerroksisuus.

2 MÄNTÄMOOTTORIVOIMALAITOSMELUN ERITYISPIIRTEITÄ

Äänen analysoinnin peruskuvaajia ovat spektri ja aaltomuoto, joilla äänisignaali voidaan esittää taajuus- ja aikatasoissa. Spektri luo perustan mm. äänenkorkeuden ja äänenväriin aistimusten tarkastelulle. Spektri ei kuitenkaan huomio kuuloaistin mekanismeja, kuten peittoilmiötä. Ääniaistimuksen voimakkuuden vaihteluita ajassa voidaan puolestaan fysikaalisesti tarkastella aaltomuodon avulla.

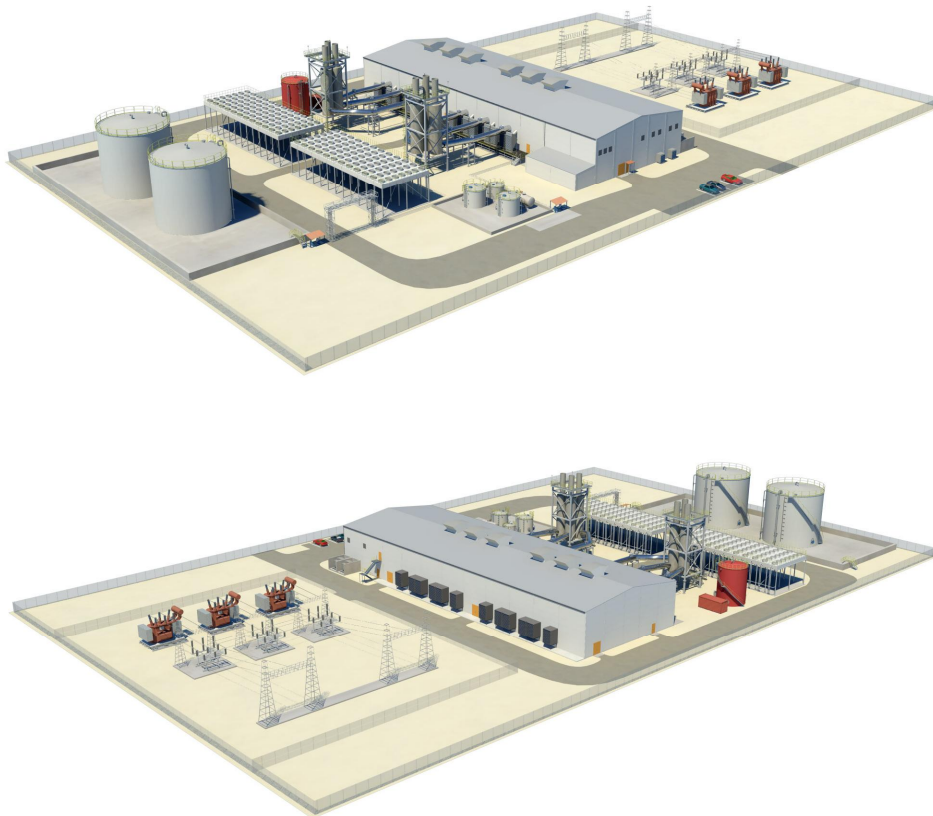
Jos pakovaimentimen akustinen suunnittelu ei ole onnistunut, saattaa mäntämoottorivoimalaitoksen melupäästö sisältää pienitaajuisia ääntä, tyypillisesti moottorin pyörimisluvun harmonisilla monikerroilla. Nämä havaitaan spektrissä alle 100 Hz taajuuksilla harmonisina taajuuskomponentteina. Pientaajuusmelun leviämislle ympäristöön on tyypillistä vähäinen ympäristövaimennus ja ympärisäteilevyys.

Yleisessä ympäristömelun tapauksessa tunnusluvuksi pientaajuusmelun merkittävyydelle on esitetty A- ja C-painotettujen äänenpainetasojen erotusta. Jos $L_{p,C} - L_{p,A}$ on 10...20 dB lisääntyvät ihmisten valitukset pientaajuusmelusta. [2, 3].

Keskitaajuuksilla 100...1000 Hz voimalaitosrakennuksen eri sivustat voivat kuulostaa hyvin erilaisilta (kuva 1.). Rakennuksen vastakkaisilla puolilla sijaitsevat konesalin ilmanvaihto ja moottoreiden jäähdytysjärjestelmä, radiaattorit, tuottavat molemmat puhallinherätteistä ko-

hinatyypistä melua. Erilaista äänen laatua selittää puhaltimien lapataajuudelle sijoittuva spektrin painopiste: jäähdytyksellä 40...100 Hz ja ilmanvaihdolla 150...200 Hz. Lisäksi jäähdytyspuhaltimia on yli 10-kertainen määrä verrattuna ilmanvaihtoon, mikä tekee ääniaistimuksesta ”intensiivisemmän”.

Suurilla taajuuksilla, alkaen 1000 Hz:stä, muu taustamelu yleensä hallitsee äänimaisemaa. Turboahtimien lapataajuuden, 2...4 kHz, voi kuulla voimalaitosrakennuksen imupuolella muutamien kymmenien metrien etäisyydelle saakka, mikäli vaimenninsuunnittelu ei ole onnistunut. Spektrissä lapataajuus erottuu kapeakaistaisena taajuuskomponenttina.



Kuva 1. Radiaattorit ja imuilman otto luovat äänenlaadun ominaispiirteet yläkuvan sivustalla. Konesalin ilmanvaihtokontit hallitsevat äänenlaatua alakuvan sivustalla. Pakopiippujen melupäästö on ympärisäteilevä.

Voimalaitoksen A-painotettu ekvivalenttiäänepainetaso on ajan suhteen melko vakio. Esimerkiksi äänitason vaihtelua kuvaava L_{10} - L_{90} on voimalaitosmelulle alle 3 dB [4]. Pakomelun mahdolliset pientaajuuskomponentit saattavat aiheuttaa paikallisia eroja äänenpainetasoon maanpinnan tasalla johtuen useiden pakokaasupiippujen välisestä ääniaaltojen interferenssistä. Tämä lähteiden välinen ääniaaltojen summautuminen voi aiheuttaa myös melun voimakkuuden vaihteluita ajassa; ”huojuntaa”.

3 PSYKOAKUSTISET TUNNUSLUVUT

Psykoakustiset tunnusluvut pyrkivät määrittämään tiettyjä äänen laadullisia ominaisuuksia lukuarvoilla. Vaikka psykoakustiset tunnusluvut ovat yleisesti tunnettuja, ne eivät ole tarkasti määriteltyjä ja skaalattuja [5]. Tunnusluvut perustuvat laboratorio-olosuhteissa käytettyihin testisignaaleihin, mutta tosielämän äänet ovat monimutkaisempia [6]. Psykoakustiset tunnusluvut kuvaavat herätteen ja kuuloaistimuksen välistä yhteyttä. Yleisen häiritsevyyden kuvaamisen kannalta on ongelmallista, että huomioimatta jäävät äänen arvioimiseen liittyvät psykologiset tekijät. Näitä tekijöitä ovat mm. kuulijan kokemukset, asenteet, emootiot ja persoonallisuus- sekä tilannetekijät.

Tässä tutkimuksessa vertailtiin kahden Afrikassa sijaitsevan voimalaitoksen ympäristömelusta laskettuja psykoakustisia tunnuslukuja. Ruandan laitoksella on kolme 8 MW moottoria ja Tansanian laitoksella viisi 9 MW moottoria. Tansanian laitokselle oli äänityshetkellä ennen pakovaimentimien päivitystä ominaista selkeästi erottuva melupäästö 31 Hz:n taajuudella. Tapauksille lasketut tunnusluvut ovat äänekkyyys (loudness), terävyys (sharpness), vaihteluvoimakkuus (fluctuation strength), tonaalisuus (tonality) ja karheus (roughness) [7]. Ääninäytteet tallennettiin Rion NA-28 äänitasomittarilla ja analysoitiin 01dB-Metravib dBFA-Suite ohjelmistolla. Laitosten kaavakuvat laskettuine tunnuslukuineen löytyvät liitteestä.

Äänekkyyys kuvaa äänen aistittua voimakkuutta. A-painotettu äänitaso korreloi karkeasti kuulon herkkyyden kanssa eri taajuuksilla. Laajakaistaisten ja pientaajuisten äänien kohdalla äänekkyyys kuitenkin aliarvioidaan. Psykoakustinen äänekkyyys pyrkii todenmukaisempaan aistimuksen kuvaukseen. Esimerkkilaitosten mittauspisteitä 7 vertaamalla pientaajuusmelun vaikutus näkyy selvästi. Ruandan laitoksella $L_{A,eq}$ on 3 dB suurempi mutta äänekkyyys 12 sonia pienempi kuin Tansanian laitoksella.

Terävyys on äänenvärin ominaisuus. Kapeakaistaisen kohinan aistittu terävyys lisääntyy kohinan keskitaajuuden kasvaessa. Voimalaitoksen ympäristömelun terävyys ei noudata helposti havaittavaa kaavaa. Vaikka imuilman otto tuottaa äänilähteenä korkeimman terävyysarvon, on esimerkiksi Ruandan laitoksella rakennuksen vastakkaisella puolella, pisteissä 7 ja 8, suurimmat terävyysarvot.

Vaihteluvoimakkuus ja **karheus** kuvaavat äänisignaalin vaihtelua ajassa. Hidas vaihtelu 15...20 Hz:n modulaatiotaajuuteen saakka koetaan voimakkuusvaihteluna. Modulaatiotaajuuden kasvaessa äänessä aletaan aistia karheutta, joka saavuttaa maksiminsa 70 Hz:n modulaatiotaajuudella. Psykoakustinen vaihteluvoimakkuus antaa ristiriitaisia lukuarvoja kahta esimerkkilaitosta vertailtaessa. Tansanian laitoksella lukuarvot ovat hyvin pieniä verrattuna Ruandan laitokseen. Kirjoittajan subjektiiviseen kokemukseen pohjautuen aistitun voimakkuusvaihtelun ja tunnusluvun välillä ei yhteyttä löydy. Myöskään karheus ei anna säännömukaisia tuloksia eri mittauspisteissä. Karheusarvot ovat 4...9 asperia kaikissa mittauspisteissä. Jäähdytysradiaattoreiden ”hurinan” voisi arvioida subjektiivisesti olevan karheempaa kuin ilmanvaihdon ”huminan”, mutta tunnusluvut eivät vastaa tätä kokemusta.

Tonaalisuus edustaa signaalin harmonisia komponentteja. Kohinatyyppisillä signaaleilla on matala tonaalisuus ja periodisilla signaaleilla puolestaan korkea tonaalisuus. Tonaalisuuden olettaisi olevan tunnusluku, joka korreloi pakomelun harmonisten pientaajuuskomponenttien kanssa näiden esiintyessä. Psykoakustinen tonaalisuus antaa kuitenkin suurempia lukuarvoja Ruandan laitoksella kuin Tansanian laitoksella, huolimatta jälkimmäiselle ominaisesta 31 Hz:n pientaajuuskomponentista ennen pakovaimentimien päivitystä.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Yleisimpien psykoakustisten tunnuslukujen soveltuvuutta voimalaitosmelun laadullisessa tarkastelussa tutkittiin alustavasti. Työn lähtökohtana oli verrata kahdella voimalaitoksella äänitetyistä ympäristömelunäytteistä laskettuja tunnuslukuja keskenään karkeiden säännönmukaisuuksien havaitsemiseksi. Vaikka voimalaitosrakennuksen eri sivustat kuulostavat subjektiivisesti arvioituna erilaisilta, psykoakustisissa tunnusluvuissa ei havaittu juurikaan säännönmukaisuuksia. Ainoastaan äänekkyyys käyttäytyy oletetulla tavalla mittauspisteitä vertailtaessa.

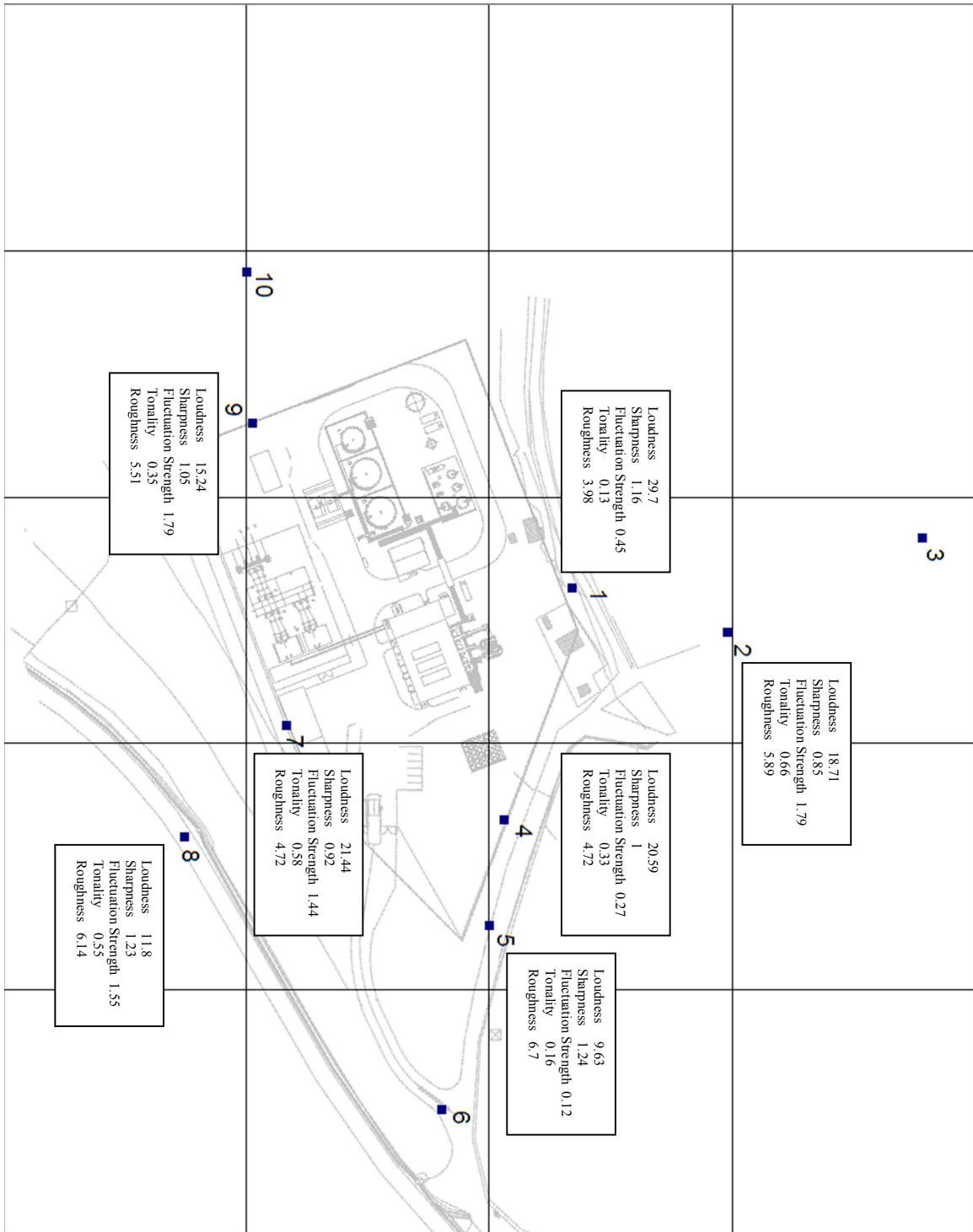
Oletettavasti siis kuuntelukokeet, joilla voitaisiin tutkia psykoakustisten tunnuslukujen ja subjektiivisten arvioiden korrelaatioita, eivät tuottaisi suppenevia tuloksia. Syynä laskettujen tunnuslukujen heikolle edustavuudelle ihmisen äänihavainnoista voidaan etsiä niin laskentaohjelman implementoinnista kuin tunnuslukujen soveltuvuudesta tosielämän monimuotoisille äänille.

Voimalaitosmelun laadullisten ominaisuuksien kvantitatiiviseksi kuvaamiseksi vaadittaisiin todennäköisesti räätälöity joukko uusia tunnuslukuja. Näiden tunnuslukujen tulisi keskittyä voimalaitosmelun erityispiirteitä esittelevässä kappaleessa kvalitatiivisesti kuvattuihin seikkoihin. Näitä tunnuslukuja yhdistelemällä saatettaisiin päästä askeleen lähemmäs voimalaitosmelun häiritsevyyden kuvaamista yhdellä lukuarvolla A-painotettu ekvivalenttiäänenpainetasoa paremmin.

Subjektiivisesti arvioidun äänenlaadun parantumisesta on kokemuksia voimalaitosympäristössä jäähdytyspuhaltimien optimoinnissa ja äänenvaimentimien kehityksessä. Kysymykseksi kuitenkin jää, kuinka mitata myös äänenlaadun positiiviset muutokset.

VIITTEET

1. GENUIT K., FIEBIG A. Psychoacoustics and its benefit for the soundscape approach. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 92, No. 6, 2006. 952-958.
2. LEVENTHALL HG. Low frequency noise and annoyance. *Noise & Health*. Vol. 6, No. 6, 2004. 59-72.
3. ANSI S12.9-2005/Part 4. Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound – Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-term Community Response.
4. MOORHOUSE A., WADDINGTON D., MAGS A. A procedure for the assessment of low frequency noise complaints. *Journal of the Acoustical Society of America*. 126 (3), September 2009. 1131-1141.
5. SUNG-HWAN S. Comparative study of the commercial software for sound quality analysis. *Acoustical Science and Technology*. Vol. 29, No. 3, 2008. 221-228.
6. ACCOLTI E., MIYARA F. Fluctuation strength of mixed fluctuating sound sources. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional Vol. XXVIII*. Tandil, Argentina, 3.-6.11. 2009. 9-22.
7. FASTL H., ZWICKER E. *Psychoacoustics*. 3rd edition. Springer, Berlin, 2007.



Ruunda: 24 MW voimalaitos.

