



UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Mervento Oy - Vaasa
Tuulivoimalan ympäristömelumittaukset
9–13.12.2013

7.3.2014

Projektinnumero: 305683

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Lähtötiedot ja menetelmät	1
2.1	Yleistietoa tuulivoimaloiden synnyttämästä melusta	1
2.2	Melua aiheuttavat toiminnot ja laitteistot	1
2.3	Ympäristömelumittaukset	2
2.4	Mittausten aikaiset sääolosuhteet	3
2.5	Ympäristömelumittausten epävarmuudet	3
2.6	Tuulivoimaloihin sovellettavat melua koskevat määräykset ja ohjearvot	4
2.6.1	Melutasojen yleiset ohjearvot	4
2.6.2	Tuulivoimarakentamisen suunnittelussa käytettävät ohjearvot	5
3	Ympäristömelumittaukset	6
3.1	Mittauspaikka 1, Stråkantie 38	6
3.2	Mittauspaikka 2, Myrgrund	8
3.3	Mittauspaikka 3, Kylänevantie 27	9
3.4	Mittaustulokset	11
3.4.1	Tulosten käsittely ja tulosteet	11
3.4.2	Havainnot mittauksen aikana	11
3.4.3	Mittauspaikka 1, Stråkantie 38	12
3.4.4	Mittauspaikka 2, Myrgrund	13
3.4.5	Mittauspaikka 3, Kylänevantie 27	14
4	Johtopäätökset	16
5	Viitteet	19

Liitteet:

Liite 1. Säähavainnot ja voimalan tehotasot mittauksen aikana

Liite 2. Ympäristömittauksen tulokset mittauspaikalla 1

Liite 3. Ympäristömittauksen tulokset mittauspaikalla 2

Liite 4. Ympäristömittauksen tulokset mittauspaikalla 3

1 Johdanto

WSP Finland Oy teki Mervento Oy:n toimeksiannosta ympäristömelumittauksia Vaasan Sundomissa 9.12. – 13.12.2013. Mittauksilla pyrittiin selvittämään alueella sijaitsevan tuulivoimalan aiheuttamia ympäristömelutasoja kolmessa eri mittauspaikassa, joista kaksi edusti lähimpiä häiriintyviä kohteita asuinrakennusten piha-alueilla. Yksi mittauspaikka oli sijoitettu voimalan itäpuolelle alueelle, jonne on kaavoitettu uusia asuinrakennuksia

Ympäristömelumittaukset tekivät FM Ilkka Niskanen ja DI Tuukka Lyly WSP Finland Oy:stä, jotka myös laativat tuloksista raportin. Mervento Oy:n on toimittanut voimalan tehotiedot sekä säähavainnot tuulivoimalan huipulta (tuulen nopeus ja suunta).

2 Lähtötiedot ja menetelmät

2.1 Yleistietoa tuulivoimaloiden synnyttämästä melusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aiheuttamasta aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmista sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien melusta (mm. vaihteisto, generaattori). Näistä aerodynaaminen melu on yleensä hallitsevin lapojen suuren vaikutuspinta-alan ja jaksollisen ns. amplitudimoduloituneen (äänen voimakkuus vaihtelee jaksollisesti ajan funktiona) äänen vuoksi (Di Napoli 2007).

Tuulivoimalaitosten jaksollinen käyntiääni on seurausta siiven pyörimisestä, jossa aerodynaamisen melun taso vaihtelee lavan pyörimisnopeuden mukaan.

Aerodynaaminen melu kuullaan usein viheltävänä tai viuhuvana äänenä ja on puhtailla lapapinnoilla tasoltaan matalampaa, koska likainen pinta lisää rosoisuutta, josta seuraa turbulenssin kasvu. Generaattorin muuntaja emittoi matalataajuisia ja kapeakaistaista melua, mutta voimakkuudeltaan se on yleensä alhaista (Di Napoli 2007).

Uusissa lapakulmasääteisissä laitoksissa voidaan muuttaa lapakulman lisäksi myös pyörimisnopeutta, jolloin molemmilla toiminnoilla on melua vähentävä vaikutus.

Tuulivoimalan äänen ominaisuudet, kuten voimakkuus, taajuus ja ajallinen vaihtelu, riippuvat tuulivoimaloiden lukumäärästä, niiden etäisyyksistä tarkastelupisteeseen sekä tuulen nopeudesta.

Tuulivoimaloiden tuottaman äänen leviäminen ympäristöön riippuu maaston pinnanmuodoista, kasvillisuudesta ja sääoloista, kuten tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä lämpötilasta. Ääni etenee tavallisesti veden yllä edemmäksi ja laajemmalle kuin maalla johtuen pienemmästä vaimentumisesta. Tuulivoimaloiden tapauksessa keskeisin käytettävä meluntorjuntakeino on riittävä etäisyys tuulivoimalan ja tarkastelupisteen (kuten asutuksen) välillä (Ympäristöministeriö 2012).

2.2 Melua aiheuttavat toiminnot ja laitteistot

Mervento Oy on sijoittanut Vaasan Sundomiin yhden 3,6 Megawatin tuulivoimalan (voimalan tyyppi Mervento 3.6-118). Voimalan napakorkeus on 125 m ja roottorin halkaisija 118 m. Voimala on käynnissä ympäri vuorokauden. Voimalan sijainti on esitetty kuvan 1 kartassa.

Ympäristömelumittausten aikana voimalan tehontuottoasetuksia muuteltiin ja voimala pysäytettiin useita kertoja vallitsevan taustamelutason selvittämiseksi. Ympäristömelumittausten yhteydessä tutkittiin voimalan synnyttämiä ympäristömelutasoja, kun voimala tuottaa joko 3,6 MW tai 2,4 MW sähköä (täysi teho ja rajoitettu teho).

Voimalaa voidaan käyttää myös Cyclic pitch-moodissa, jossa roottorin lapakulma muuttuu jatkuvasti kierroksen aikana syklisessä muodossa. Tällöin saavutetaan tasaisempi tehontuotto (kohina ja lapoihin kohdistuva kuormitusamplitudi pienenee).

2.3 Ympäristömelumittaukset

Ympäristömelumittauksia tehtiin kolmessa ulkomittauspaikassa. Mittauspaikat valittiin tuulivoimalan ympäriltä lähimpien häiriintyvien kohteiden läheisyydestä. Kahdessa mittauspaikassa (MP1 ja MP3) asukkaat ovat valittaneet voimalan synnyttämästä melusta. Ympäristömelun mittauspaikat on esitetty kuvassa 1.

Ympäristömelutasoja mitattaessa käytettiin Norsonic 140-äänitasoanalysointilaitteita (2 kpl), jotka täyttävät SFS 2877 / IEC651 ja IEC 804 vaatimukset tarkkuusluokan 1 mittareille. Ympäristömelutasot tallennettiin toisen mittarin muistiin 0,125 sekunnin jaksoina ja toisen mittarin 1 sekunnin jaksoina. Lisäksi mittausdata äänitettiin.

Mittarit kalibroitiin ennen ja jälkeen mittausten ulkoisella kalibraattorilla. Ympäristömelumittauksissa mittarit asetettiin kolmijalalla 1,5 metrin korkeuteen ja ne varustettiin tuulisuojujalla.



Kuva 1. Tuulivoimalan ja ympäristömelumittauspaikkojen sijoittuminen. Tuulivoimala on merkitty kuvaan sinisenä pisteenä ja mittauspaikat punaisina pisteinä (kuva: www.google.fi).

Mittauksissa on sovellettu mittausohjeluonnoksen "Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa" mukaista mittausmenettelyä A (Ympäristöministeriö 2013). Mittaukset on tehty ohjeen mukaisesti ilta-, yö- tai aamuaikaan.

2.4 Mittausten aikaiset sääolosuhteet

Mittausten aikaisia sääolosuhteita mitattiin mittauspaiikkojen läheisyydessä Kestrel 4500-tyypin sääasemalla, joka sijoitettiin 10 metrin korkeudelle maan pinnasta.

Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty liitteessä 1 yhdessä voimalan tehontuoton kanssa. Koska mittaukset ajoittuivat usealle päivälle, sääolosuhteissa oli päivittäistä vaihtelua.

Havaintojen perusteella mittausaikana vallitsi talvinen, mutta vuodenaikaan nähden lämmin sää (lämpötila noin 0 - +4 astetta). Tuulen nopeudet vaihtelivat alkuvuikon lähes tyyneestä loppuvuikon voimakkaihin puuskiin. Tuulen suunta oli mittausaikana pääosin lounaan puoleinen. Viimeisenä mittauspäivänä 13.12.2013 tuulen suunta kääntyi pohjoisen puoleiseksi (em. tuulitiedot nacellen korkeudelta).

Mittaukset ajoitettiin siten, että olosuhteet voimalan äänen havaitsemiselle olivat mahdollisimman hyvät. Mittaukset keskittyivät ilta- ja yöajalle, jolloin Myrgrundintiellä ja Stråkantiellä liikennettä oli suhteellisen vähän, eikä läheisellä louhintatyömaalla tehty louhintatyötä. Perjantaina 13.12.2013 mittauksia tehtiin myös varhain aamulla.

Tuulivoimala tuotti sähköä täydellä nimellistehollaan koko mittausjakson ajan pysäytyksiä ja tehorojoituksia lukuun ottamatta.

2.5 Ympäristömelumittausten epävarmuudet

Ympäristömelumittausten yhteydessä epävarmuudella tarkoitetaan kokonaisepävarmuutta, joka johtuu suurimmaksi osaksi olosuhteiden vaihtelun vaikutuksista äänen etenemiseen. Äänenpainetaso mittausta itsessään on varsin tarkka, sillä 1-tarkkuusluokan äänitasomittari mittaa äänenpainetasoja vähintään ± 1 dB tarkkuudella.

Ympäristömelumittauksia pyritään tekemään olosuhteissa, jotka ovat mahdollisimman suotuisat melun leviämislle äänilähteestä mittauspaiikan suuntaan. Melun leviämislle epäedullisissa olosuhteissa melutasot saattavat olla jopa yli 10 dB pienempiä kuin melun leviämislle suotuisissa olosuhteissa.

Ympäristömelumittausten epävarmuus lisääntyy etäisyyden kasvaessa, sillä olosuhteiden vaikutus on sitä suurempi, mitä pidempi äänen etenemismatka on. Ympäristömelun mittausohjeen (Ympäristöministeriö 1995) mukaan yksittäisen mittauksen tuloksen epävarmuus on 2 dB 30 metrin mittausetäisyydellä, 4 dB 100 metrin mittausetäisyydellä ja 7 dB 500 metrin etäisyydellä. Nämä epävarmuudet koskevat tilannetta, joissa olosuhteet ovat mittausohjeen mukaisia eli suotuisia melun leviämislle mittauspaiikan suuntaan. Mikäli mittausohjeen mukaiset olosuhteet eivät toteudu tai mittausetäisyydet ovat suuremmat kuin ohjeessa esitetyt suurimmat mittausetäisyydet katsotaan mittausedepävarmuudeksi 10 dB (Ympäristöministeriö 1995).

Taulukko 2. Ympäristömelumittausten olosuhteita koskevat vaatimukset (Ympäristöministeriö 1995).

Ei sadetta
Tuulen nopeus korkeintaan 5 m/s mitattuna vähintään 2 metrin korkeudelta
Tuulen suunta melulähteestä mittauspisteeseen päin suunnilleen sektorissa $\pm 45^\circ$ (vaatimus koskee yli 30 metrin etäisyyksiä)
Taustamelun aiheuttama äänitasoindikaatio vähintään 10 dB alle mitattavan äänitason
Äänitasomittarin tarkkuusluokka 2 tai parempi (1 tai parempi tulosten epävarmuudella $\Delta L = 2$ dB)

Tuulivoimalan aiheuttamat melutasot eivät välttämättä erotu selvästi äänen taustatasosta, minkä vuoksi tuulivoimaloiden aiheuttaman melutason erottaminen altistuvassa kohteessa voi olla erittäin haastavaa. Ympäristömelulle tarkoitettua mittausohjetta (Ympäristöministeriö 1995) ei voida suoraan soveltaa tuulivoimaloiden aiheuttamana melun mittauksiin, koska mittausohjeessa esitetyt äänitasoindikaatiota ja tuulen nopeutta koskevat vaatimukset eivät käytännössä toteudu tuulivoimaloiden aiheuttamaa melua mitattaessa (taulukko 2).

Ympäristöministeriön mittausohjeluonnoksen (Ympäristöministeriö) mukaan ”menettelyllä saatua lukuarvoa voidaan käyttää verrattaessa tuulivoimalan tuottamaa melutasoa esimerkiksi suunnittelu- tai tunnusarvoon myös tilanteessa, jossa melutaso on määritetty suhteessa tuulivoimalan lähellä vallitsevaan tuulen nopeuteen.”

2.6 Tuulivoimaloihin sovellettavat melua koskevat määräykset ja ohjeet

2.6.1 Melutasojen yleiset ohjeet

Valtioneuvoston päätöksessä (993/1992) on annettu maankäytön ja rakentamisen, liikenteen suunnittelussa ja rakentamisen lupamenettelyssä sovellettavat melutason ohjeet. Näitä ohjeita sovelletaan myös ympäristölupaharkinnassa (taulukko 3).

Melutason ohjeet on annettu erikseen päiväaikaiselle keskiäänitasolle (klo 7 – 22) ja yöaikaiselle keskiäänitasolle (klo 22 – 7).

Taulukko 3. Melutason yleiset ohjeet (Vnp 993/1992).

Alueen kuvaus	Päiväajan (klo 7 – 22) keskiäänitason ohjeet	Yöajan (klo 22 – 7) keskiäänitason ohjeet
Ulkona		
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet taajamissa ja niiden välittömässä läheisyydessä sekä hoito- ja oppilaitoksia palvelevat alueet	55 dB	45 – 50 dB ^{1) 2)}
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet	45 dB	40 dB ³⁾
Sisällä	Päiväajan (klo 7 – 22) keskiäänitason ohjeet	Yöajan (klo 22 – 7) keskiäänitason ohjeet
Asuin-, potilas- ja majointihuoneet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoustilat	35 dB	-
Liike- ja toimistohuoneet	45 dB	-

1) Uusilla alueilla melutason yöohje on 45 dB.

2) Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei sovelleta yöohjeä.

3) Yöohjeä ei sovelleta sellaisilla luonnonsuojelualueilla, joita ei yleensä käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä.

Jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista ohjearvoon.

2.6.2 Tuulivoimarakentamisen suunnittelussa käytettävät ohjearvot

Keväällä 2012 julkaistussa ympäristöministeriön julkaisussa on esitetty tuulivoimarakentamisen suunnittelussa käytettäviä ohjearvoja (Ympäristöministeriö 2012). Nämä suunnitteluohjearvot perustuvat pääosin muiden maiden kokemuksiin tuulivoimaloiden tuottaman äänen häiriövaikutuksista ja muissa maissa käytössä oleviin tuulivoimalamelulle annettuihin ohjearvoihin (taulukko 4).

Taulukko 4. Tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjearvot (Ympäristöministeriö 2012)

Alueen kuvaus	Päiväajan (klo 7 – 22) keskiäänitason ohjearvot	Yöajan (klo 22 – 7) keskiäänitason ohjearvot
Ulkona		
Asumiseen käytettävät alueet, loma-asumiseen käytettävät alueet taajamissa, virkistysalueet	45 dB	40 dB
Loma-asumiseen käytettävät alueet taajamien ulkopuolella, leirintäalueet, luonnonsuojelualueet	40 dB	35 dB ¹⁾
Muilla alueilla	Ei sovelleta	Ei sovelleta

1) Yöarvoa ei sovelleta luonnonsuojelualueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä.

Yksityiskohtaisen suunnittelun tavoitteena on, että melun aiheuttama haittavaikutus estyy tai minimoituu. Haittavaikutuksen katsotaan minimoituvan, kun tuulivoimarakentamisen päivä- ja yöajan keskiäänitason suunnitteluohjearvot alittuvat tarkastelupisteessä (Ympäristöministeriö 2012).

Ulkomelutason suunnitteluohjearvojen lisäksi asuntojen sisätiloissa käytetään Terveydensuojelulain (763/94) sisältövaatimukseen pohjautuen asumisterveysohjeen mukaisia taajuuspainottamattomia tunnin keskiäänitasoon $L_{eq, 1h}$ perustuvia suunnitteluohjearvoja koskien pientaajuisista melua (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

Impulssimaisuuden, kapeakaistaisuuden tai merkityksellinen sykinnän (äänenvoimakkuuden ajallinen vaihtelu, amplitudimodulaatio) vuoksi mittaustulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista suunnittelu- tai tunnusarvoon (Ympäristöministeriö 2013).

3 Ympäristömelumittaukset

3.1 Mittauspaikka 1, Stråkantie 38

Mittauspaikka 1 sijaitsi osoitteessa Stråkantie 38 noin 900 metrin etäisyydellä voimalasta lounaaseen. 11.12.–12.12.2013 noin klo 22:50–01:10 välisenä aikana mittauksia tehtiin Stråkantien ja rakennuksen pihaan johtavan tien risteyksen kohdalla, pihan kulmassa (kuva 2).

13.12.2013 noin klo 06:50–08:40 välisenä aikana mittaukset tehtiin rakennuksen etupihalla (kuva 3).

Havaintojen perusteella voimalan ääni erottui 11.12.–12.12. tehdyissä mittauksissa vallitsevasta taustamelutasosta heikosti. Taustamelua mittauspaikalle 1 aiheutui luonnon äänistä (tuulen havinasta puissa), naapurirakennuksen ilmalämpöpumpun käynnistä, Myrgrundintien liikenteestä sekä laivan (Wasa express) ja kaivokselta erottuvan iskuvasaran (13.12. mittauksissa) synnyttämistä äänistä.

Kun voimalan ääni erottui, se muistutti heikosti humisevaa ääntä, jossa oli satunnaisia syklisiä, humauksen omaisia komponentteja (amplitudimodulaatio).

Asukas kertoi tuulivoimalasta peräisin olevan melun olevan hyvin häiritsevää ja erottuvan sääolosuhteista riippuen paikoin hyvinkin selkeästi. Mittausaikana 11–12.12.2013 tuulen suunta oli mittauspaikalla kaakon-etelän puoleinen, joten kyseisenä ajankohtana tuulen suunta ei vastannut mittausohjeen vaatimuksia.

13.12.2013 tuulen suunta oli pohjoisesta, joten mittauspaikka sijaitsi mittausohjeen mukaisesti voimalan takapuolella noin 45 asteen sektorissa tuulen suuntaan nähden.

13.12.2013 mittausten aikana voimalan ääni erottui selkeästi taustamelusta. Voimala synnytti jatkuvan matalataajuisen hurinan ja siitä erotettiin satunnaisia yksittäisiä, syklisiä komponentteja (amplitudimodulaatio).



Kuva 2. Mittauspaikkojen sijainti 11–12.2013 (esitetty nuolella) (kuva vuodelta 2012).



Kuva 3. Mittausjärjestely mittauspaikalla 1 aamulla 13.12.2013.

3.2 Mittauspaikka 2, Myrgrund

Mittauspaikka 2 sijaitsi voimalan itäpuolella kallion louhinta- ja murskausalueelle johtavan tien varressa noin 850 metrin etäisyydellä voimalasta. Mittauspaikalla 2 tehtiin mittauksia 10.12.–11.12.2013 noin klo 22:40 – 01:30 välisenä aikana. Mittausaikana tuulen suunta oli mittauspaikalla kaakon puoleinen. Mittausohjeessa annettu kriteeri tuulen suunnalle ei siis toteutunut mittauspaikalla 2.

Havaintojen perusteella liikenne Myrgrundintielle väheni ja lähes loppui mittausiltana noin klo 23.00.. Tuulivoimalan ääni erottui mittauspaikalle selkeästi, kun tiellä ei ollut liikennettä. Voimalan synnyttämät äänet muistuttivat matalaa hurinaa, jossa oli satunnaisia syklisiä, humahduksen omaisia komponentteja (amplitudimodulaatio).

Kuvassa 4 on esitetty kolmijalkojen ja mittauspisteiden sijainnit mittauspaikalla 2. Kuva on otettu päiväaikana todellisia mittauksia esittävästä tilanteesta (yöaikana pimeys esti kuvan ottamisen). Kuvassa näkyvä rekka-auto kuvastaa mittauspaikan sijaintia Myrgrundintiehen verrattuna.



Kuva 4..Mittauspisteiden sijainnit mittauspaikalla 2.

3.3 Mittauspaikka 3, Kylänevantie 27

Mittauspaikka 3 sijaitsi osoitteessa Kylänevantie 27 noin 1,3 km etäisyydellä voimalasta kaakkoon.

Mittauspaikalla tehtiin mittauksia 10.12.–11.12.2013 noin klo 23:30 – 01:30 välisenä aikana, 11.12.–12.12.2013 noin klo 23:00 – 1:30 välisenä aikana, 12.12.–13.12.2013 klo 23:20 – 00:40 välisenä aikana ja 13.12.2013 klo 6:20 - 9:00 välisenä aikana.

Voimalan synnyttämät äänet erottuivat selkeimmin 11.12.–12.12.2013 tehtyjen mittausten aikana, jolloin tuulen nopeus maan pinnalla oli suhteellisen alhainen, eikä se synnyttänyt huminaa puissa. Kyseisenä mittausajankohtana voimalalta erottui selkeästi voimakas ja matala hurina/jurina ja satunnaisia sykliisiä humahduksia (amplitudimodulaatio).

Kyseisenä mittausajankohtana taustamelua syntyi Myrgrundintien satunnaisesta liikenteestä, tuulen äänistä puissa sekä laivan (Wasa express) synnyttämistä äänistä.

Puuskainen tuuli häiritsi mittauksia 12.12.–13.12.2013 ja tällöin voimalan synnyttämät äänet olivat vaikeasti havaittavissa/mitattavissa. Korkean taustamelutason vuoksi mittaustuloksia ei näiltä päiviltä ole käsitelty.

Mittauspaikalta on näköyhteys voimalaan (kuva 6).



Kuva 5. Näkymä mittauspaikalta 3 voimalan suuntaan. Mittarit näkyvät kuvan vasemmassa laidassa.



Kuva 6. Voimalan lavat erottuvat puiden takaa.

3.4 Mittaustulokset

3.4.1 Tulosten käsittely ja tulosteet

Mittaustuloksista pyrittiin erottamaan jaksot, jolloin tuulivoimalan ääni oli erotettavissa. Näiden jaksosten tuloksista laskettiin tuulivoimaloiden aiheuttamat taustamelukorjatut keskiäänitasot sekä tehtiin melun taajuusanalyysit. Äänitteiden avulla mittausaineistoista tunnistettiin ulkoisten äänilähteiden synnyttämät melutapahtumat ja ne poistettiin mittaustuloksista ennen laskentaa ja taajuusanalyysia. Niille jaksoille, jolloin voimalan ääntä ei kyetty erottamaan, ei ole tehty tulosten tarkastelua (esimerkiksi MP3 12.12.–13.12.2013)

Mittauspaikoilla mitattuja tuulivoimalan synnyttämiä keskiäänitasoja, taustamelutasoja ja taustamelukorjattuja tasoja on esitetty taulukoissa 5 - 9. Taustamelukorjaus tarkoittaa sitä, että kokonaismelutasosta poistetaan muiden äänien vaikutus paitsi tutkittavan äänen, tässä tapauksessa tuulivoimalan. Taustamelutasoa mitattaessa tuulivoimala oli pysäytetty. Koska mittaustulosten arvot vaihtelevat voimakkaasti vallitsevien olosuhteiden mukaan, on taulukoissa esitetty arvoja eri tarkastelujaksoille yhden mittausjakson ajalta.

Liitteiden 2, 3 ja 4 kuvaajissa on esitetty kunkin mittausjakson sekunnin keskiäänitasot koko mittausjaksolle (liite 2 sivut 1 ja 4, liite 3 sivu 1, liite 4 sivut 1 ja 5). Kuvaajiin on merkitty tuulivoimaloiden käyntijaksot ja -tehot sekä taustamittausten ajoittuminen. Näiden kuvaajien tulokset sisältävät myös häiriöäänistä aiheutuneita melutapahtumia ja -tasoja.

Liitteiden 2, 3 ja 4 taajuusanalyysit on tehty niiltä jaksoilta, jolloin tuulivoimalan ääni on erottunut parhaiten. Liitteet sisältävät IEC 61400-11 standardin mukaisesti tehdyt tonaalisuusanalyysin tulokset (liite 2 sivu 7, liite 3 sivu 5, liite 4 sivut 9 ja 10). Havaintoja sykkivästä melusta on esitetty kunkin liitteen viimeisellä sivulla.

3.4.2 Havainnot mittausten aikana

Mittauspäivien aikana havaittiin, että voimalan synnyttämä melu riippuu voimakkaasti vallitsevista sääolosuhteista, tuulen suunnasta ja nopeudesta. Esimerkiksi mittauspaikalla 3 voimalan synnyttämä ääni erottui selkeimmin 11.12.–12.12.2013 mittauksissa. Näiden mittausten aikana vallitseva taustamelutaso oli matala ja olosuhteet voimalan äänen etenemiselle olivat optimaaliset. Muina mittauspäivinä voimalan ääni saattoi sekoittua vallitsevaan taustameluun tai sitten tuulen suunta ja nopeus mittauspaikkaan nähden olivat epäsuotuisat.

Mittauspaikat 1 ja 3 sijaitsivat asuinrakennusten piha-alueilla. Kyseisten rakennusten asukkaat kertoivat voimalan äänien aiheuttavan merkittävää häiriötä. Osoitteessa Kylänevantie 27 (MP3) asukas kertoi voimalan matalataajuisten äänten erottuvan sisätiloissa niiden läpäistessä rakennuksen julkisivurakenteen. Asukkaan kertoman mukaan äänet sisätiloissa voivat olla nurkissa voimakkaampia kuin keskellä huonetta, joka viittaa siihen, että ääni osuu huonetilan ominaistajuusalueelle ja synnyttää seisovan aallon huoneen dimensioiden välille.

Mittauspaikkojen 1, 2 ja 3 tuloksissa näkyy mittaustulosten perusteella kapeakaistaisuutta 100 Hz terssikaistoilla (liite 2). Kapeakaistaisuus oli mittauspaikoilla ajoittain havaittavissa myös kuulohavainnoin.

Kun mittaustuloksia tutkitaan terssikaistoittain, kaikissa mittauspisteissä mitattu kapeakaistaisuus ylittää kapeakaistaisuuden määritelmän mukaisen kriteerin (yksittäinen terssikaista on 5 dB korkeampi kuin tämän viereisten kaistojen tasot, voimalan käynti 3,6MW). Kriteeri täyttyy mittauspaikoilla 100 Hz terssikaistalla. Mittauspaikoilla 1 ja 3 voimalan synnyttämä melu oli kapeakaistaista myös 2,4MW tehotasolla (100 Hz terssikaista).

Huomionarviosta on, että voimalan synnyttämä melu ei kaikkina mittaushetkinä täyttänyt kapeakaistaisuuden kriteeriä (esim MP1 10–11.12.2013). Tähän vaikuttivat mm. sääolosuhteet.

WSP Akustik Göteborgin Johan Scheuer toteutti mittauspaikoille standardin IEC 61400-11 mukaisen tonaalisuusanalyysin, jonka perusteella voimalan melupäästössä oli tonaalinen komponentti 92 Hz taajuudella (kaikilla mittauspaikoilla havaittu). Tämän lisäksi tonaalisuutta havaittiin 60 Hz ja 180 Hz taajuuksilla.

3.4.3 Mittauspaikka 1. Stråkantie 38

Mittauspaikan 1 sekunnin kokonaistasot vaihtelivat 11.12. – 12.12.2013 tehdyn mittaukset aikana välillä $L_{Aeq} = 25 - 65$ dB. Kuvaajassa esiintyvät yli $L_{Aeq} = 40$ dB tasolle nousevat meluhuiput ovat käytännössä kaikki taustäänien aiheuttamia melutapahtumia (liite 2, sivu 1).

Melun kokonaistasoista on vaikea erottaa tuulivoimalan pysäytyksen vaikutuksia kokonaistasoon. Mittausjakson aikana Wasa-Express-laivan ja naapurin ilmalämpöpumpun aiheuttamat häiriöäänit näkyvät tuloksissa ja peittivät osittain alleen tuulivoimalan aiheuttaman äänen.

Kokonaisäänitasoissa näkyy lyhytaikainen äänitason pudotus tuulivoimalan ensimmäisen pysäytyksen kohdalla noin klo 23:35. Voimalan käydessä 2,4 MW teholla äänitaso ei poikennut jaksoa edeltävästä ja jälkeisestä taustamelujaksojen tasoista. Viimeinen voimalan käynnistyminen peittyi ilmalämpöpumpun aiheuttamaan ääneen (liite 2, sivu 1).

Mittausjaksolta (11.12.–12.12.) poimitun taajuusanalyysin tuloksissa tuulivoimalan käynnin aikaiset terssikaistojen äänenpainetasot ovat poikkeuksetta suurempia kuin taustamittauksen aikaiset tasot. Melun taajuusjakaumissa ei ole nähtävissä kapeakaistaisuutta 11.–12.2013 (liite 2, sivut 2 ja 3).

Mittausjaksolle (11.12.–12.12.) lasketut taustamelukorjatut tuulivoimalan aiheuttamat melutasot vaihtelivat välillä 26 – 35 dB (taulukko 5). Melun kokonaistaso oli taustamelutasoa 5 dB suurempi klo 23:00 – 23:35 jaksolla. Muilla tarkastelluilla jaksoilla kokonaismelutasot ja taustamelutasot olivat samaa tasoa (taulukko 5).

Taulukko 5. Mittaustulokset MP1 – Stråkantie 38 11.12.–12.12.2013

Jakso klo	Mitattu Kokonaisäänitaso /Taustäänitaso L_{Aeq} [dB]	Tuulivoimalan aiheuttama taustamelu- korjattu taso L_{Aeq} [dB]	Voima- lan teho	Tuulen nopeus (h=10m) [m/s]	Tuulen nope- us ja suunta (Nacelle)	Cyclic pitch- kulma ja voimalan pyörimisluku	Havainnot mit- tausjaksolta
23:00– 23:35	36 Kokonaismelu	35	3,6MW	2,4	12,2 m/s 236	5,3 12,5 rpm	Voimalan ääni erottuu
23:40– 23:55	31 Taustamelu		-	1,8	11.1 m/s 244	0,1 12,1 rpm	heikosti taus- tamelusta
23:58– 00:10	31 Kokonaismelu	26	2,4MW	1,9	11,8 m/s 235	3,9 12,1 rpm	
00:20– 00:45	30 Taustamelu		-	1,9	10,9 m/s 251	0,1 0,33 rpm	
00:55– 01:05	33 Kokonaismelu	30	3,6MW	1,9	12,5 m/s 234	4,4 12,5 rpm	

Toisella mittausjaksolla 13.12.2013 vallitsi pohjoisenpuoleinen tuuli. Tuulivoimalan käytön vaikutukset kokonaisäänitasoissa näkyivät kuitenkin varsin heikosti. Mittausjakson keskiäänikuvajasssa on lyhytaikaisena havaittavissa voimalan pysäytykset klo 7:30 ja klo 8:08 sekä voimalan käynnistäminen noin klo 8:22 (liite 2, sivu 4).

Melun taajuusanalyysissä tuulivoimalan aiheuttama melu erottuu 100 Hz terssikaistalla taustatasoon verrattuna tehotasoilla 2,4MW ja 3,6MW (liite 2, sivut 5 ja 6). Mittaustuloksista voidaan erottaa myös hetkellistä amplitudimodulaatiota, jossa tuulivoimalan aiheuttamassa sykkivässä äänessä on havaittavissa 5 -7 dB tasoeroja lyhytaikaisissa keskiäänitasoissa (liite 2, sivu 8, teho 3,6MW).

Taustamelutasot eivät poikenneet merkittävästi kokonaismelutasoista ja taustamelukorjatut tuulivoimaloiden aiheuttamat melutasot vaihtelivat mittausjaksolla välillä 32 – 35 dB (taulukko 6).

Taulukko 6. Mittaustulokset MP1 – Stråkantie 38 13.12.2013

Jakso klo	Mitattu Kokonaisäänitaso /Taustäänitaso L_{Aeq} [dB]	Tuulivoimalan aiheuttama taustamelukorjattu taso L_{Aeq} [dB]	Voimalan teho	Tuulen nopeus (h=10m) [m/s]	Tuulen nopeus ja suunta (Nacelle)	Cyclic pitchkulma ja voimalan pyörimisluku	Havainnot mittausjaksolta
06:50–07:10	44 Kokonaismelu	32	3,6MW	-	12,4 m/s 342	2,95 12,4 rpm	Voimalan ääni erottuu
07:32–07:48	43 Taustamelu		-	-	9,8 m/s 288	0,1 0,16 rpm	selkeästi
07:52–08:06	44 Kokonaismelu	33	2,4MW	-	12,0 337	0,24 12,1 rpm	taustamelusta.
08:10–08:20	38 Taustamelu		-	-	8,4 m/s 263	0,1 0,1 rpm	Voimakas
08:25–08:40	40 Kokonaismelu	35	3,6MW	-	9,3 m/s 343	0,7 12,2 rpm	tuuli

3.4.4 Mittauspaikka 2, Myrgrund

Myrgrundintien liikenteen vaikutukset näkyvät mittaustuloksissa hetkellisinä meluhuippuina, jotka nousivat yli 50 dB tasolle. Mittaustuloksissa tuulivoimalan pysäytyksen vaikutukset erottuivat kuitenkin varsin selvästi; tuulivoimalan pysäytyksen aikana sekunnin keskiäänitasot putosivat noin 35 – 40 dB tasolle (liite 3, sivu 1).

Tuulivoimalan aiheuttama melu näkyi erityisen selvästi 100 Hz terssikaistalla, jonka äänenpainetaso oli voimalan käydessä yli 15 dB suurempi kuin taustamittauksessa. Taustamittausten tuloksissa näkyy poikkeavan korkea äänenpainetaso 80 Hz terssikaistalla. Tämän poikkeaman syytä ei tiedetä (liite 2, sivu 3).

Taajuusanalyysin perusteella tuulivoimalan aiheuttama melu oli tulkittavissa kapeakaistaiseksi voimalan toimiessa 3,6 MW teholla, sillä 100 Hz terssipainetasot olivat yli 5 dB suurempia kuin viereis-

ten terssikaistojen tasot. Tuulivoimalan toimiessa 2,4 MW teholla kapeakaistaisuutta ei mittausajan kohtana todettu (liite 2, sivu 4). Melun tonaalisuus oli selvää myös IEC 61400-11 standardin mukaisesti tehdyssä tonaalisuuden analyysissä (liite 2, sivu 5, voimalan käynti 3,6 MW).

Mittaus tuloksista erottui jaksoja, joissa tuulivoimalan melu oli sykkivää ja lyhytaikaisten keskiäänitasojen erot olivat yli 5 dB (liite 2, sivu 7).

Mittausjakson aikana mitatut kokonaisäänitasot poikkesivat 3 - 6 dB jakson aikana mitatuista taustatasoista. Mittauspaikalle lasketut tuulivoimalan aiheuttamat taustakorjatut melutasot vaihtelivat välillä 38 – 42 dB (taulukko 7).

Taulukko 7. Mittaustulokset MP2 (Myrgrund) 10.12.–11.12.2013

Jakso klo	Mitattu Kokonaisäänitaso /Taustaaäänitaso L_{Aeq} [dB]	Tuulivoimalan aiheuttama taustamelu-korjattu taso L_{Aeq} [dB]	Voimalan teho	Tuulen nopeus (h=10m) [m/s]	Tuulen nopeus ja suunta (Nacelle)	Cyclic pitch-kulma ja voimalan pyörimisluku	Havainnot mitausjaksolta
23:10-0:05	43 Kokonaismelu	42	3,6MW	3,0	13,0 m/s 233	4,2 12,5 rpm	Voimalan ääni erottuu
00:10-00:28	37 Taustamelu		-	2,7	10,9 m/s 242	0,1 0,3 rpm	selkeästi.
00:30-00:55	41 Kokonaismelu	38	3,6MW	2,4	11,7 m/s 237	1,8 12,4 rpm	Tiellä jonkin
00:57-01:05	38 Taustamelu		-	2,9	11,5 m/s 249	0,1 0,73 rpm	verran
01:07-01:25	42 Kokonaismelu	40	2,4MW	2,9	12,7 m/s 244	3,4 12,0 rpm	liikennettä

3.4.5 Mittauspaikka 3, Kylänevantie 27

Tuulivoimalan käynnistysten ja pysäytysten vaikutukset melun kokonaistasoissa eivät erottuneet selvästi 10.12. – 11.12.2014 tehdyissä mittauksissa. Sekunnin keskiäänitasoissa erottuu ainoastaan klo 0:30 tapahtunut voimalaitoksen käynnistäminen, jolloin melutaso nousi noin 35 dB tasolta 40 dB tasolle (liite 4, sivu 1).

Mittaustulosten taajuusjakaumissa erottuvat voimalaitoksen aiheuttama melu alle 400 Hz terssikaistoilla. Erityisen selvästi tuulivoimalan aiheuttama melu erottui 63 Hz, 80 Hz ja 100 Hz terssikaistoilla, joiden A-taajuuspainotetut tasot olivat 8 – 10 dB suurempia tuulivoimalan käydessä kuin tuulivoimalan olleessa pysäytettynä (liite 4, sivu 3).

Tuulivoimalan toimiessa täydellä 3,6MW teholla melu oli tulkittavissa kapeakaistaiseksi, sillä 100 Hz terssikaistan melutaso oli yli 5 dB suurempi kuin terssikaistan viereisten kaistojen äänenpainetaso. Tuulivoimalan toimiessa 2,4 MW teholla kapeakaistaisuutta ei erotettu 10.12.–11.12.2013 (liite 4, sivu 4).

Taulukko 8. Mittaustulokset MP3 (Kylänevantie 27) 10.12.–11.12.2013

Jakso klo	Mitattu Kokonaisäänitaso /Taustäänitaso L_{Aeq} [dB]	Tuulivoimalan aiheuttama taustamelu-korjattu taso L_{Aeq} [dB]	Voimalan teho	Tuulen nopeus (h=10m) [m/s]	Tuulen nopeus ja suunta (Nacelle)	Cyclic pitch-kulma ja voimalan pyörimisluku	Havainnot mitausjaksolta
23:05–00:05	41 Kokonaismelu	38	3,6MW	2,6	13,2 m/s 232	4,2 12,5 rpm	Voimalan ääni erottuu
00:10–00:28	39 Taustamelu		-	2,8	10,9 m/s 242	0,1 0,3 rpm	taustamelusta
00:30–00:55	38 Kokonaismelu	25	3,6MW	2,1	11,7 m/s 237	1,7 12,4 rpm	
00:57–01:05	38 Taustamelu		-	2,9	11,5 m/s 249	0,1 0,7 rpm	
01:07–01:25	40 Kokonaismelu	37	2,4MW	2,9	12,7 m/s 244	3,4 12,0 rpm	

Seuraavana iltana ja yönä 11.12. – 12.12.2013 tehdyssä mittauksessa tuulivoimalan aiheuttamat melu erottui selvemmin mitauspaikalla kuin edellisenä päivänä. Erityisen selvästi melun kokonaistasoissa näkyy klo 0:50 tapahtunut tuulivoimalan käynnistyksen vaikutukset, jolloin sekunnin keskiäänitasot nousivat noin 30 dB tasolta 37 – 38 dB tasolle. Myös muiden pysäytysten ja käynnistysten vaikutukset erottuvat mitausjakson sekunnin keskiäänitasoissa (liite 4, sivu 5).

Tuulivoimalan aiheuttama melu erottuu mittaustuloksissa taustamittausten tuloksista alle 1000 Hz taajuusalueella. Erityisen selvästi tuulivoimalan käytön vaikutukset näkyvät 100 Hz terssikaistalla, jonka äänenpainetasot olivat noin 15 dB suurempia tuulivoimalan käydessä kuin sen ollessa pysäytettynä (liite 4, sivu 7).

Tuulivoimalan toimiessa täydellä 3,6MW teholla 100 Hz terssikaistan taustamelukorjatut äänenpainetasot olivat selvästi yli 5 dB suurempia kuin viereisten terssikaistojen äänenpainetasot. Tämä kapeakaistaisuutta aiheuttava terssikaista erottui myös tuulivoimalan toimiessa teholla 2,4 MW (liite 4, sivu 8). Melun kapeakaistaisuus todettiin myös IEC 61400-11 standardin mukaisessa tonaalisuuden analyysissä (liite 4, sivu 9).

Mittauspaikalla todettiin ajoittain melun sykkivyyttä, jossa mittaustulosten perusteella tuulivoimalan aiheuttama melutason vaihtelu 125 ms jaksoissa vaihteli välillä 5 – 6 dB (liite 4, sivu 11).

Taulukko 9. Mittaustulokset MP3 (Kylänevantie 27) 11.12.–12.12.2013

Jakso klo	Mitattu Kokonaisäänitaso /Taustäänitaso L_{Aeq} [dB]	Tuulivoimalan aiheuttama taustamelukorjattu taso L_{Aeq} [dB]	Voimalan teho	Tuulen nopeus (h=10m) [m/s]	Tuulen nopeus ja suunta (Nacelle)	Cyclic pitchkulma ja voimalan pyörimisluku	Havainnot mittausjaksolta
23:05–23:35	42 Kokonaismelu	40	3,6M W	2,2	12,1 m/s 236	5,3 12,5 rpm	Voimalan ääni
23:40–23:55	37 Taustamelu		-	1,7	11,1 m/s 244	0,1 3,6 rpm	erottuu selkeästi
23:58–00:10	37 Kokonaismelu	36	2,4M W	1,6	11,8 m/s 251	3,9 12,1 rpm	taustamelusta.
00:20–00:45	33 Taustamelu		-	1,6	10,9 m/s 251	0,1 0,33 rpm	Kapeakaistainen hurina
00:55–01:25	39	37	3,6M W	1,7	12,5 m/s 234	4,8 12,5 rpm	korostunut

4 Johtopäätökset

WSP Finland Oy toteutti Mervento Oy:n tuulivoimalalle Vaasan Sundomissa ympäristömelumittaukset ajalla 9-13.12.2013 yhteensä kolmella mittauspaikalla voimalan lähiympäristössä. WSP Akustik (Göteborg) vastasi standardin IEC 61400-11 mukaisista kapeakaistaisuuden analyyseistä.

Ympäristömelumittausten perusteella voimalan äänen erottuminen ja sen taso ja laatu mittauspaikoille riippuu merkittävästi vallitsevista sääolosuhteista. Paikoin voimalan ääni erottui vaivoin taustamelusta, kun taas välillä voimalan synnyttämät äänet olivat hyvinkin selkeät. Mittauspaikoille erottui voimalalta matalataajuinen jurina/ humina ja satunnaiset sykliset humahdukset voimalan roottorin halkoessa ilmaa.

Mittauspaikalla 1 mitatut kokonaistasot olivat voimalan käydessä noin $L_{Aeq} = 31-44$ dB ja noin $L_{Aeq} = 30-43$ dB voimalan ollessa pois päältä mittauspäivästä ja – olosuhteista riippuen.

Voimalan käynnin aikaiset taustamelukorjatut tasot olivat noin $L_{Aeq} = 30-35$ dB tasolla.

Tulosten perusteella voimalan aiheuttama melu ei ollut kapeakaistasta 11.12.–12.12.2013, mutta sen sijaan se oli kapeakaistaista 13.12.2013 tehotasolla 2,4MW ja 3,6MW, kun tuulen suunta oli kääntynyt kohti etelää (pohjoistuuli). Mittauspaikalla 1 havaittiin ajoittaista amplitudimodulaatiota voimalan tehotasolla 3,6 MW.

Voimalan synnyttämän melupäästön todettiin olevan mittauspaikalla 1 kapeakaistaista (13.12.2013, käynti 2,4 MW ja 3,6 MW), jolloin mitattuun arvoon tulee tehdä +5 dB korotus ennen vertaamista ohjearvoon.

Mittauspaikalla 1 taustamelua syntyi mm. tuulen synnyttämistä äänistä, ilmalämpöpumpusta ja laivasta (Wasa Express)

Mittauspaikalla 2 mitatut kokonaistasot olivat voimalan käydessä noin $L_{Aeq} = 41\text{--}43$ dB ja voimalan ollessa pois päältä noin $L_{Aeq} = 37\text{--}38$ dB.

Voimalan käynnin aikaiset taustamelukorjatut tasot olivat tällöin noin $L_{Aeq} = 38\text{--}42$ dB.

Mittaushetkellä voimalan ääni erottui selkeästi taustamelutasosta syklisesti vaihtelevana huminana. Mittaustulosten perusteella voimalan synnyttämä ääni oli kapeakaistaista 100 Hz terssikaistalla (mittaus 10–11.12.2013, käynti 3,6MW), jolloin mittaustulokseen tulee tehdä +5 dB korotus ennen vertaamista ohjearvoon. Mittaushetkellä voimalan käynnin ei todettu olevan kapeakaistaista 2,4 MW tehotasolla mittauspaikalle 2.

Mittauspaikalla 2 taustamelua syntyi mm. Myrgrundintien liikenteestä ja tuulen synnyttämistä äänistä.

Mittauspaikalla 3 mitatut kokonaistasot vaihtelivat eri mittausajankohtien välillä. Voimalan ollessa käynnissä kokonaistasot olivat noin $L_{Aeq} = 37\text{--}42$ dB tasolla ja voimalan ollessa pois päältä $L_{Aeq} = 33\text{--}39$ dB.

Voimalan käynnin aikaiset taustamelukorjatut tasot vaihtelivat tällöin $L_{Aeq} = 36\text{--}40$ dB tasolla.

Selkeimmin voimalalta peräisin olevat äänet erottuivat mittauspaikalle 3 11.12.–12.12.2013 illalla, jolloin melusta havaittiin matalaa hurinaa/jylinää ja syklisiä humahduksia. Kyseisenä mittausajankohtana voimalalta havaittiin myös ajoittaista amplitudimodulaatiota (tehotaso 3,6MW).

Mittaustulosten perusteella voimalan synnyttämä ääni oli kapeakaistaista 100 Hz terssikaistalla (mittaus 11.–12.2013, käynti 2,4MW ja 3,6MW), jolloin mittaustulokseen tulee tehdä +5 dB korotus ennen vertaamista ohjearvoon.

Mittauspaikalla 3 taustamelua syntyi mm. tuulen synnyttämistä äänistä, eläinten äänistä (koiran haukunta) ja laivasta (Wasa Express).

WSP Akustik Göteborgin laatiman tonaalisuusanalyysin perusteella voimalan synnyttämässä melupäästössä (emissionmittaus) oli kapeakaistaisia komponentteja taajuuksilla 30 Hz, 60 Hz, 92 Hz ja 180 Hz (WSP Akustik Göteborg, erillinen raportti), joiden tarkka taajuus riippui voimalan roottorin pyörimisnopeudesta.

Näistä taajuuksista ympäristömelumittauspaikkojen tonaalisuusanalyysissä havaittiin kaikilla mittauspaikoilla noin 90 Hz taajuus voimalan toimiessa täydellä teholla 3,6MW. Tämän lisäksi mittauspaikalla 2 ja 3 mittaustuloksissa havaittiin myös 60 Hz ja 180 Hz taajuudet (käynti 3,6MW). Taajuusanalyysin perusteella voimalan synnyttämä melu oli siis tonaalista 3,6MW käynnillä.

Voimalan toimiessa rajoitetulla teholla 2,4MW voimalan roottorin pyörimisvauhti on hitaampi kuin voimalan toimiessa täydellä 3,6MW teholla. Tämän vaikutuksesta voimalan emittoimat taajuudet ovat täyttä tehotasoa hieman matalampia (WSP Akustik Göteborg).

Melun tonaalisuusanalyysiä ei tehty voimalan 2,4MW käynnille.

Koska voimalan synnyttämän melun todettiin olevan kapeakaistaista erityisesti noin 90 Hz taajuudella voimalan toimiessa täydellä teholla, on todennäköistä, että matalataajuinen melu voi tunkeutua rakennusten julkisivurakenteiden (seinä- ja ikkunarakenteet) läpi asuinhuoneistoihin ja mikäli asunnossa vallitseva taustamelutaso on hyvin matala, se voi aiheuttaa häiriötä (esim. nukahtamisen vaikeutumista). Seinärakenteen ääneneristävyyttä kuvaava $R'w$ arvo voi olla näin matalalla taajuusalueella hyvinkin matala julkisivurakenteesta riippuen.

Sisätiloissa erottuvaa äänen tasoa tai taajuusjakaamaa on mahdotonta arvioida ilman sisätiloissa toteutettavia mittauksia.

Raportoitujen ympäristömelumittausten yhteydessä ei tehty sisämittauksia.

Mittauspaikalla 1 tuulivoimalan aiheuttamat taustamelukorjatut melutasot olivat selvästi pienemmät tuulivoimalan toimiessa 2,4 MW teholla kuin täydellä teholla 3,6MW. Mittauspaikoilla 2 ja 3 tuulivoimalan toimintatehon (2,4 MW / 3,6 MW) ja taustamelukorjatun melutason välillä ei todettu merkittävää korrelaatiota.

Kaikilla mittauspaikoilla havaittiin amplitudimodulaatiota, jossa amplitudin huipun ja pohjan välinen ero oli voimakkaimmillaan noin 5-7 dB (voimalan käynti 3,6MW). Modulointi ei ollut jatkuvaa, vaan modulointia (voimalan synnyttämiä humahduksia) erotettiin paikoin hyvinkin satunnaisesti. 2,4 MW toimintateholla modulointi oli selkeästi vaimeampaa.

Kun voimalan synnyttämiin, taustamelukorjattuihin melutasoihin tehdään kapeakaistaisuuskorjaus (+5dB), ylittyy ympäristöministeriön suunnitteluohjeen yöaikainen ohjearvotaso ($L_{Aeq22-07} = 40$ dB) mittauspaikoilla 2 ja 3.

Kapeakaistaisuuskorjauksen jälkeen ohjearvoihin verrattava taso mittauspaikalla 2 oli $L_{Aeq22-07} = 43-47$ dB ja mittauspaikalla 3 $L_{Aeq22-07} = 41-45$ dB.

Mittauspaikalla 1 voimalan synnyttämä, taustamelukorjattu melutaso oli korkeimmillaan ohjearvotason tasalla (ohjearvotasoon verrattava taso $L_{Aeq22-07} = 35-40$ dB).

Taulukko 10. Yhteenveto mittaustuloksista.

Mittauspaikka	Taustamelukorjattu keskiäänitaso, 3,6MW	Taustamelukorjattu keskiäänitaso, 2,4MW	Melun kapeakaisuus, 3,6MW (mittauspvm)	Melun kapeakaistaisuus, 2,4MW (mittauspvm)	Ohjearvoon verrattava melutaso, (kapeakaistaisuuskorjaus) 3,6MW (+5 dB)
MP1 – Stråkantie 38	30–35 dB	33 dB	Ei (11-12.12.2013) Kyllä (13.12.2013)	Ei (11-12.12.2013) Kyllä (13.12.2013)	35 – 40 dB
MP2 – Myrgrund	38 – 42 dB	40 dB	Kyllä (10-11.12.2013)	Ei (10-11.12.2013)	43 – 47 dB
MP3 – Kylänevantie	37 – 40 dB	36 – 37 dB	Kyllä (10-11.12.2013) Kyllä (11-12.12.2013)	Ei (10-11.12.2013) Kyllä (11-12.12.2013)	42 – 45 dB

5 Viitteet

Ympäristöministeriö: Carlo Di Napoli "Tuulivoimaloiden melun syntyvät ja leviäminen", Suomen Ympäristö4/2007

Standard ISO 9613-2 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors, part 2: General method of calculation.

IEC 61400-11 Wind turbines – Acoustic noise measurement techniques, International electro-technical commission

Sosiaali- ja terveysministeriö 2003: Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysiset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät - Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki 2003.

Ympäristöministeriö 2012: Tuulivoimarakentamisen suunnittelu - Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012.

Valtioneuvoston päätös 993/1992

Ympäristöministeriö 2013: Tuulivoimaloiden melun mittaaminen altistuvassa kohteessa, YM12/401/2013, 21.10.2013.

WSP Akustik, Göteborg, PM Signal analysis, Sound Power measurements, Vaasa, December 2013, Uppdragsnr 10190992

Helsinki 7.3.2014



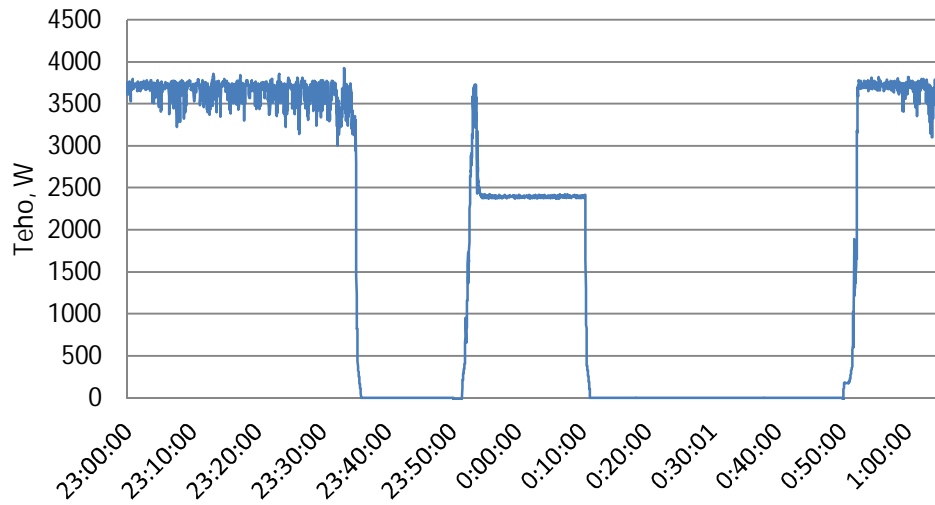
Tuukka Lyly
WSP Finland Oy

Tampere 7.3.2014

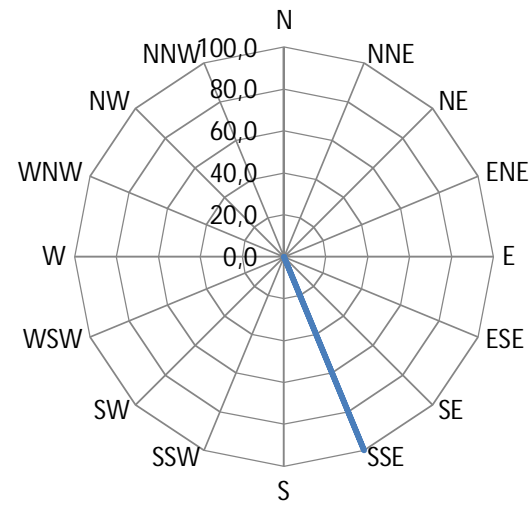


Ilkka Niskanen
WSP Finland Oy

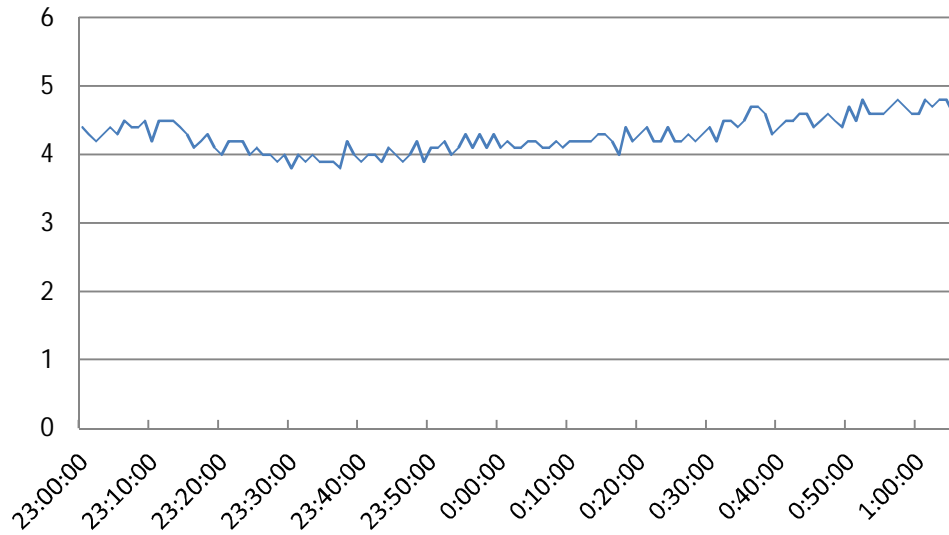
Voimalan tehontuotto, W



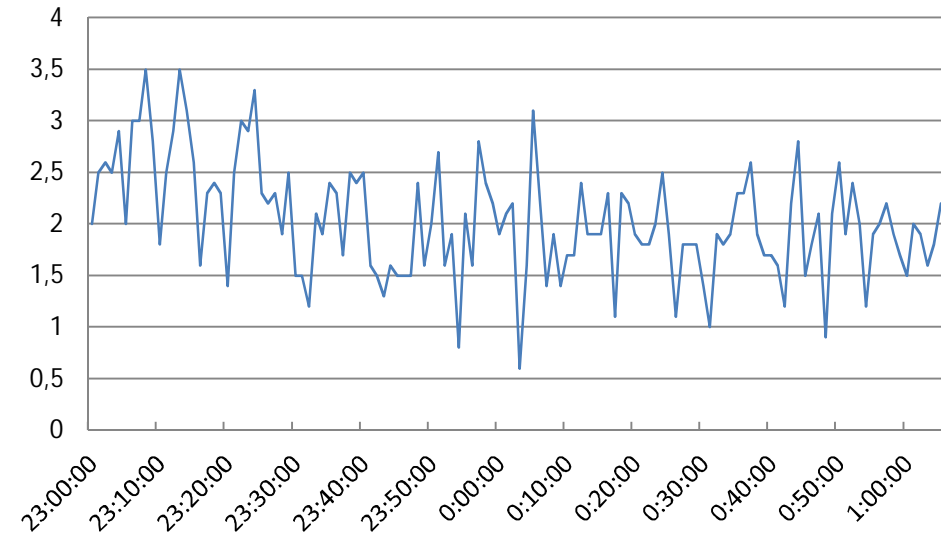
Tuulen suunta



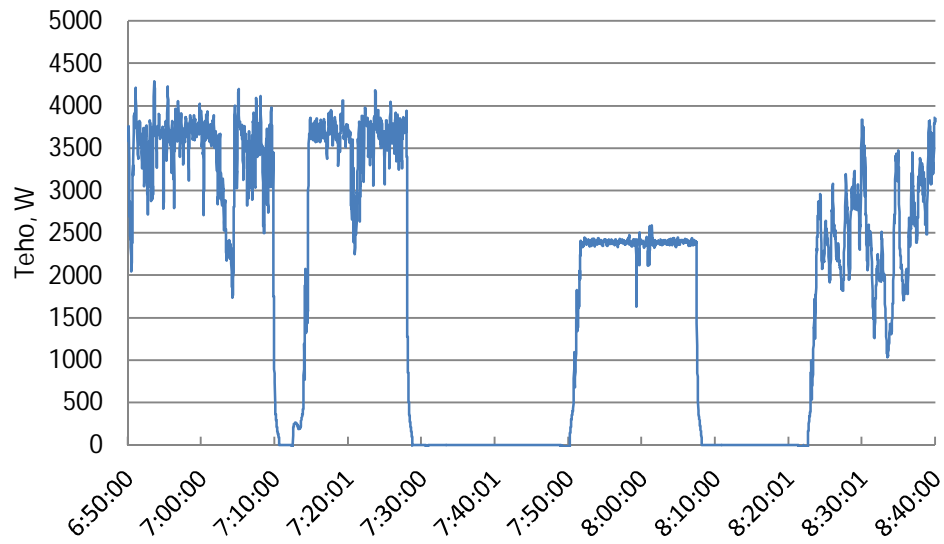
Lämpötila, °C



Tuulen nopeus, m/s

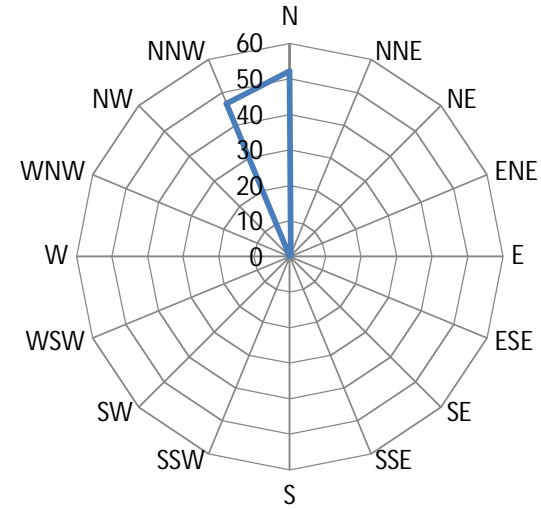


Voimalan tehontuotto, W



Tuulen suunta

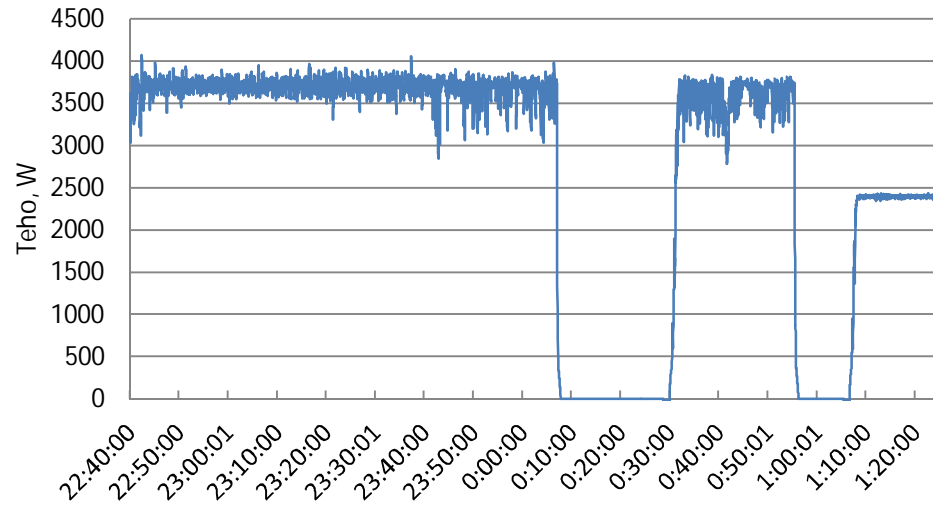
(Mitattu nacellen huipulta)



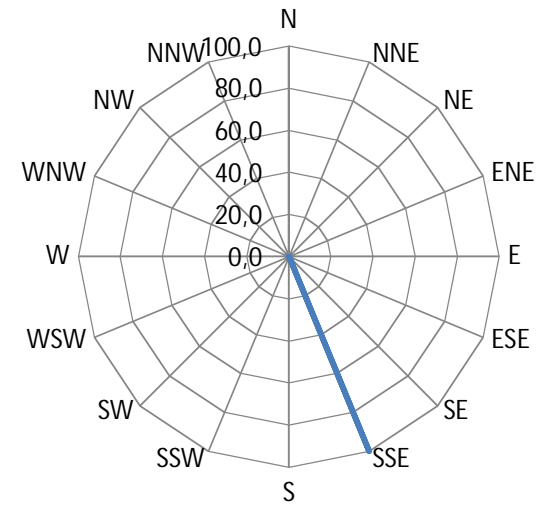
Lämpötilatietoa ei ole saatavilla tälle mittauspaikalle/-ajalle

Tietoa tuulen nopeudesta ei ole saatavilla tälle mittauspaikalle/-ajalle

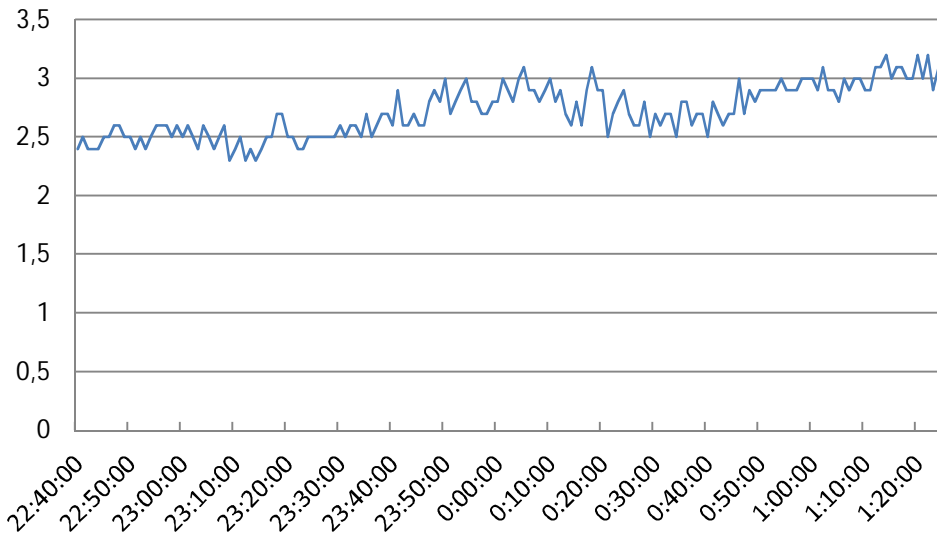
Voimalan tehontuotto, W



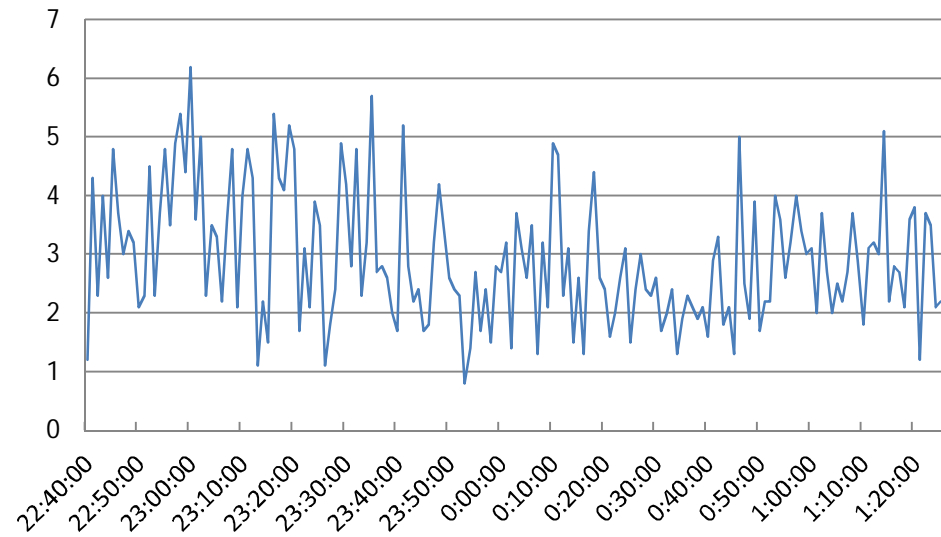
Tuulen suunta



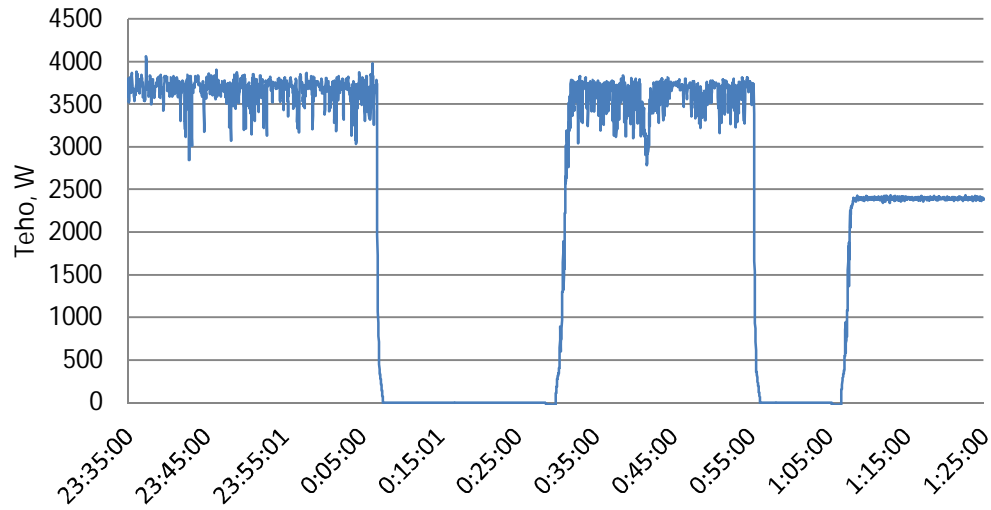
Lämpötila, °C



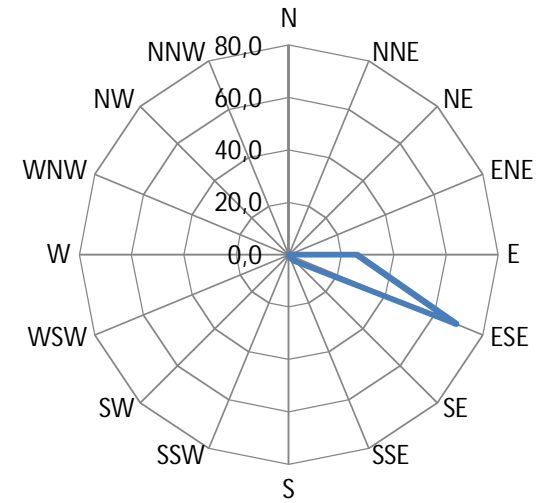
Tuulen nopeus, m/s



Voimalan tehontuotto, W

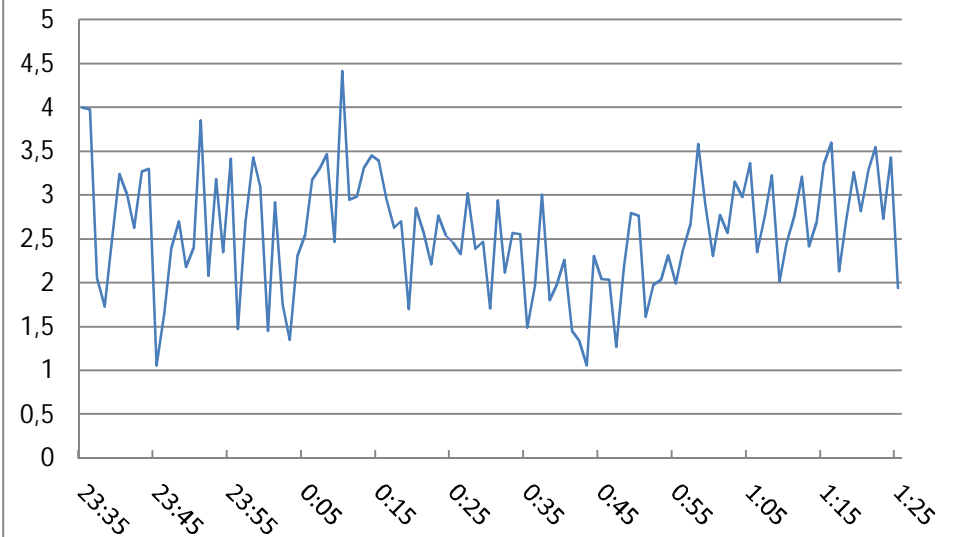


Tuulen suunta

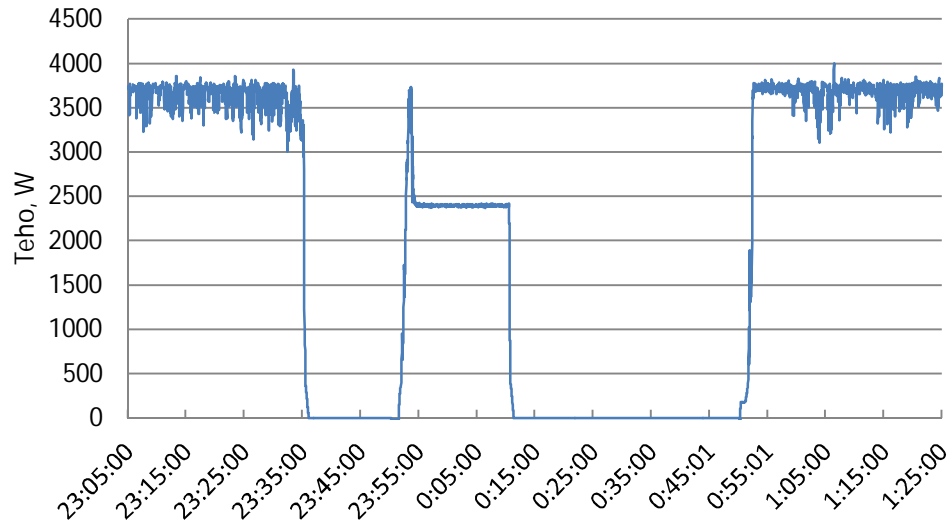


Lämpötilatietoa ei ole saatavilla tälle mittauspaikalle/-ajalle

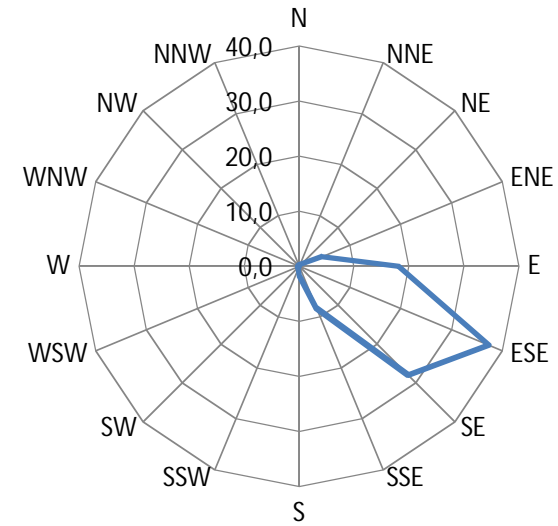
Tuulen nopeus m/s



Voimalan tehontuotto, W

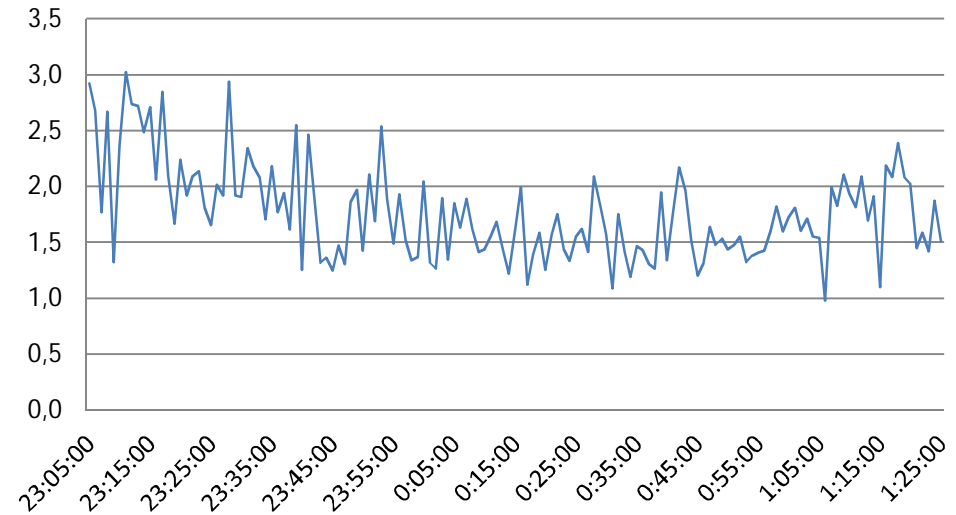


Tuulen suunta

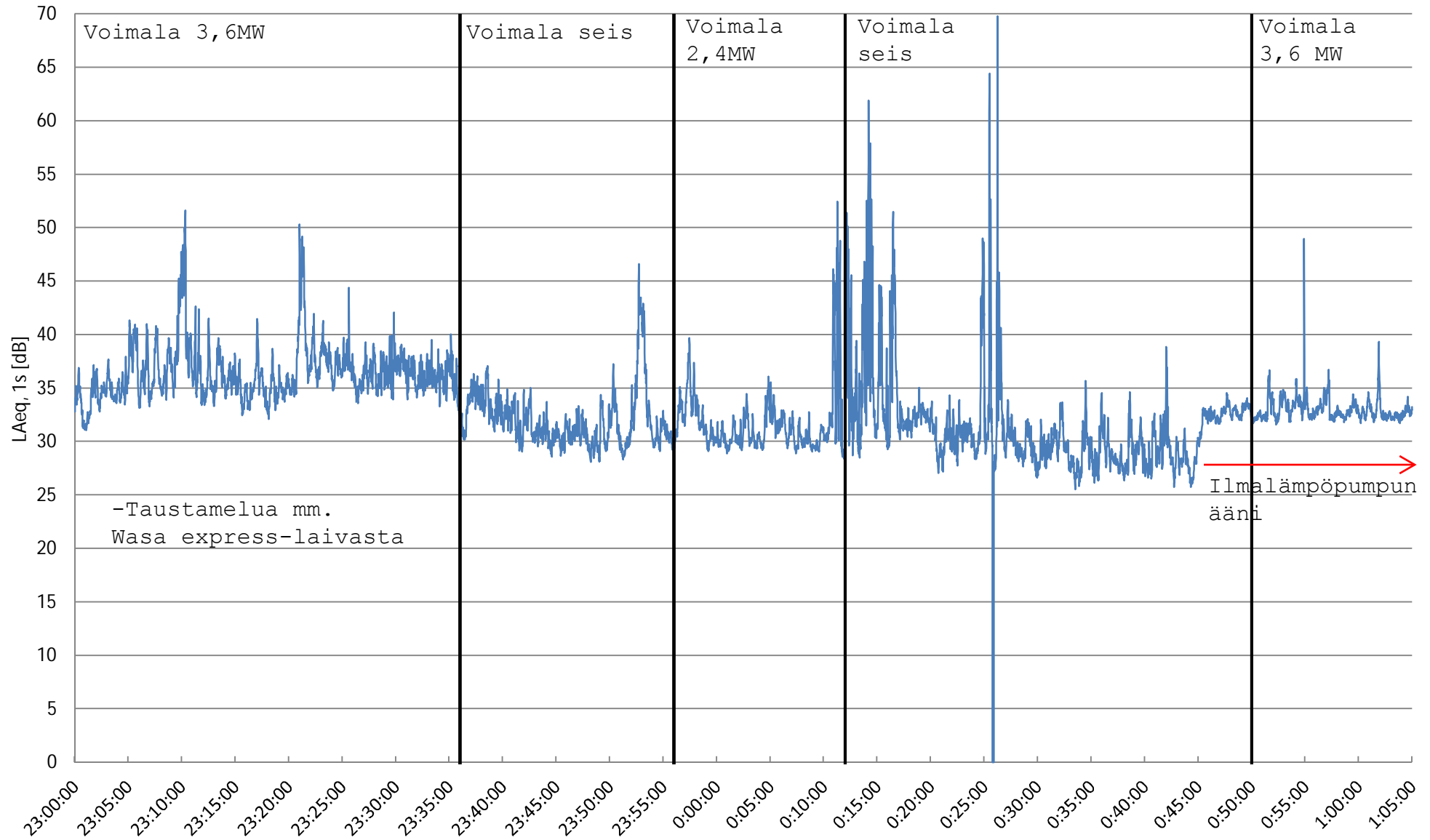


Lämpötilatietoa ei ole saatavilla tälle mittauspaikalle/-ajalle

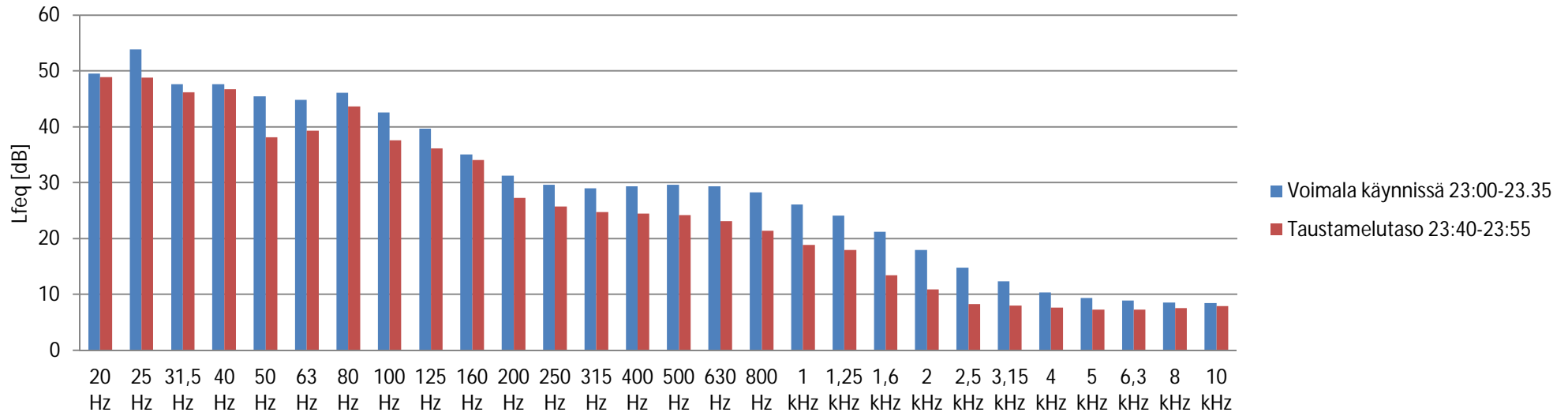
Tuulen nopeus m/s



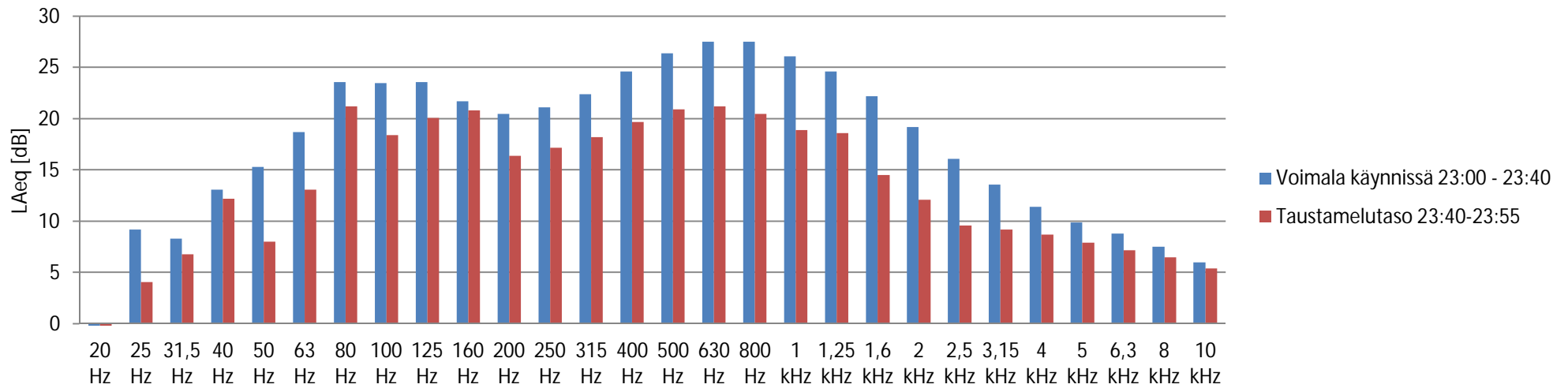
MP1 - Stråkantie 38 11-12.12.2013 Klo 23.00 - 01.05



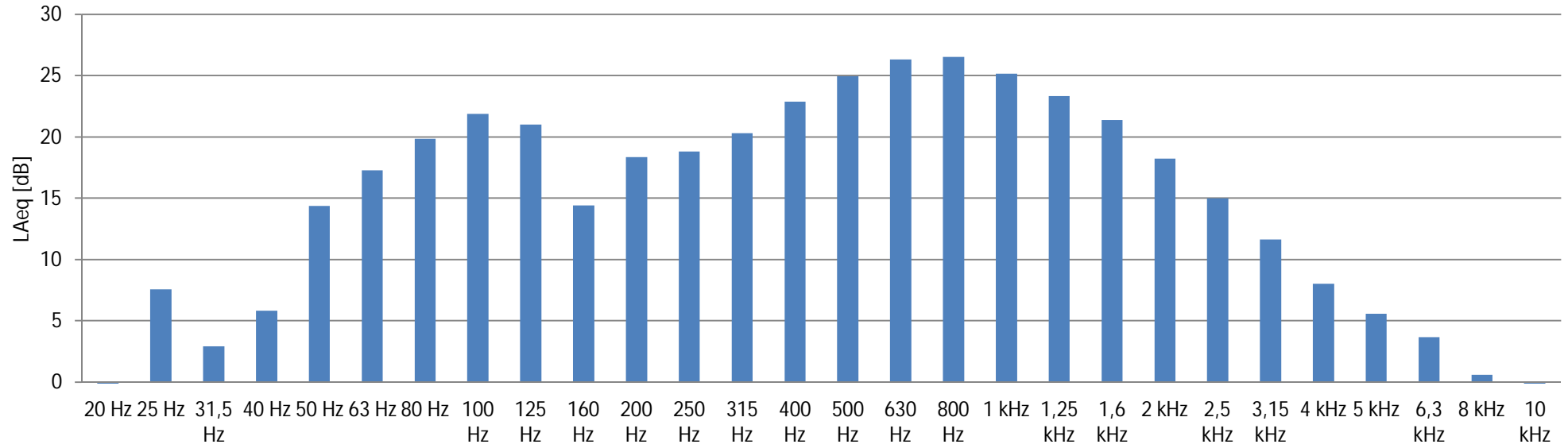
MP1 - Stråkantie 38 11-12.12.2013
Painottamattomat terssikaistat, Lfeq



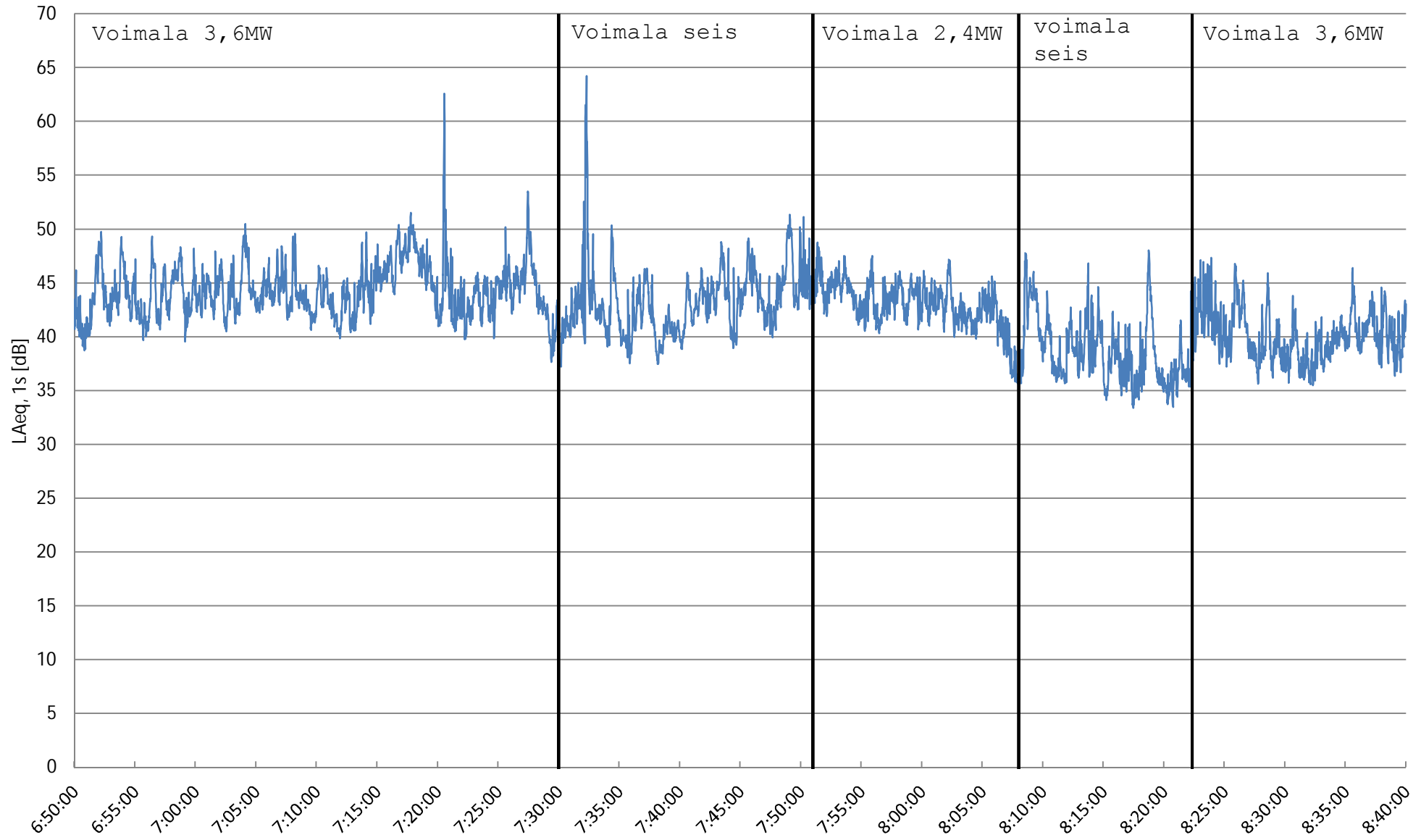
MP1 - Stråkantie 38 11-12.12.2013
A-painotetut terssikaistat, LAeq



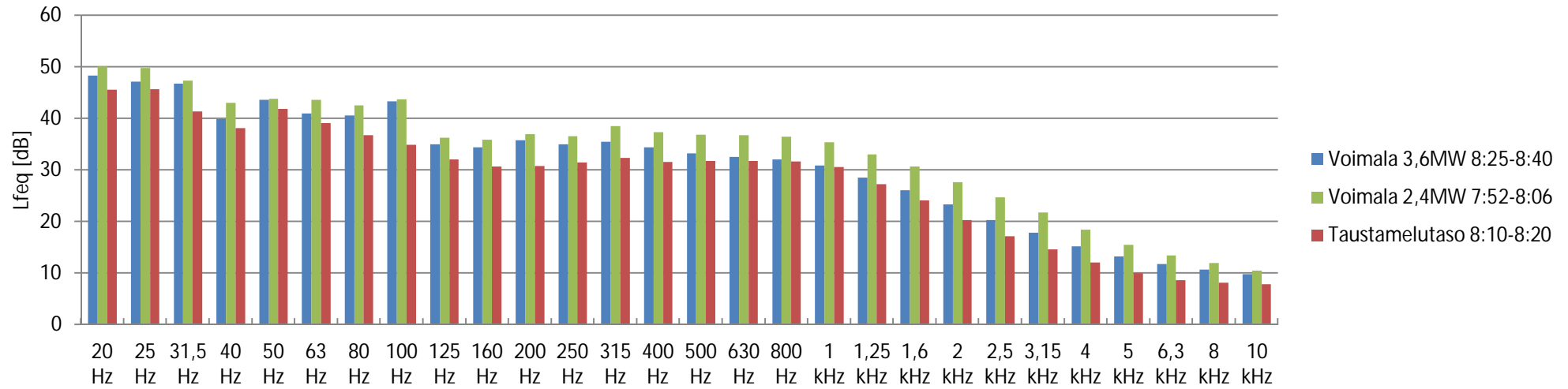
MP1 - Stråkantie 38 11-12.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 23:00 - 23:55



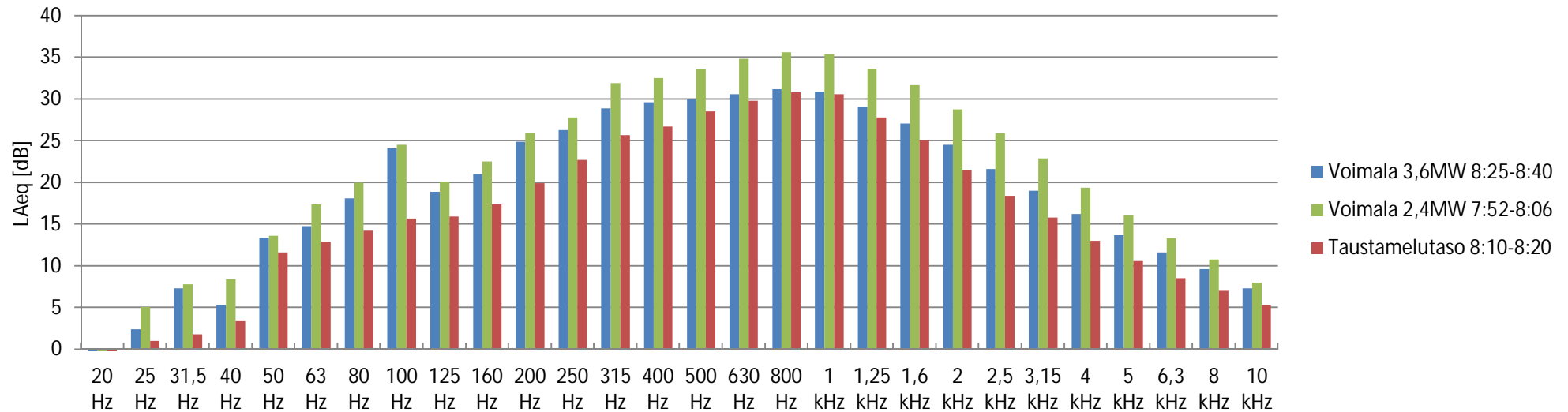
MP1 - Strákantie 38 13.12.2013 Klo 6.50 - 8.40



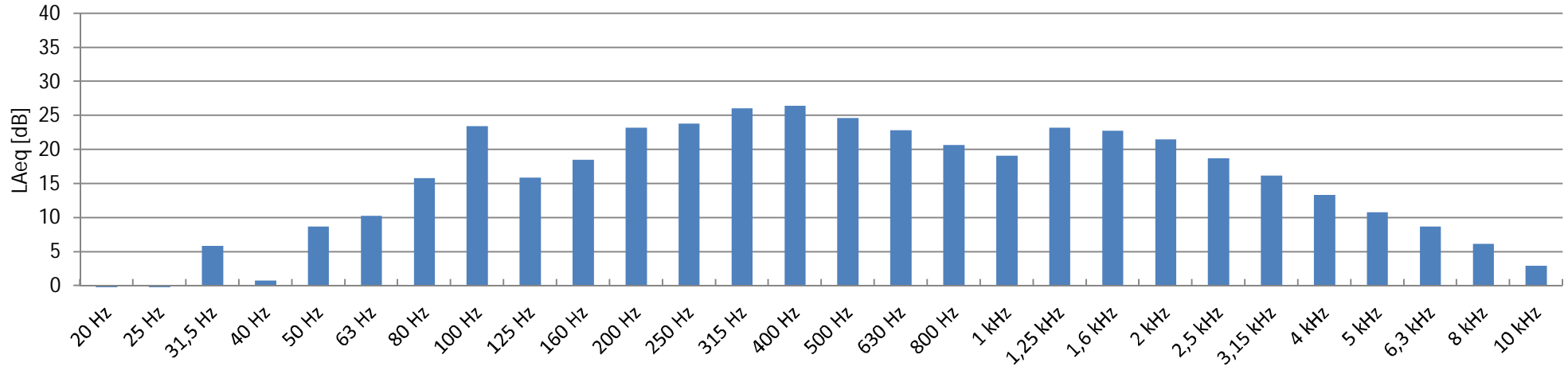
MP1 - Stråkantie 38 13.12.2013
Painottamattomat terssikaistat



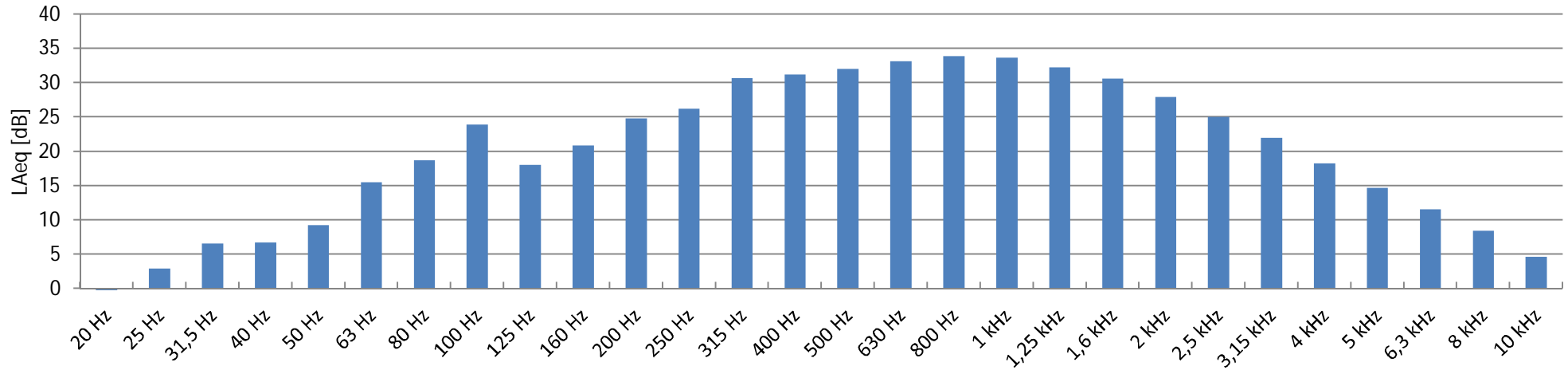
MP1 - Stråkantie 38 13.12.2013
A-painotetut terssikaistat



MP1 - Sträkantie 38 13.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 8:10-8:40
- Taustamelukorjaus on tehty voimalan 3,6MW käynnille -



MP1 - Sträkantie 38 13.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 07:52-08:20
- Taustamelukorjaus on tehty voimalan 2,4MW käynnille -



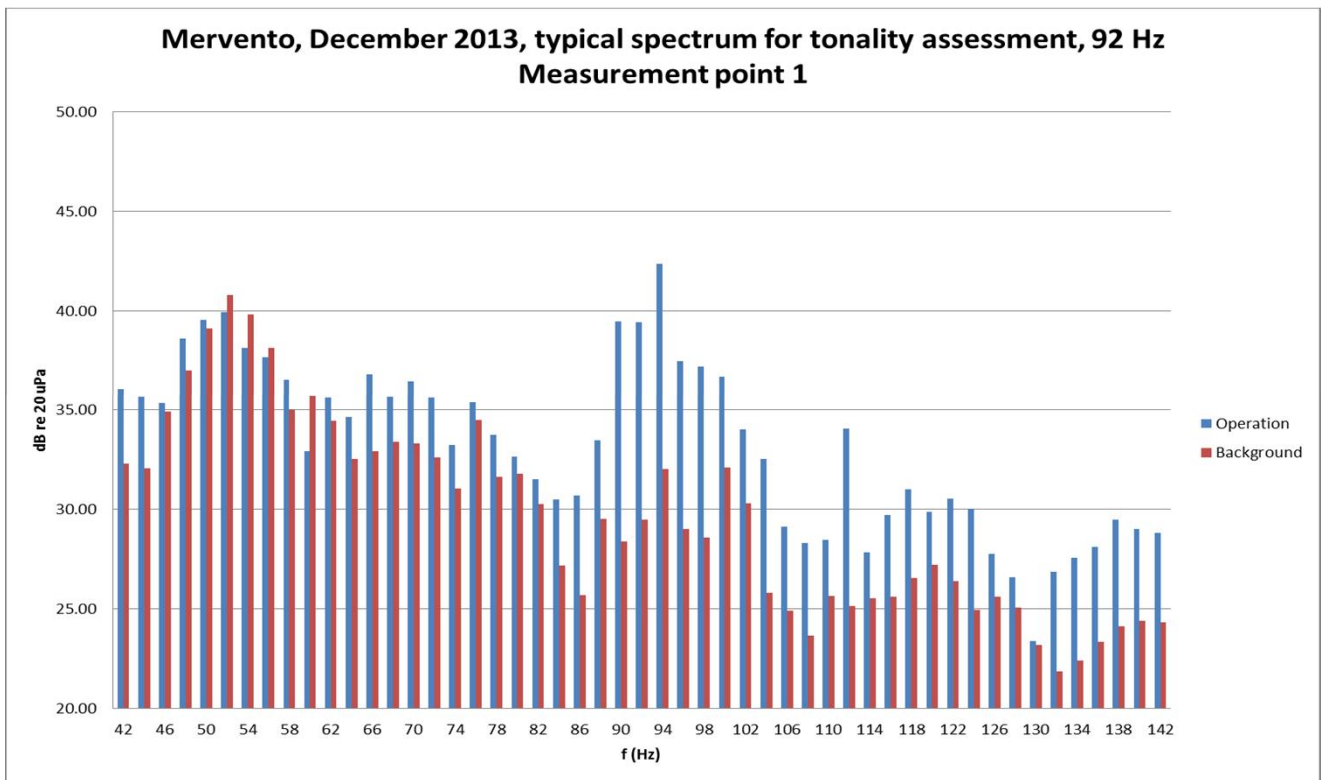
The tonality assessment was carried out in accordance with section 8.5 of IEC61400-11 ver 2.1
All tones with audibility $\Delta L a, k \geq -3.0$ dB are to be reported

frequency of tone	wind speed	rotational speed	Tone level $\Delta L_{tn,j,k}$	Overall tonality ΔL_k	Tonal audibility $\Delta L_{a,k}$
92 Hz	not available	not available	-0,1	2,0	4,0
			1,0		
			0,0		
			1,3		
			3,8		
			4,0		
			1,0		
			3,2		
			2,3		
			1,4		
			1,4		
			2,2		

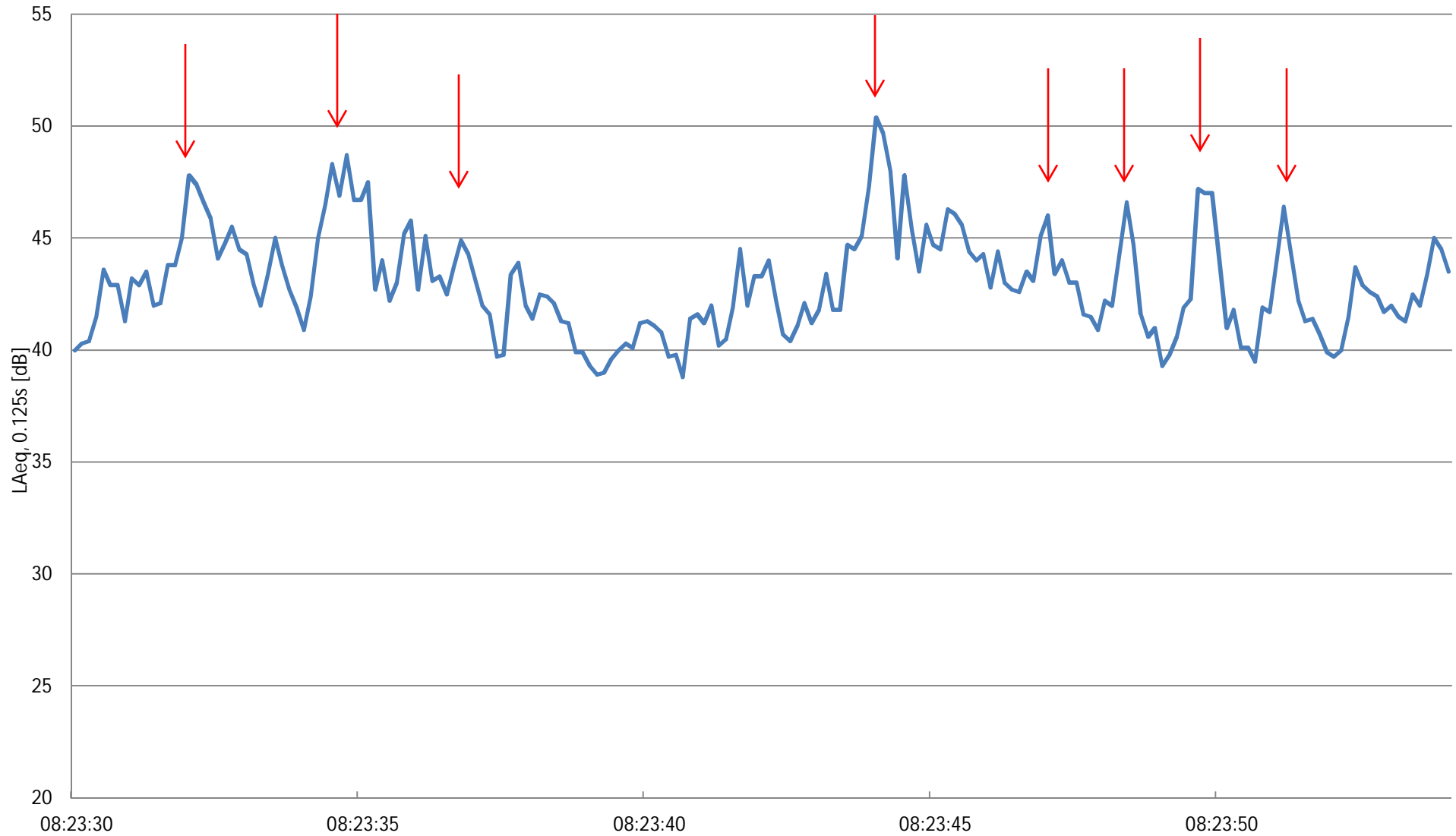
Notes:

Measurement position1

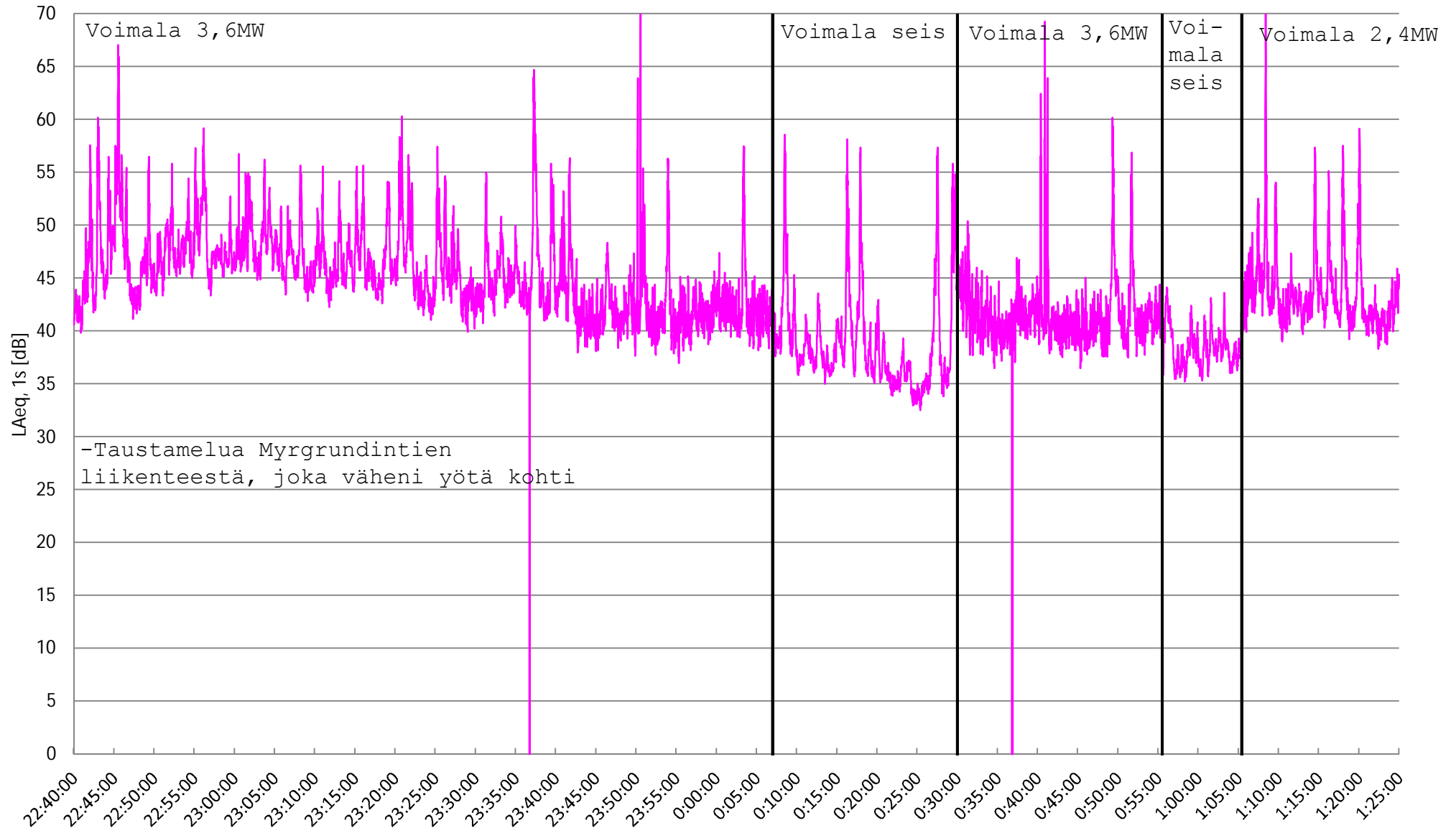
Masking noise was influenced by background noise



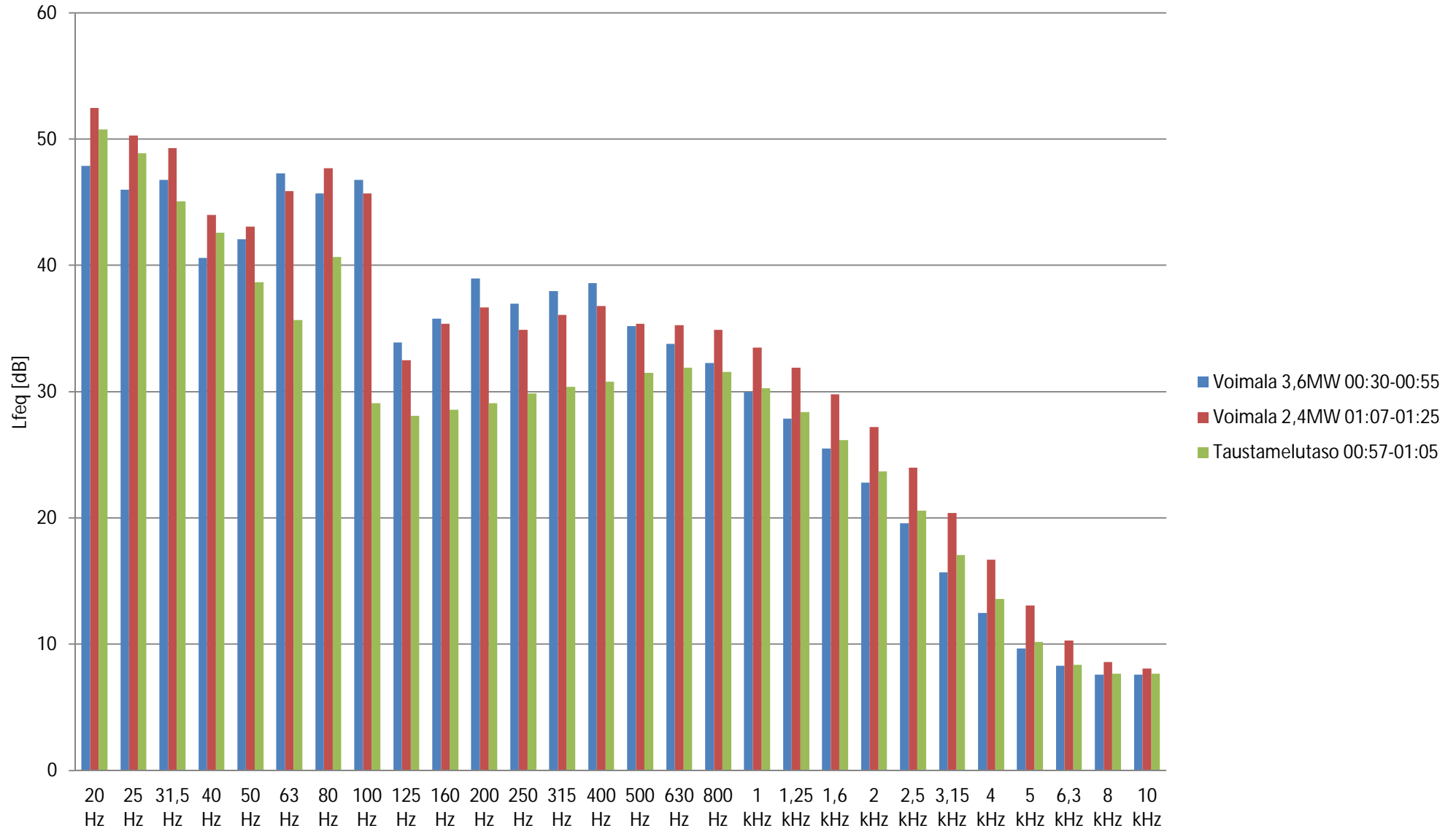
MP1 - Stråkantie 38 - Amplitudimodulaatiota
13.12.2013 Klo 08:23:30 - 08:23:54



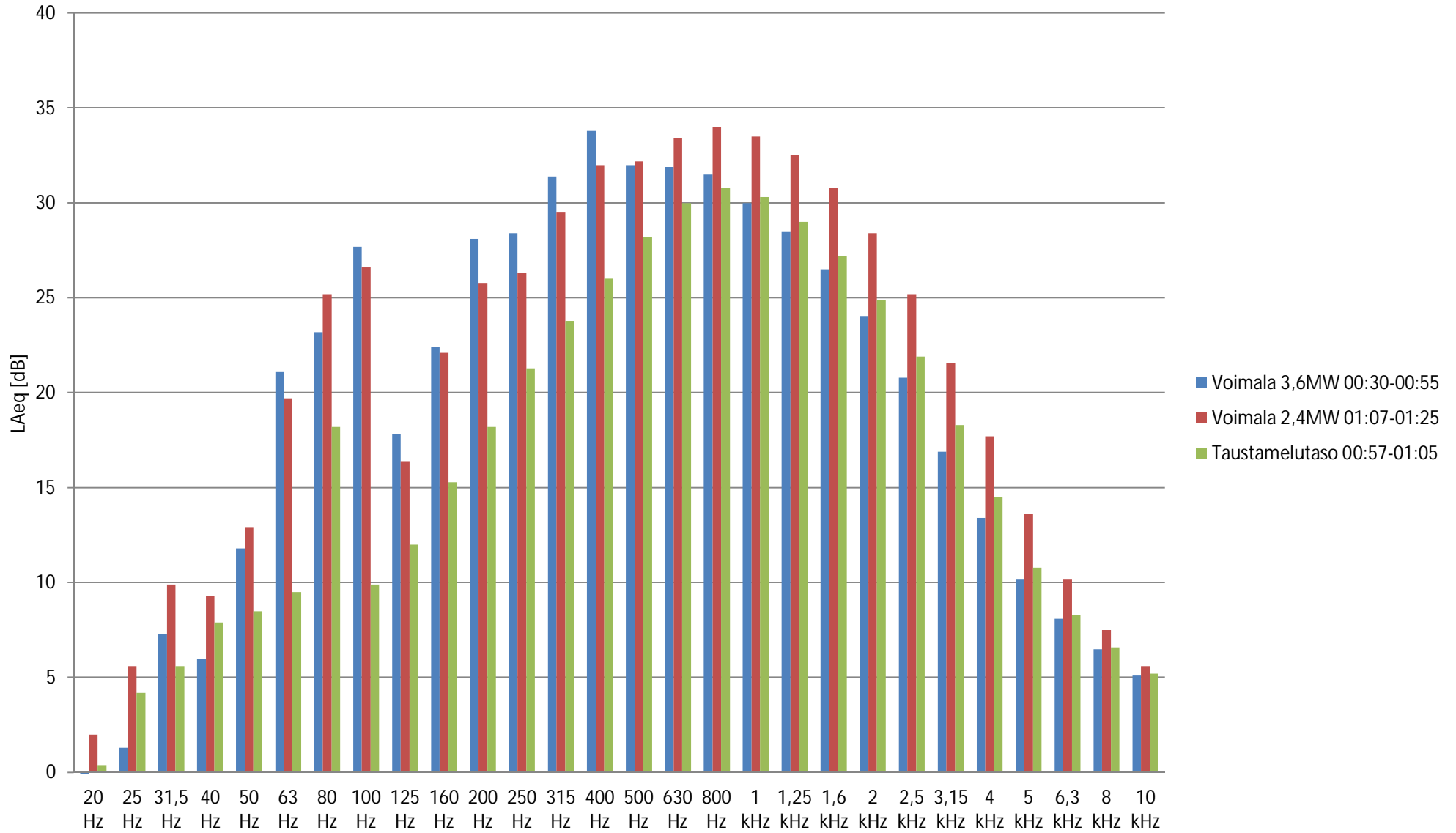
MP2 - 10-11.12.2013 Klo 22.40 - 1.25

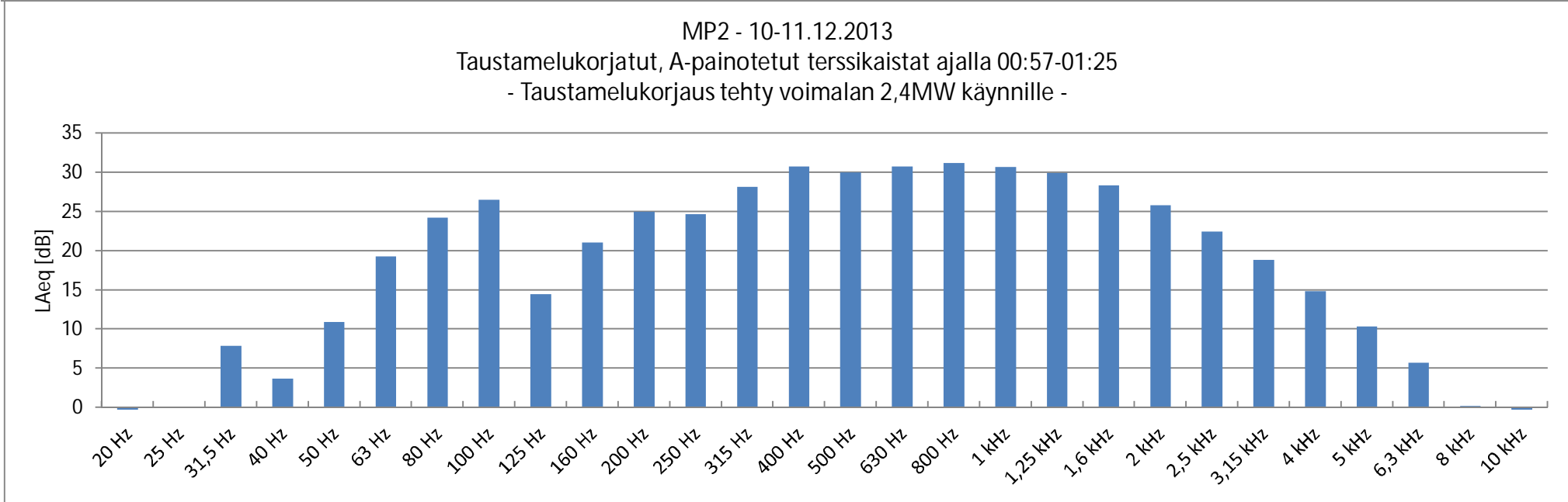
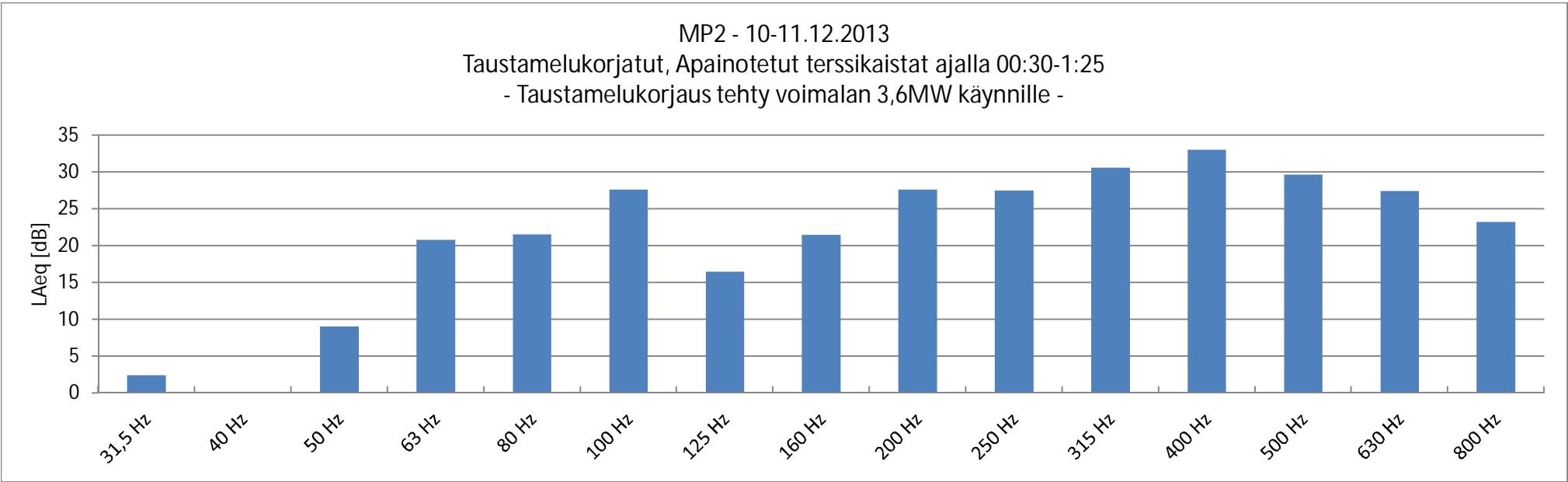


MP2 - 10-11.12.2013
Painottamattomat terssikaistat, Lfeq



MP2 - 10-11.12.2013
A-painotetut terssikaistat, LAeq





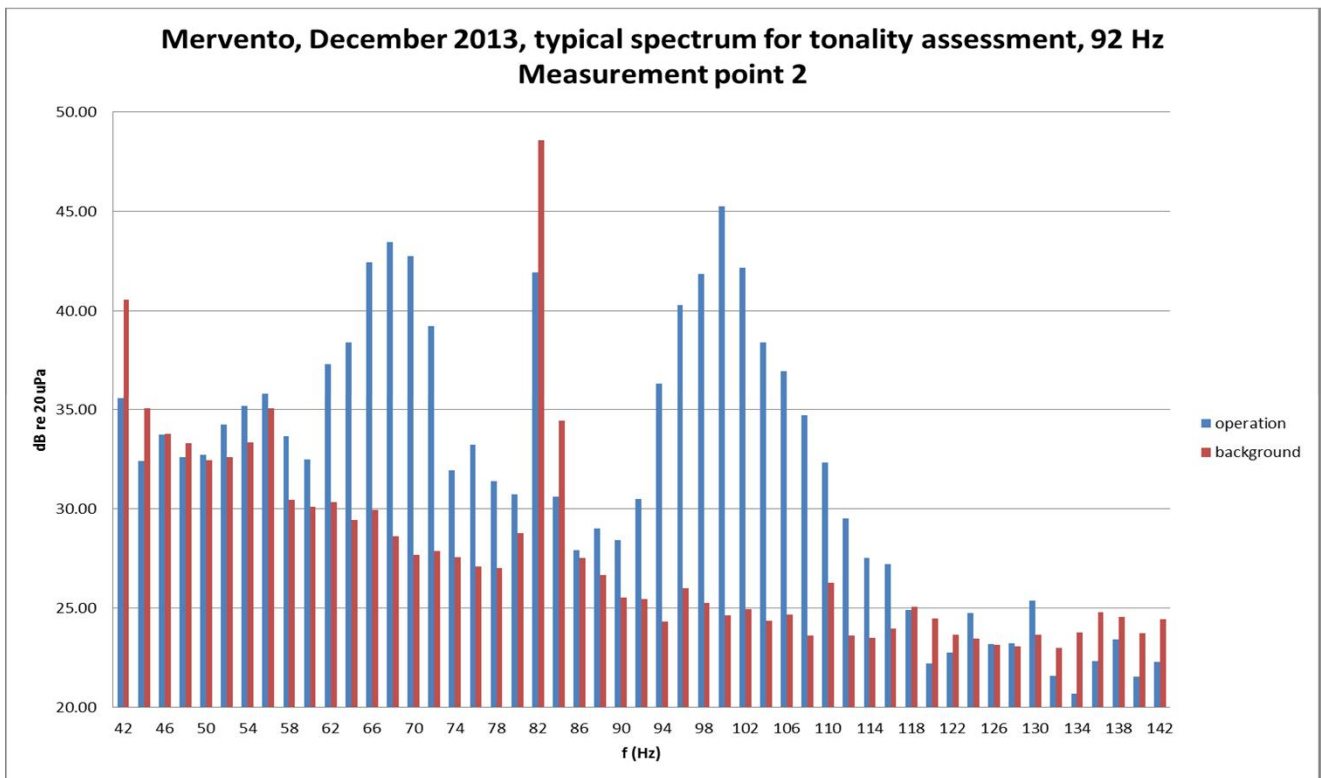
The tonality assessment was carried out in accordance with section 8.5 of IEC61400-11 ver 2.1
All tones with audibility $\Delta L_{a, k} \geq -3.0$ dB are to be reported

frequency of tone	wind speed	rotational speed	Tone level	Overall tonality	Tonal audibility
			$\Delta L_{tn, j, k}$	ΔL_k	$\Delta L_{a, k}$
92 Hz	not available	not available	6,0	8,4	10,4
			7,2		
			5,9		
			7,5		
			8,0		
			7,9		
			11,9		
			7,9		
			8,3		
			9,0		
			8,6		
			9,0		

Notes:

Measurement position2

Masking noise was influenced by background noise

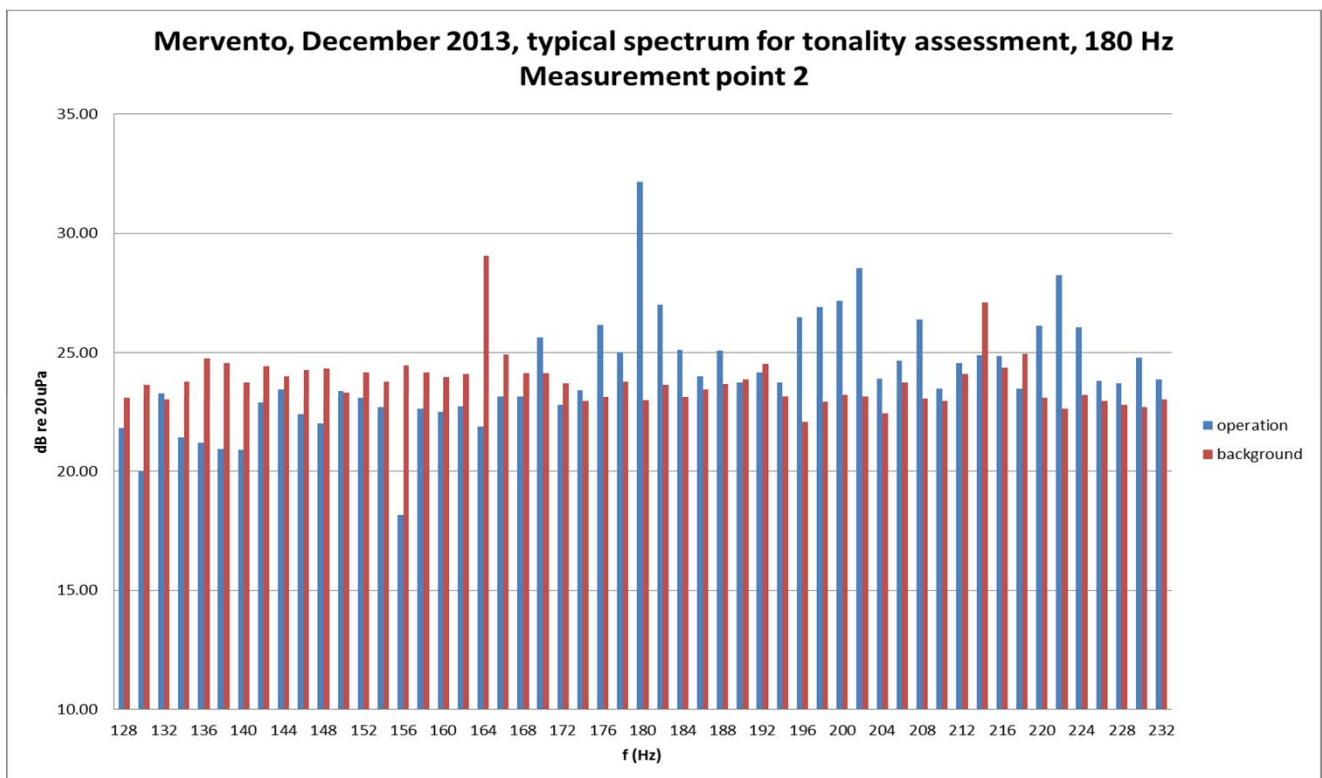


frequency of tone	wind speed	rotational speed	Tone level $\Delta L_{tn,j,k}$	Overall tonality ΔL_k	Tonal audibility $\Delta L_{a,k}$
180 Hz	not available	not available	-15,3	0,2	2,2
			7,8		
			-4,0		
			-15,3		
			-2,6		
			0,7		
			-15,3		
			-15,3		
			-3,0		
			1,3		
			-1,4		
			2,3		

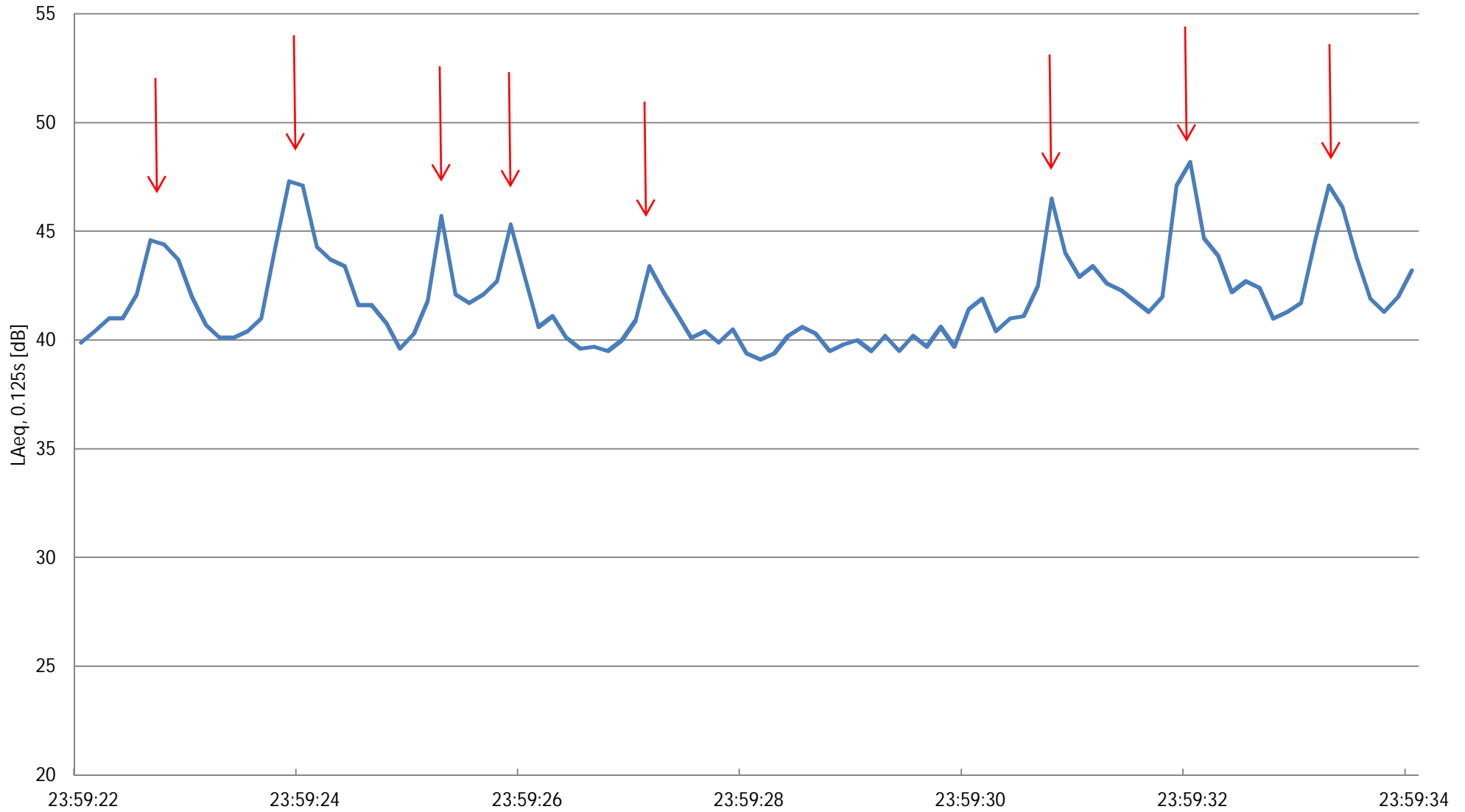
Notes:

Measurement position2

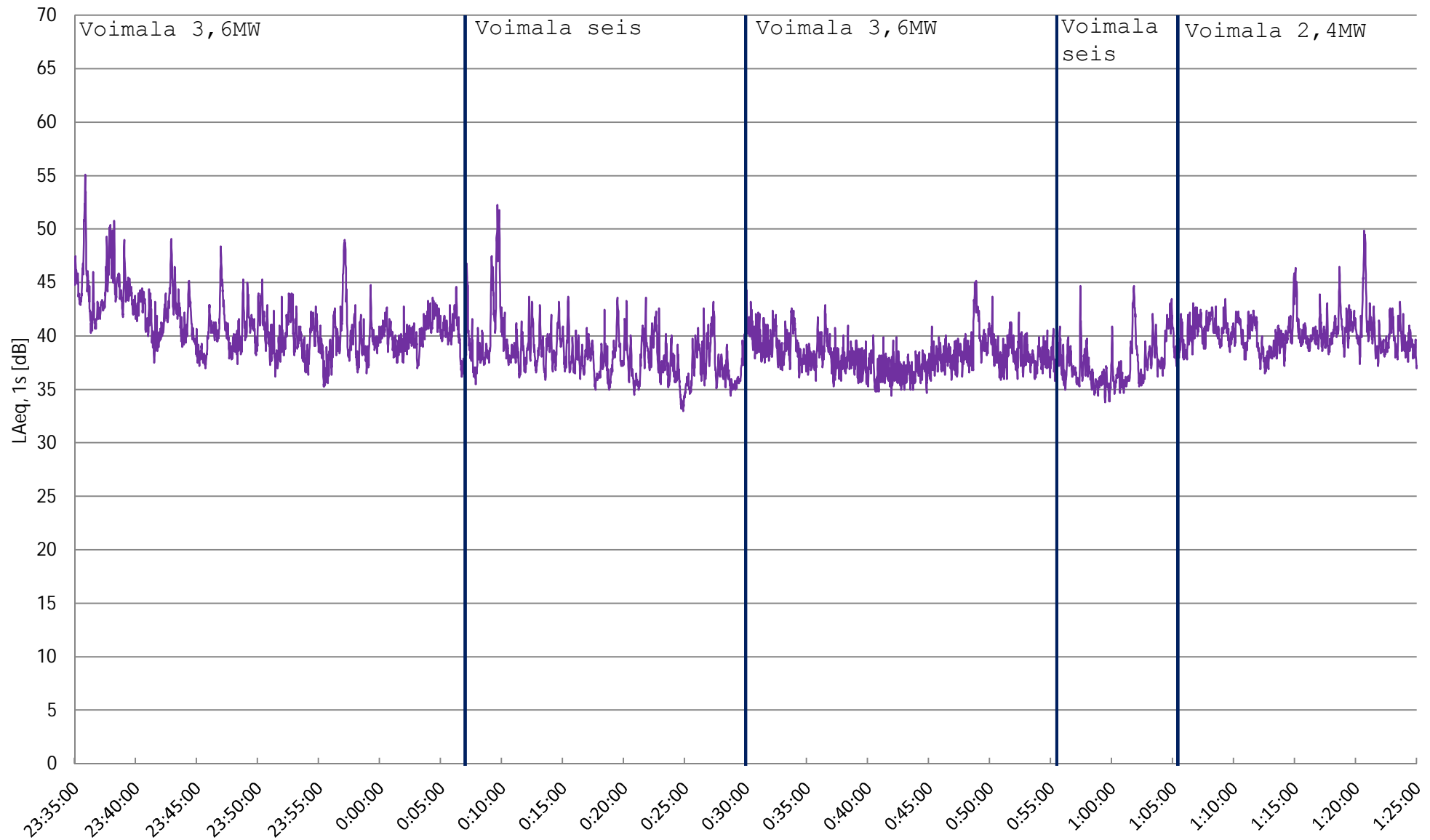
Masking noise was influenced by background noise



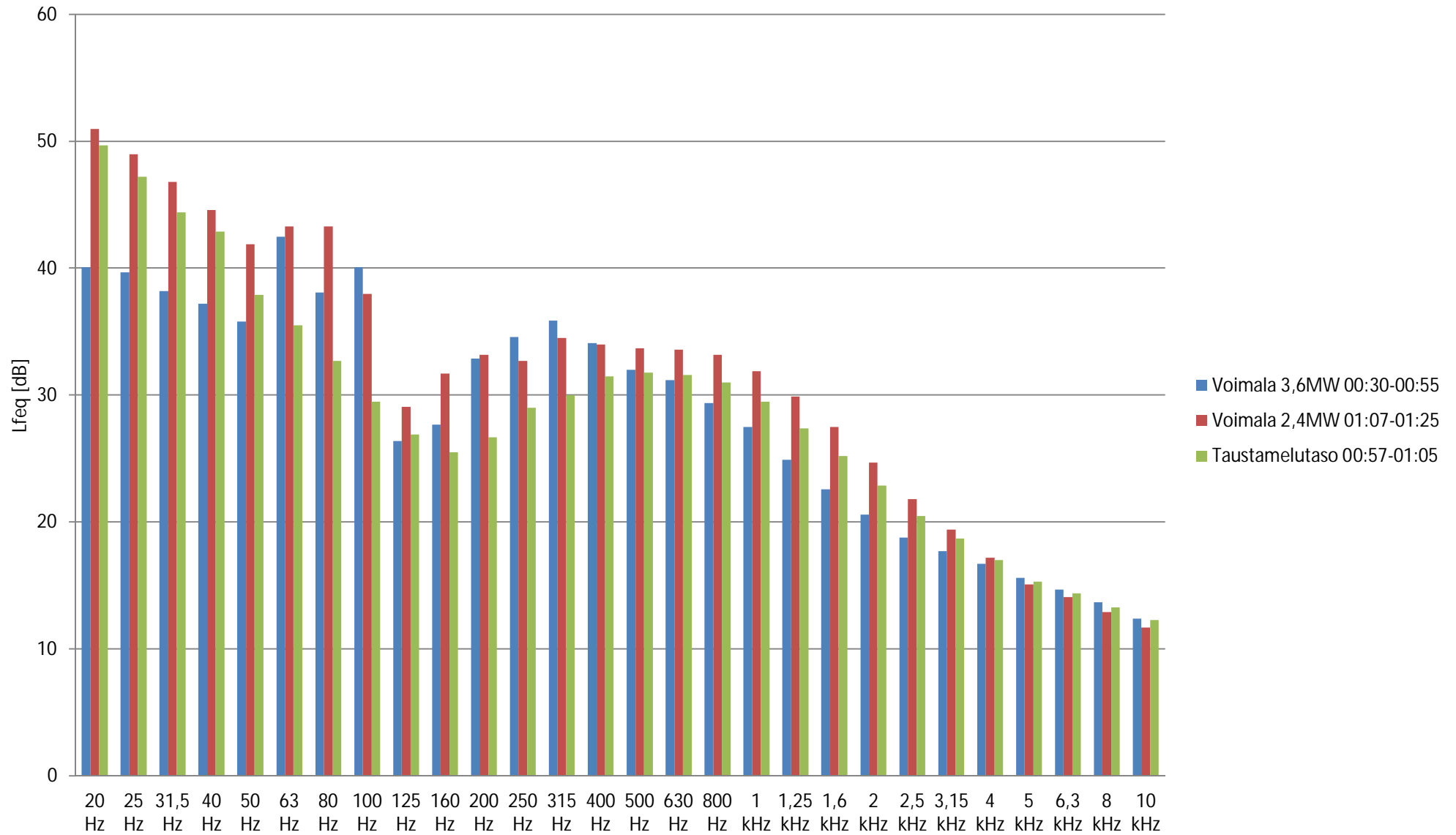
MP2 - Amplitudimodulaatiota 10.12.2013 Klo 23:59:22 - 23:59:34



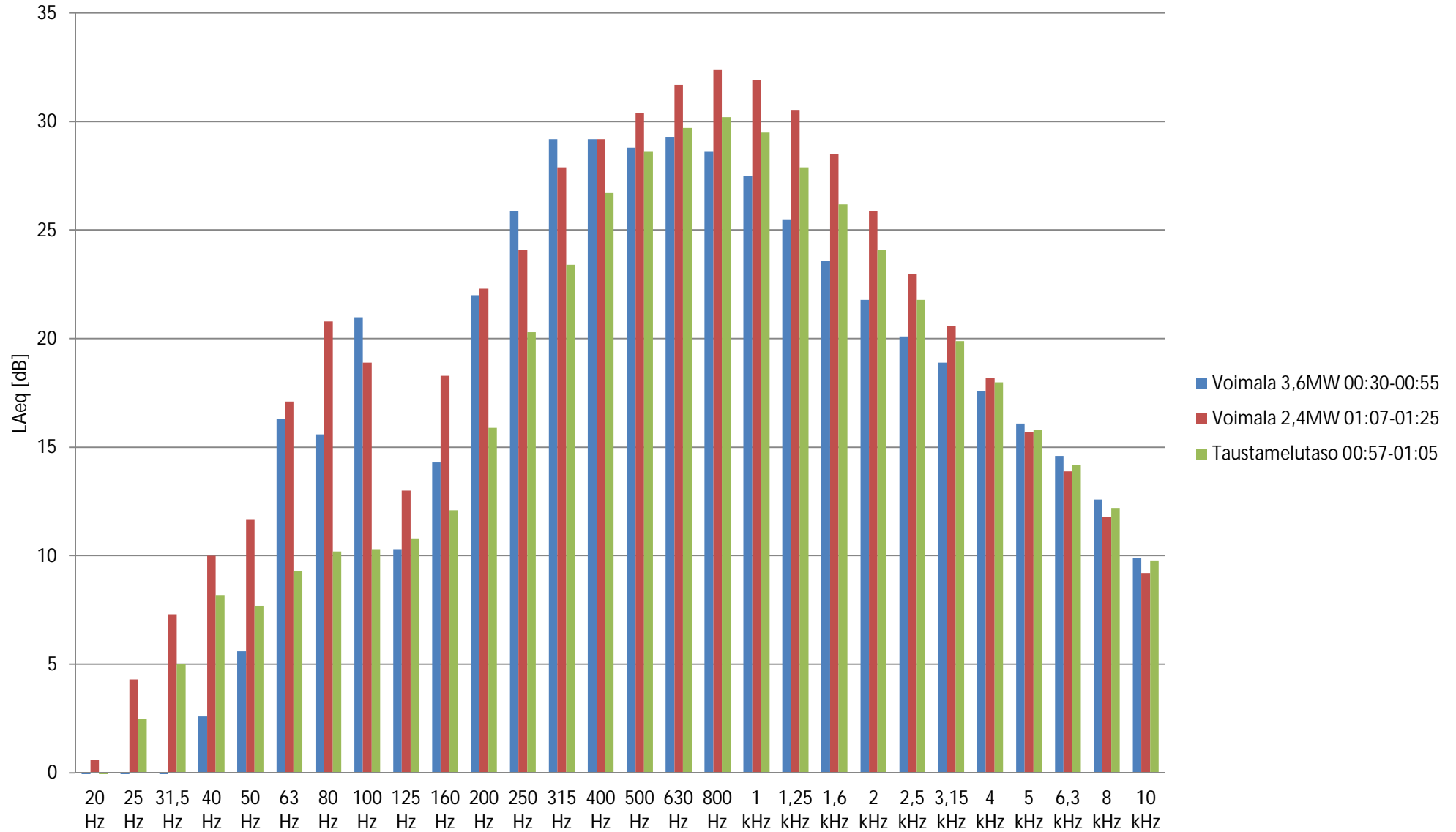
MP3 - Kylänevantie 27 10-11.12.2013 Klo 23.35 - 01.25



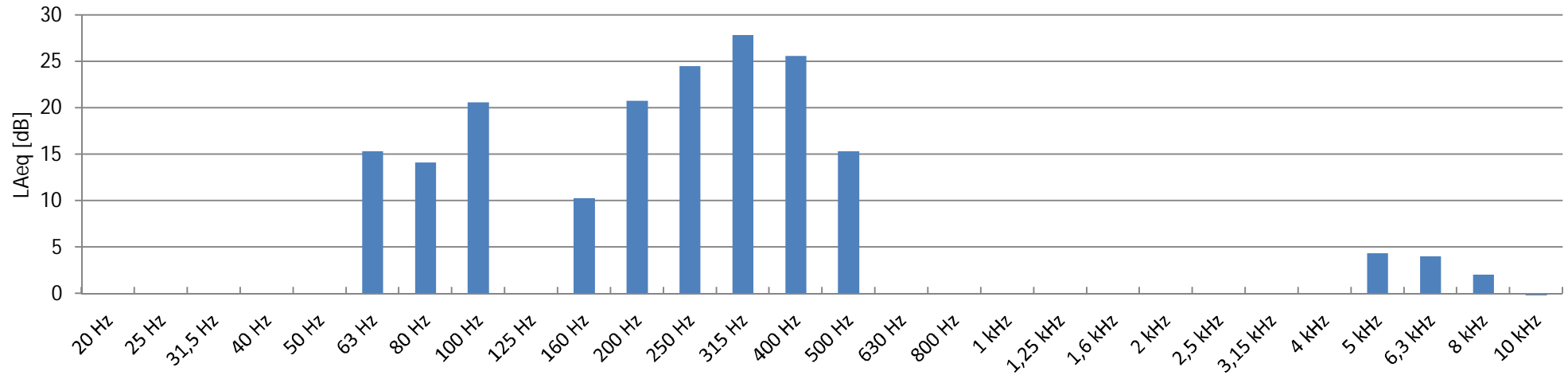
MP3 - Kylänevantie 27 10-11.12.2013
Painottamattomat terssikaistat, Lfeq



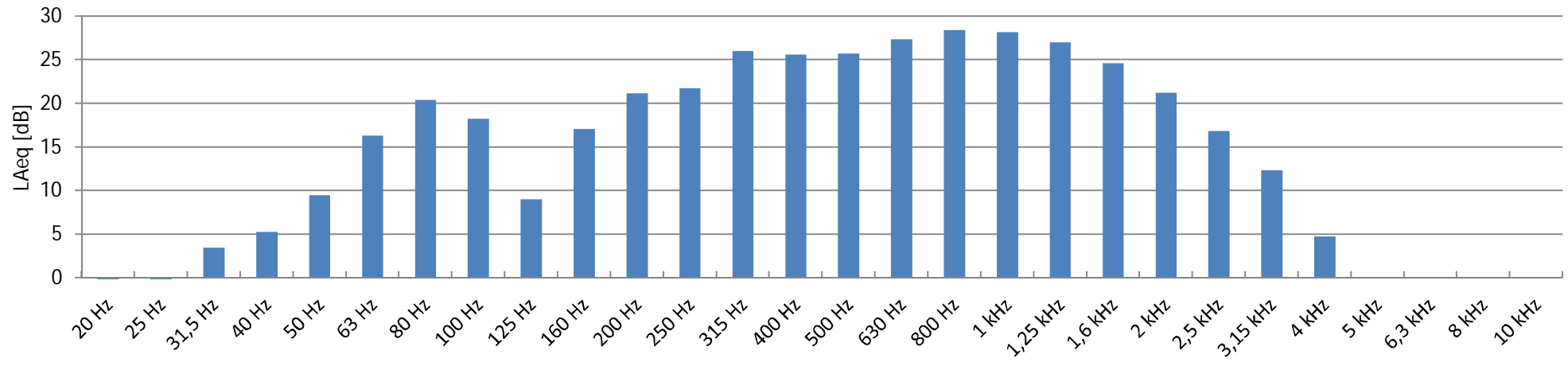
MP3 - Kylänevantie 27 10-11.12.2013
A-painotetut terssikaistat, LAeq



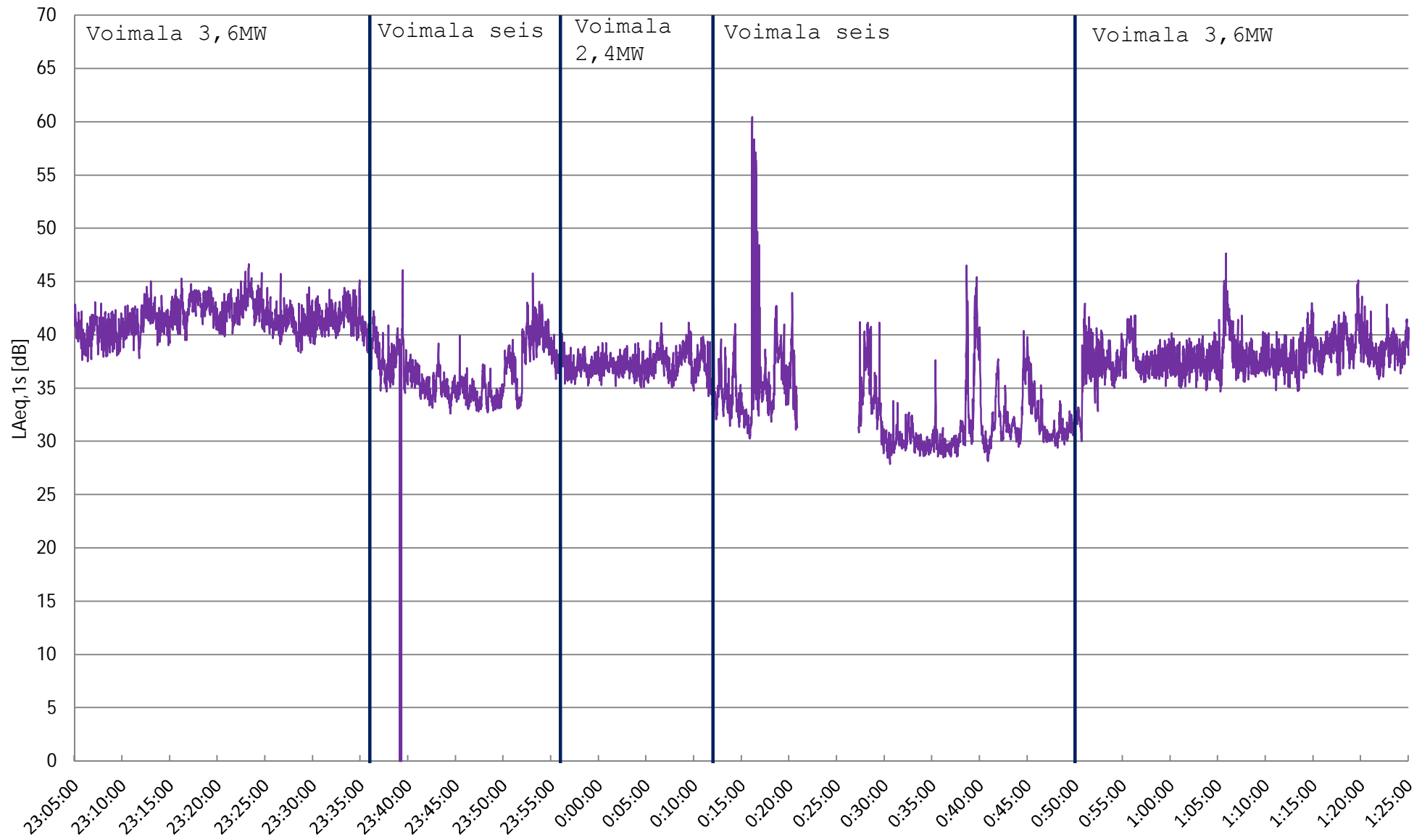
MP3 - Kylänevantie 27 10-11.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 00:30-01:25
- Taustamelukorjaus on tehty voimalan 3,6MW käynnille -



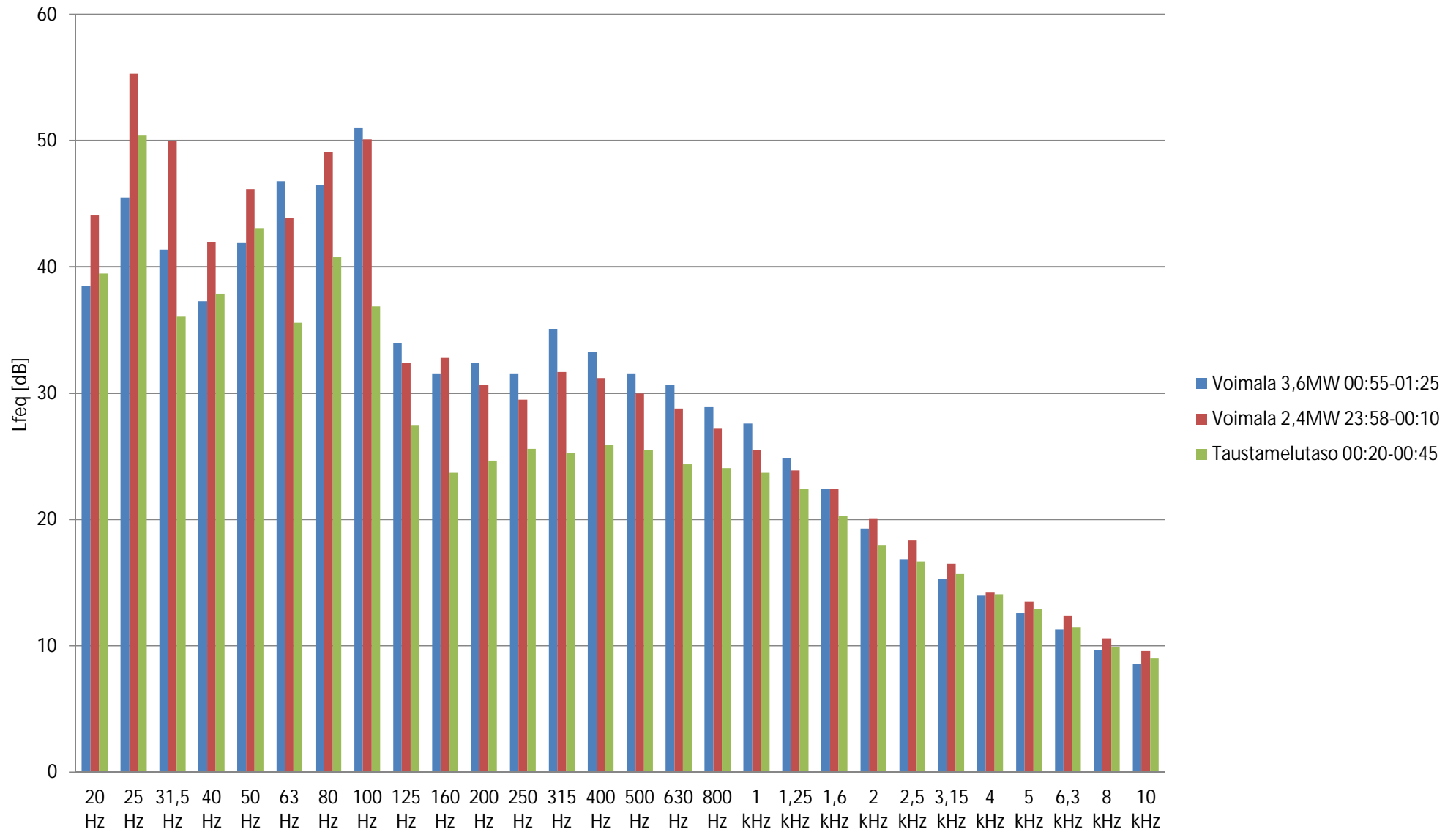
MP3 - Kylänevantie 27 10-11.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 00:57-01:25
- Taustamelukorjaus on tehty voimalan 2,4MW käynnille -



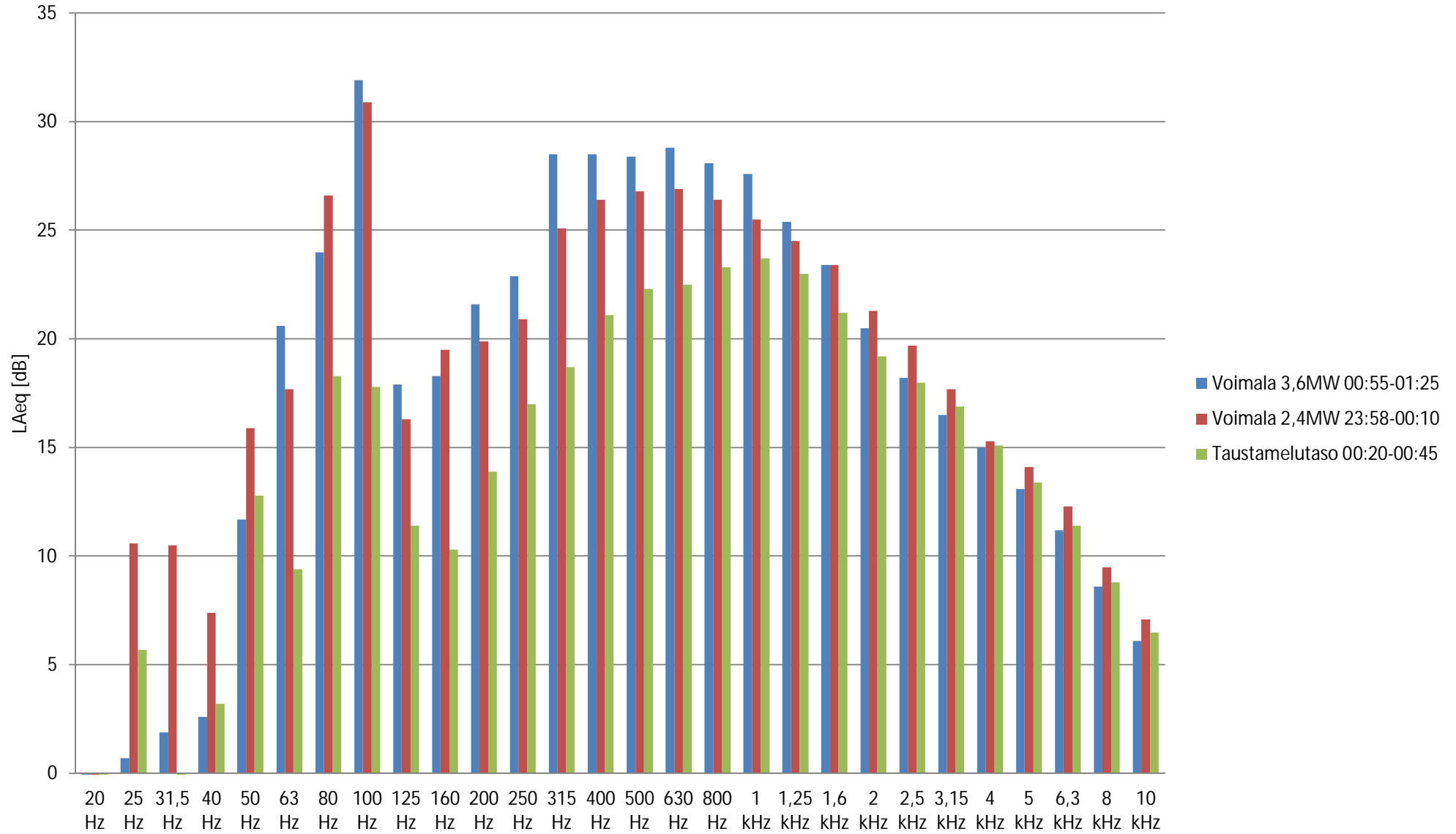
MP3 - Kylänevantie 27 11-12.12.2013 Klo 23.05 - 01.25



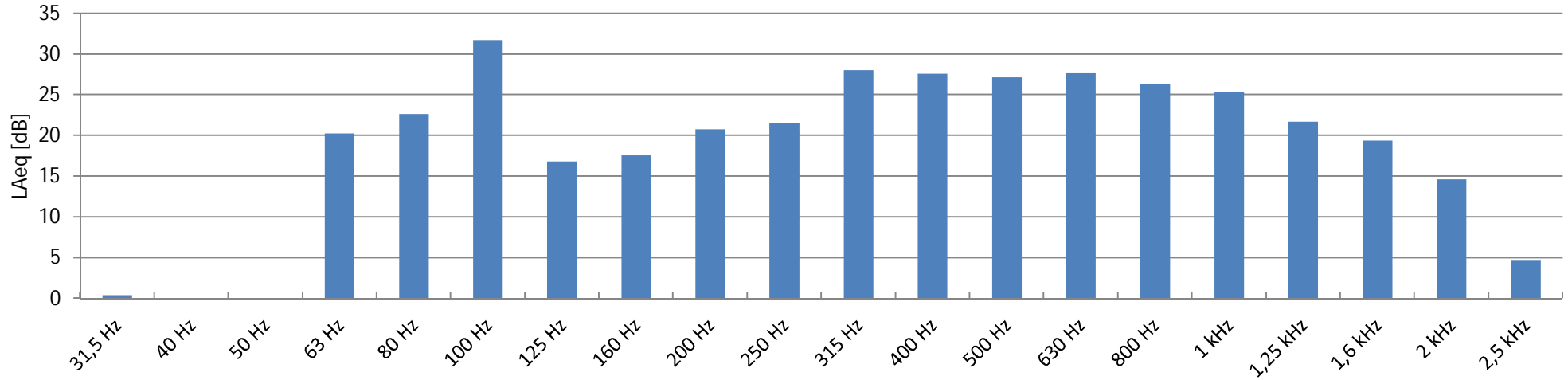
MP3 - Kylänevantie 27 11-12.12.2013
Painottamattomat terssikaistat, Lfeq



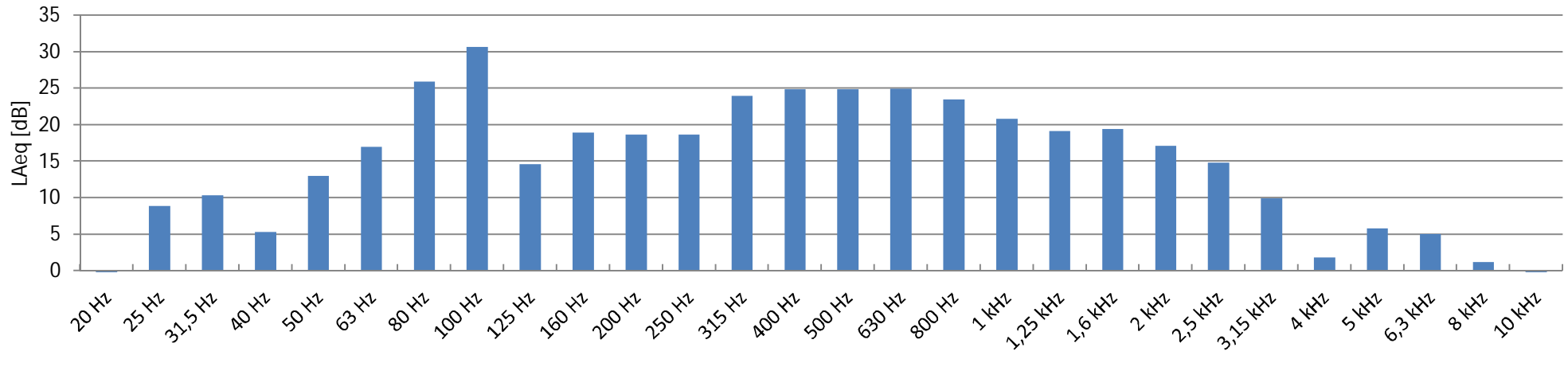
MP3 - Kylänevantie 27 11-12.12.2013
A-painotetut terssikaistat, LAeq



MP3 - Kylänevantie 27 11-12.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 00:20-01:25
- Taustamelukorjaus tehty voimalan 3,6MW käynnille -



MP3 - Kylänevantie 27 11-12.12.2013
Taustamelukorjatut, A-painotetut terssikaistat ajalla 23:58-00:45
- Taustamelukorjaus tehty voimalan 2,4MW käynnille -



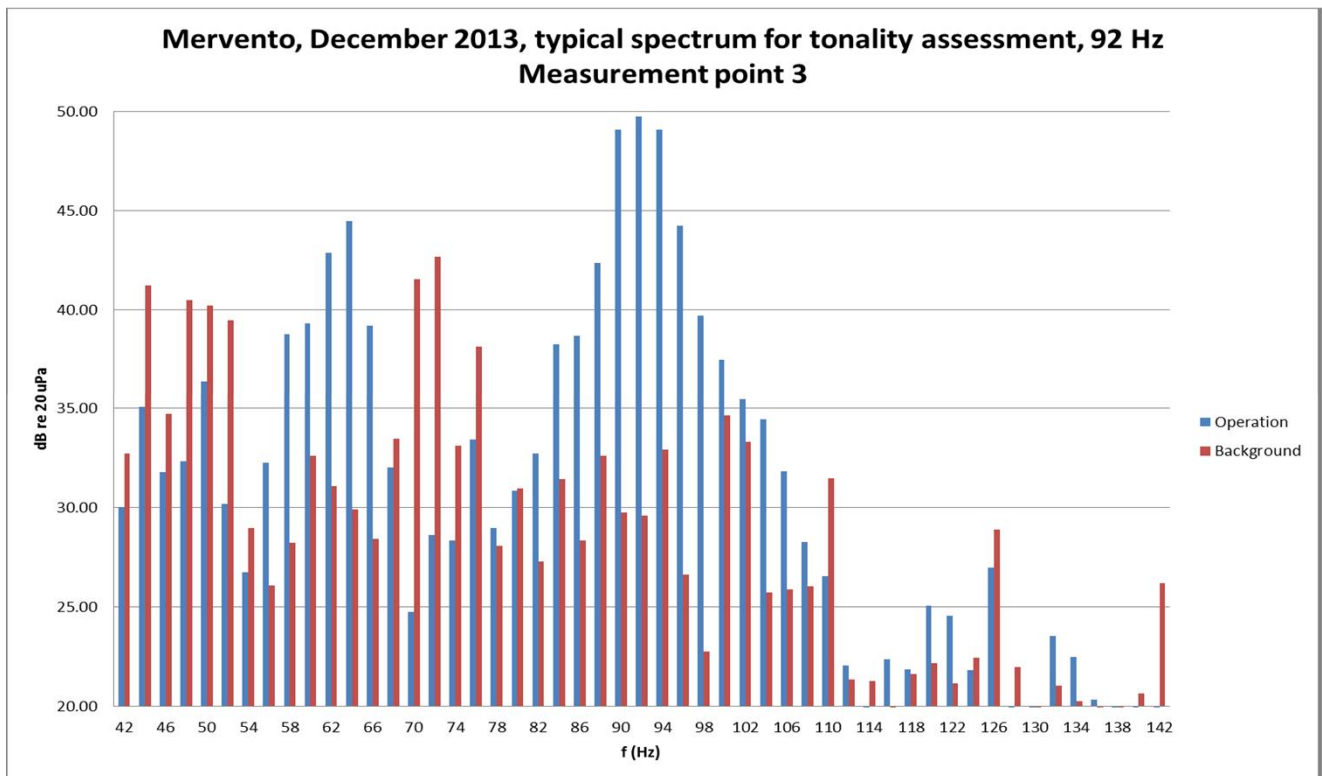
The tonality assessment was carried out in accordance with section 8.5 of IEC61400-11 ver 2.1
All tones with audibility $\Delta L a, k \geq -3.0$ dB are to be reported

frequency of tone	wind speed	rotational speed	Tone level $\Delta L t_{n,j,k}$	Overall tonality $\Delta L k$	Tonal audibility $\Delta L a, k$
92 Hz	not available	not available	8,7	10,3	12,3
			10,7		
			9,9		
			10,7		
			11,0		
			11,4		
			9,1		
			11,1		
			10,6		
			10,6		
			9,5		
			9,4		

Notes:

Measurement position3

Masking noise was influenced by background noise

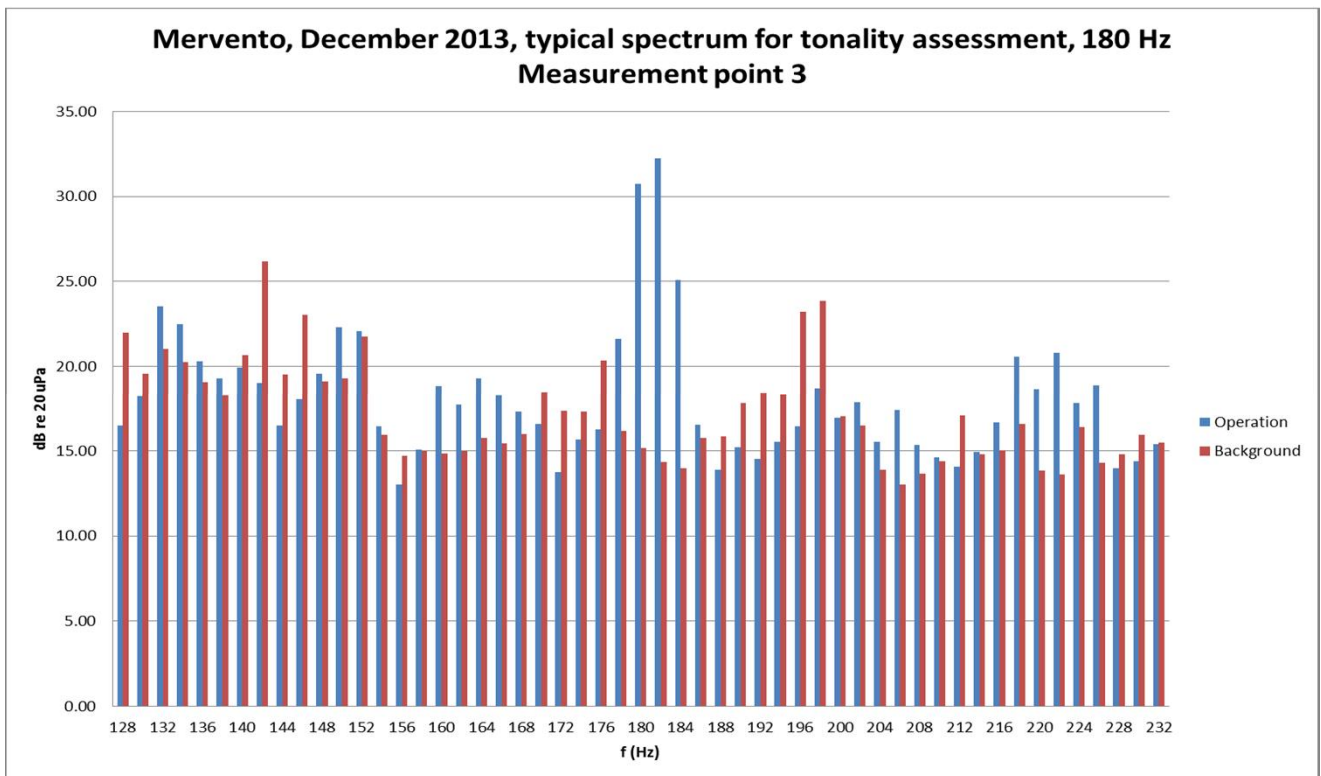


frequency of tone	wind speed	rotational speed	Tone level $\Delta L_{tn,j,k}$	Overall tonality ΔL_k	Tonal audibility $\Delta L_{a,k}$
180 Hz	not available	not available	-2,8	1,2	3,2
			1,0		
			0,6		
			3,8		
			3,0		
			3,4		
			-0,8		
			-0,1		
			1,6		
			0,6		
			0,7		
			-2,2		

Notes:

Measurement position 3

Masking noise was influenced by background noise



MP3 - Kylänevantie 27 - Amplitudimodulaatiota 11-12.12.2013 Klo 1:06:30 - 1:07:00

