



Hamina – Mäkelänkangas  
Mäkelänkankaan tuulivoimaloiden melumittaukset 11.6.2013  
ja laskennallinen meluselvitys

10.7.2013

Projektinnumero: 305261

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Lähtötiedot ja menetelmät.....	1
2.1	Yleistietoa tuulivoimaloiden synnyttämästä melusta.....	1
2.2	Melua aiheuttavat toiminnot ja laitteistot .....	2
2.3	Ympäristömelumittaukset .....	2
2.4	Äänitehotasojen mittaukset.....	3
2.5	Mittauskalusto .....	4
2.6	Mittausten aikaiset sääolosuhteet.....	4
2.7	Tuulivoimaloiden käynti mittauksen aikana .....	4
2.8	Laskentamalli .....	5
2.8.1	Voimaloiden äänitehotasot laskennallisessa arvioinnissa .....	5
2.9	Käytettyjen menetelmien epävarmuudet .....	6
2.9.1	Äänitehotasojen mittaukset.....	6
2.9.2	Ympäristömelumittaukset.....	6
2.9.3	Laskentamallin epävarmuus .....	7
2.10	Ympäristömelun ohjeavot.....	7
3	Tulokset.....	8
3.1	Tuulivoimaloiden melupäästöt .....	8
3.2	Ympäristömelumittaukset .....	9
3.2.1	Mittauspaikka 1 .....	9
3.2.2	Mittauspaikka 2 .....	10
3.2.3	Mittauspaikka 3 .....	10
3.2.4	Mittauspaikka 4 .....	11
3.3	Laskennallinen arviointi .....	12
4	Johtopäätökset .....	12
5	Viitteet .....	13

Liite 1 – Mittausten aikaiset sääolosuhteet

Liite 2 – Minuutin keskiäänitasot mittauspaikoilla 1-4

Liite 3 – Melun taajuusjakauma terssikaistoittain mittauspaikoilla 1 ja 3

Liite 4 – Meluvyöhykekartat (Laskennallinen arviointi)

Liite 5 – Raportti äänitehotasojen mittauksista kesäkuussa 2013

## 1 Johdanto

WSP Finland teki Suomen Voima Oy:n toimeksiannosta melumittauksia Haminan Mäkelänkankaalla 11.6.2013. Mittauksilla pyrittiin selvittämään alueella sijaitsevien tuulivoimaloiden äänitehotasoja ja niiden aiheuttamia ympäristömelutasoja lähimpien häiriintyvien kohteiden (asuin- ja vapaa-ajan rakennukset) läheisyydessä.

Mittausten lisäksi tuulivoimaloiden aiheuttamista ympäristömelutasoista laadittiin laskennallinen arviointi melun leviämisen selvittämiseksi.

Projekti on jatkoa lokakuussa 2012 toteutetuille mittauksille ja selvityksille, jolloin voimaloiden melupäästön todettiin olevan kapeakaistaista. Syksyn 2012 mittauksen jälkeen kahden voimalaan (WT3 ja WT4) on kohdistettu korjaavia toimenpiteitä. Voimaloihin 3 ja 4 on vaihdettu vaihdelaatikat. Aiemmin voimaloissa oli Wykovin valmistamat, jotka on vaihdettu Jaken valmistamiin vaihdelaatikoihin. Voimaloissa 1 ja 2 on edelleen Wykovin valmistamat alkuperäiset vaihdelaatikat.

Akkreditoitun, standardin IEC 61400-11 mukaisen tuulivoimalan äänitehotasomittauksen voimaloille (WT1-WT4) suoritti M.Sc. Hannes Furuholm WSP Akustikin Göterborgin yksiköstä. Äänitehotasojen mittausraportti on kokonaisuudessaan raportin liitteenä 5.

Ympäristömelumittaukset ja laskennallisen arvioinnin tekivät FM Ilkka Niskanen ja DI Tuukka Lyly WSP Finland Oy:stä, jotka myös laativat tuloksista raportin.

## 2 Lähtötiedot ja menetelmät

### 2.1 Yleistietoa tuulivoimaloiden synnyttämästä melusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisestä lapojen 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. Lavan ohittaessa maston, siiven aerodynaaminen melu aiheuttaa sekä äänen heijastumisen että uuden äänen lavan ja tornin väliin jäävän ilmakerroksen puristuessa. Maston ja lavan välinen ohitusmelu on sitä voimakkaampaa mitä lähempänä lapa on mastoa. Jaksollisuus voi olla jopa noin 6 dB luokkaa.

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 lapakulmasäätöisissä 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 käytet-

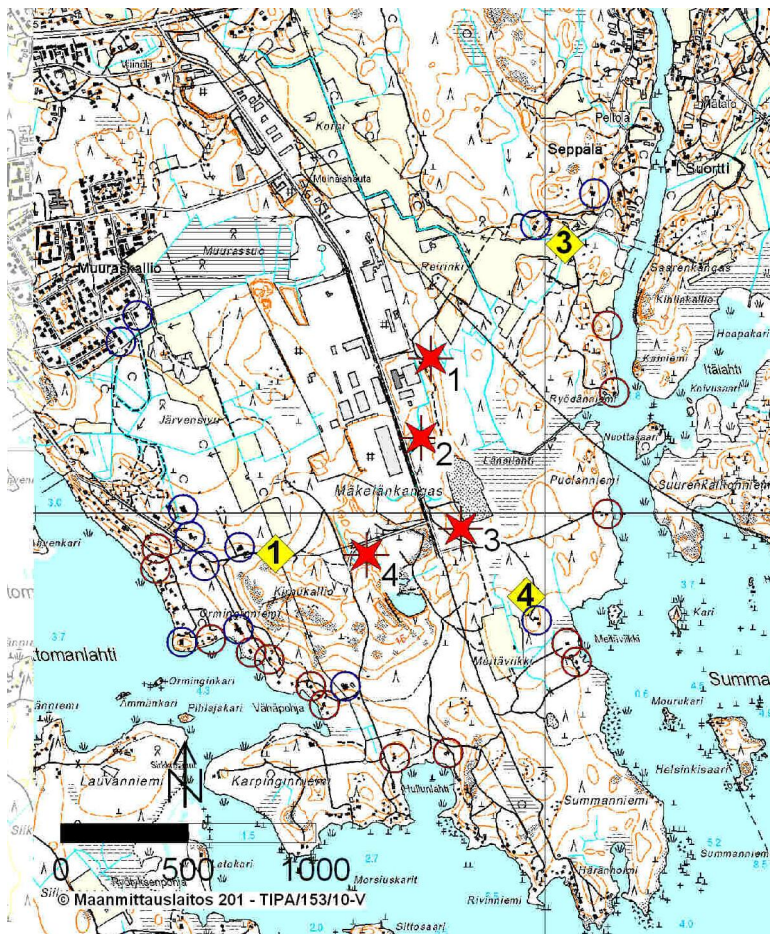
tävä meluntorjuntakeino on riittävä etäisyys tuulivoimalan ja tarkastelupisteen (kuten asutuksen) välillä (Ympäristöministeriö 2012).

## 2.2 Melua aiheuttavat toiminnot ja laitteistot

Haminan Mäkelänkankaan teollisuusalueelle on sijoitettu 4 kappaletta 2 Megawatin Huyn dai HQ2000-WT93 tuulivoimalaa. Voimaloiden napakorkeus on 100 m ja yksittäisen lavan pituus 48 m. Melun takia voimaloiden käyntiä on rajoitettu arkivuorokausille klo 08.00 – 18.00 väliselle ajalle. Voimaloiden sijainnit ja ympäristömelun mittauspaiikat on esitetty kuvan 1 kartassa.

## 2.3 Ympäristömelumittaukset

Ympäristömelumittauksia tehtiin yhteensä 3 mittauspaiikassa (MP1, MP3, MP4). Mittauspaikat valittiin tuulipuiston ympäriltä lähimpien häiriintyvien kohteiden läheisyydestä. Mittauspaikat olivat yhtenevät syksyn 2012 mittauspaiikkojen kanssa. Syksyllä 2012 todettiin, että tuulivoimaloiden melu ei juuri erotu Muuraskalliossa sijaitsevalle mittauspaiikalle 2. Asia tarkistettiin ja vahvistettiin kesäkuun 2013 mittauksen aikana. Tuulivoimaloiden ääni ei erottunut, minkä vuoksi mittauksia ei toteutettu mittauspaiikalla 2.

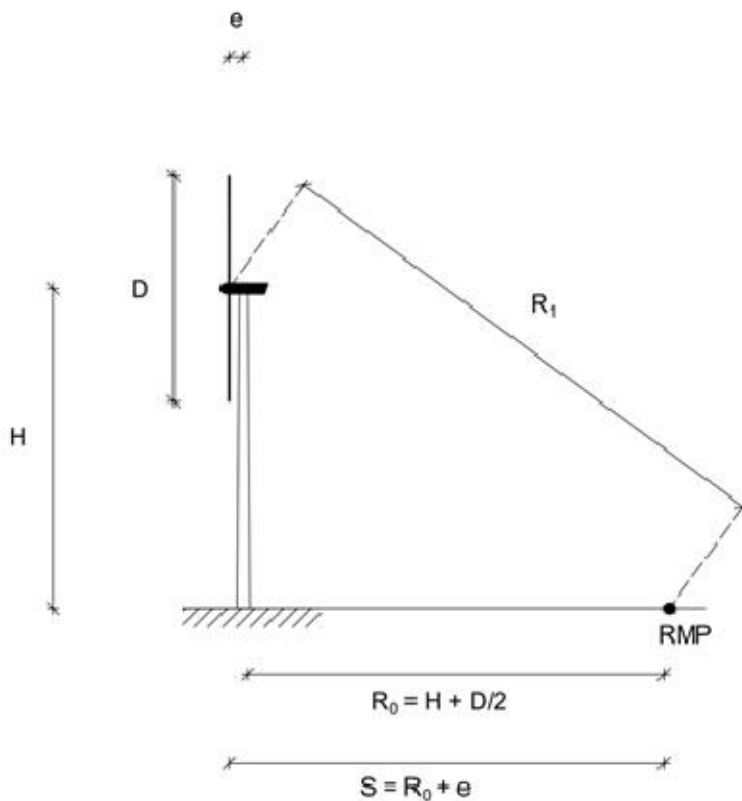


Kuva 1. Tuulivoimaloiden ja ympäristömelumittauspaiikkojen sijoittuminen. Tuulivoimalat on merkitty kuvaan punaisilla tähdillä ja mittauspaiikat keltaisilla vinoneliöillä.

## 2.4 Äänitehotasojen mittaukset

Tuulivoimaloiden 1, 2, 3 ja 4 melupäästö (äänitehotaso) mitattiin Bruel & Kjaer 2270-äänianalysaattorilla joka täyttää standardien SFS 2877 / IEC651 ja IEC 804 vaatimukset tarkkuusluokan 1 mittareille. Äänilähteiden melupäästö tallennettiin standardin IEC 61400-11 mukaisesti terssikaistoittain 1 minuutin jaksoina mittarin muistiin.

Mittaukset tehtiin standardin IEC 61400-11 v 2.1 mukaisella menetelmällä. Mittauksessa tuulivoimalan aiheuttamaa melutasoa mitattiin myötätuulen puolella lähietäisyydeltä kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. Tuulivoimalan äänitehotason mittauspaikan sijainti. Mäkelänkankaan tuulivoimaloiden osalta mittausetäisyys on 146,5 metriä ( $H = 100$  m,  $D = 93$  metriä).

Mittaukset tehtiin maanpinnalle sijoitetun vanerilevyn päältä. Mittaustulokset tallennettiin mittarin muistiin 1 minuutin pituisina jaksoina 1/3-oktaavikaistoittain. Lisäksi mittausten aikaiset ääninäytteet tallennettiin mittarin muistikortille tonaalisuuden analysointia varten.

Mittausten aikaisia säähavaintoja kerättiin tuulivoimaloiden läheisyydessä kolmelta eri paikalta 10 m korkeudelta. Säähavaintomaston sijaintia vaihdettiin riippuen mitattavasta tuulivoimalasta (liite 5).

Mittaustuloksista eroteltiin mitatut melutasot tuulen nopeusluokittain (kokonaismelutasot ja taustamelutasot) ja tuloksista laskettiin äänitehotaso hyväksyttävälle tuulen nopeusluokille. Lisäksi tuulivoimaloiden WT3 ja WT4 aiheuttamalle melulle tehtiin tonaalisuuden analysointi standardin IEC 61400-11 mukaisesti.

Mittausten aikana tuulen nopeudet olivat alle 8 m/s ja tuulivoimaloiden tehot mittausten aikana vaihtelivat välillä 10 – 60 % täydestä tehosta.



## 2.5 Mittauskalusto

Tuulivoimaloiden WT1-WT4 melupäästö (äänitehotaso) mitattiin Bruel & Kjaer 2270-äänianalysaattorilla joka täyttää standardien SFS 2877 / IEC651 ja IEC 804 vaatimukset tarkkuusluokan 1 mittareille. Äänilähteiden melupäästö tallennettiin standardin IEC 61400-11 mukaisesti terssikaistoittain 1 minuutin jaksoina mittarin muistiin.

Ympäristömelutasoja mitattaessa käytettiin Norsonic 131, Norsonic 140- (2 kpl) mittareita, jotka täyttävät SFS 2877 / IEC651 ja IEC 804 vaatimukset tarkkuusluokan 1 mittareille. Ympäristömelutasot tallennettiin mittareiden muistiin 1 sekunnin jaksoina.

Mittarit kalibroitiin ennen mittauksia ulkoisella kalibraattorilla. Ympäristömelumittauksissa mittarit asetettiin kolmijalalla noin 1,5 metrin korkeuteen ja ne varustettiin tuulisuojalalla.

## 2.6 Mittausten aikaiset sääolosuhteet

Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty liitteessä 1. Havaintojen perusteella mittausaikana vallitsi pilvinen ja kesäinen sää. Mittauspäivänä n klo 17.00–18.00 alkoi ukkonen, joka keskeytti ympäristömelumittaukset. Mittausaikana vallitsi pääosin lännen puoleinen puuskittainen tuuli. Säähavainnot on tehty tuulivoimaloiden läheisyydessä 10 metrin korkeudelta.

Ukkosen aiheuttaman keskeytyksen vuoksi ympäristömelumittaukset eivät sisällä mitausjaksoja, jolloin ainoastaan WT 1 tai WT 2 oli toiminnassa. Mittausten keskeytymisen vuoksi myös taajuusanalyysi mittauspaikalla 4 jäi tekemättä.

Mittausten aikaiset sääolosuhteet eivät olleet hyvät ympäristömelumittausten kannalta, sillä tuuli oli puuskainen ja sade keskeytti mittaukset. Länsituuli ei myöskään ollut optimaalinen mittauspaikkojen 1 ja 4 kannalta.

## 2.7 Tuulivoimaloiden käynti mittausten aikana

Tuulivoimaloiden käyntiä rajoitettiin mittauspäivän aikana, sillä voimalan äänitehotasoa mitattaessa vain mitattava voimala tulee olla käynnissä. Lisäksi alueella mitattiin taustamelutasoa, jolloin kaikki voimalat olivat pois päältä. Taulukossa 1 on esitetty kunakin ajankohtana käynnissä olleet voimalat.

*Taulukko 1. Voimaloiden käynti mittauspäivänä.*

Kellonaika	Käynnissä olevat voimalat			
mittauksen alku - 14:29:20	WT1	WT2	WT3	WT4
14:29:20 - 15:26:20	-	-	WT3	-
15:26:20 - 16:09	-	-	-	-
16:09 -16:56	-	-	-	WT4
16:56-17:36	-	-	-	-
17:36:00 - mittauksen loppu	WT1	WT2	WT3	WT4

Ympäristömelumittaukset keskeytettiin ukkosen takia n klo 17.30. Voimaloiden WT1 ja WT2 äänitehotasot mitattiin iltana, jolloin ympäristömelumittaukset eivät olleet enää käynnissä.

## 2.8 Laskentamalli

Ympäristömelun laskennallinen arviointi tehtiin standardin ISO-9613-2 mukaisiin algoritmeihin perustuvalla laskentamallilla (ISO 9613-2). Standardi sisältää algoritmit etäisyysvaimennuksen, ilmakehän absorptioon, maan pinnan vaikutusten ja esteiden arviointiin. Laskennat tehtiin Cadna A 4.2-melulaskentaohjelmalla.

Laskentamallissa vesistöjen pinnat on mallinnettu kovina, akustisesti heijastavina pintoina. Maa-alueet on mallissa oletettu pehmeiksi. Laskennassa ei ole otettu huomioon mahdollista melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden lisäystä.

Laskentamallin maastomalli on laadittu Maanmittauslaitoksen Maastotietokannasta (aineistoversio 05/2012) saadun maastomallin pohjalta, josta saatiin myös rakennusten käyttötarkoitukset. Alueella sijaitsevien rakennusten kattokorkeudet on arvioitu rakennusten käyttötarkoitukseen perustuen.

Melulaskenta on tehty noin 5 x 5 km laajuiselle alueelle, johon laskentapistettä on sijoitettu tasaisin välein 5 metrin etäisyydelle ja 2 metrin korkeudelle maan pinnan tasosta.

### 2.8.1 Voimaloiden äänitehotasot laskennallisessa arvioinnissa

Laskennallisessa arvioinnissa voimaloiden äänitehotasoina käytettiin Mäkelänkankaalla kesäkuussa 2013 mitattujen äänitehotasojen perusteella arvioituja melupäästöjä tuulen nopeuksille 8 m/s ja 5 m/s.

Tuulivoimaloiden 1 ja 3 äänitehotasot tuulen nopeudelle 8 m/s on arvioitu lisäämällä tuulen nopeudella 5 m/s mitattuihin äänitehotasoihin + 3 dB ( $L_{WA\ 8\ m/s} = L_{WA\ 5\ m/s} + 3\ dB$ ). Edellä esitetty lisäys vastaa tuulivoimaloiden valmistajan ilmoittamaa eroa tuulen nopeuksilla 6 m/s ja 9 m/s.

Tuulivoimalan 2 äänitehotaso (8 m/s) on arvioitu tuulivoimaloiden 1 ja 4 äänitehotasojen sekä valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella ( $L_{WA\ 8\ m/s} = L_{WA\ 3\ m/s} + 2\ dB + 0,5\ dB + 3\ dB$ ). Tuulivoimalan 4 äänitehotaso on arvioitu tuulivoimalan 3 ja sekä valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella ( $L_{WA\ 8\ m/s} = L_{WA\ 4\ m/s} + 1,1\ dB + 3\ dB$ ).

Tuulivoimaloille 1 ja 3 on mitatut äänitehotasot tuulen nopeudella 5 m/s. Tuulivoimaloiden 2 ja 4 äänitehotasot tälle tuulen nopeudelle on arvioitu 3 m/s ja 4 m/s tuulen nopeudella tehtyjen mittausten ja tuulivoimaloiden 1 ja 4 tulosten perusteella.

Laskennallisessa arvioinnissa käytetyt äänitehotasot oktaavikaistoittain on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Laskennallisessa arvioinnissa käytetyt äänitehotasot oktaavikaistoittain.

LWA, 8 m/s tuulen nopeudella				
Hz	WT1	WT 2	WT 3	WT 4
31,5	72,6	71,8	68,7	69
63	83,4	78,8	81,4	78,4
125	90,7	102,5	91,4	88,7
250	101,6	94,9	96,2	93
500	98,2	97,5	96,6	93,3
1000	98,8	92,4	95,7	90,9
2000	97	-	93,3	86,2
4000	-	-	-	-
8000	-	-	-	-
LWA, dB	105,5	104,5	102,1	98,2
LWA, 5 m/s tuulen nopeudella				
Hz	WT1	WT 2	WT 3	WT 4
31,5	69,6	68,8	65,7	66
63	80,4	75,8	78,4	75,4
125	87,7	99,5	88,4	85,7
250	98,6	91,9	93,2	90
500	95,2	94,5	93,6	90,3
1000	95,8	89,4	92,7	87,9
2000	94	-	90,3	83,2
4000	-	-	-	-
8000	-	-	-	-
LWA, dB	102,5	101,5	99,1	95,2

## 2.9 Käytettyjen menetelmien epävarmuudet

### 2.9.1 Äänitehotasojen mittaukset

Standardin IEC 61400-11 mukaisen tuulivoimalan äänitehotasomittauksen epävarmuudet vaihtelevat kohteittain välillä 1,3 dB ... 3,0 dB (liite 5).

### 2.9.2 Ympäristömelumittaukset

Ympäristömelumittausten epävarmuus lisääntyy etäisyyden kasvaessa. Ympäristöministeriön mittausohjeen mukaan yksittäisen mittauksen tuloksen epävarmuus on 2 dB 30 metrin mittausetäisyydellä, 4 dB 100 metrin mittausetäisyydellä ja 7 dB 500 metrin etäisyydellä. Mikäli mittausohjeen mukaiset olosuhteet eivät toteudu tai mittausetäisyydet ovat suuremmat kuin ohjeessa esitetyt suurimmat mittausetäisyydet katsotaan mittausepävarmuudeksi 10 dB (Ympäristöministeriö 1995).

Olosuhteet ympäristömelumittausten aikana olivat poikkeuksellisen huonot puuskittaisen tuulen sekä taustamelun vaikutuksesta.



### 2.9.3 Laskentamallin epävarmuus

Laskentamallissa todellista äänilähdettä kuvataan pistemäisenä äänilähteenä. Mallissa äänilähteen korkeus on yleensä arvio äänikohteen akustisesta keskipisteestä. Tämän arvion epätarkkuus aiheuttaa epävarmuutta myös äänen leviämisen laskennalliseen arvioon. Tässä projektissa äänilähteen korkeudeksi määritettiin turbiinityypin napakorkeus (hub height) (100 m).

Muita vaihtelua aiheuttavia tekijöitä ovat: äänen taajuus, äänilähteen ja kohteen välinen korkeus ja niiden välinen etäisyys sekä niiden välinen topografia. Tämä viimeksi mainittu tekijä sisältää maaston muotojen, rakennusten, esteiden ja kasvillisuuden vaikutukset äänen etenemiseen.

Sääolosuhteiden aiheuttama vaihtelu on mallissa pyritty saamaan mahdollisimman pieneksi valitsemalla arvioinnin lähtökohdaksi säätilanne, jossa vaihtelu on mahdollisimman vähäistä. Tämä säätilanne vastaa tilannetta, jossa lievässä inversiotilanteessa vallitsee kohtalainen myötätuuli äänilähteestä kohteeseen päin.

Tässä selvityksessä tuulivoimaloiden voidaan katsoa edustavan joukkoa laajakaistaista melua aiheuttavia äänilähteitä, jotka sijoittuvat pääasiassa selvästi maan pinnan yläpuolelle. Arvioimme, että laskentamallin tarkkuus on tässä tapauksessa  $\pm 1 \dots \pm 3$  dB.

## 2.10 Ympäristömelun ohjearvot

Tuulivoimarakentamisen suunnittelussa suositellaan käytettävän ”*Tuulivoimarakentamisen suunnittelu*”-ohjeen suunnitteluohjearvoja (Ympäristöministeriö 2012). Nämä suunnitteluohjearvot perustuvat pääosin muiden maiden kokemuksiin tuulivoimaloiden tuottaman äänen häiriövaikutuksista ja muissa maissa käytössä oleviin tuulivoimalamelulle annettuihin ohjearvoihin (taulukko 3).

Taulukko 3. Tuulivoimarakentamisen suunnitteluohjearvot (Ympäristöministeriö 2012)

Alueen kuvaus	Päiväajan (klo 7 – 22) keskiäänitason ohjearvot	Yöajan (klo 22 – 7) keskiäänitason ohjearvot
<b>Ulkona</b>		
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 <sup>1)</sup>
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 Terveysturvallisuuslain (763/94) sisältövaatimuksiin pohjautuen asumisterveysohjeen mukaisia taajuuspainottamattomia tunnin keskiäänitasoon  $L_{eq, 1h}$  perustuvia suunnitteluohjearvoja koskien pientaajuista melua (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003).

Jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista ohjearvoon (Valtioneuvoston päätös 993/1992)

### 3 Tulokset

#### 3.1 Tuulivoimaloiden melupäästöt

Mittausten aikana tuuli oli puuskainen ja pääosin suhteellisen heikko. Mittausten aikana tuulivoimaloiden tehon tuotto vaihteli välillä 10 – 60 % maksimitehosta. Tuulivoimaloiden melupäästöt on esitetty tuulivoimaloittain tuulivoimaloille 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s ja 6 m/s.

Tuulivoimaloille 3 ja 4 saatiin lokakuun 2012 mittauksiin vertailukelpoiset tulokset tuulen nopeuksille 4 m/s ja 5 m/s. Tuulivoimalalle 1 saatiin äänitehotasot tuulen nopeuksille 4 m/s, 5 m/s ja 6 m/s. Tuulivoimalalle 2 saatiin äänitehotaso vain tuulen nopeudelle 3 m/s (taulukko 4).

Taulukko 4. Suomen Voima Oy:n Mäkelänkankaan tuulivoimaloiden äänitehotasot ( $L_{WA}$ , dB) 11.6.2013 tehdyissä mittauksissa.

Sound power level [ $L_{WA,k}$ re $10^{-12}$ W] 2013-06-11				
Turbine #	k=3 m/s	k=4 m/s	k=5 m/s	k=6 m/s
1	-	102.0	102.5	102.5
2	99.0 <sup>1)</sup>	-	-	-
3	-	98.0	99.1	99.0
4	92.1	94.1	-	-

Tuulivoimaloiden 3 ja 4 melupäästöt ovat pienentyneet merkittävästi verrattuna lokakuussa 2012 mitattuihin äänitehotasoihin. Tuulivoimalan 3 äänitehotaso oli pienentynyt 5,2 dB tuulen nopeudella 5 m/s ja 6,1 dB tuulen nopeudella 4 m/s. Tuulivoimalan 4 melupäästö oli pienentynyt 10 dB tuulen nopeudella 4 m/s (vertaa taulukko 4 ja 5).

Taulukko 5. Tuulivoimaloiden 3 ja 4 äänitehotasot lokakuun 2012 mittauksissa ennen vaihdelaatikoiden vaihtoa.

Sound power level [ $L_{WA}$ re $10^{-12}$ W] 2012-10-04				
Turbine #	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
3	-	104.1	104.3	-
4	-	104.1	104.1	-

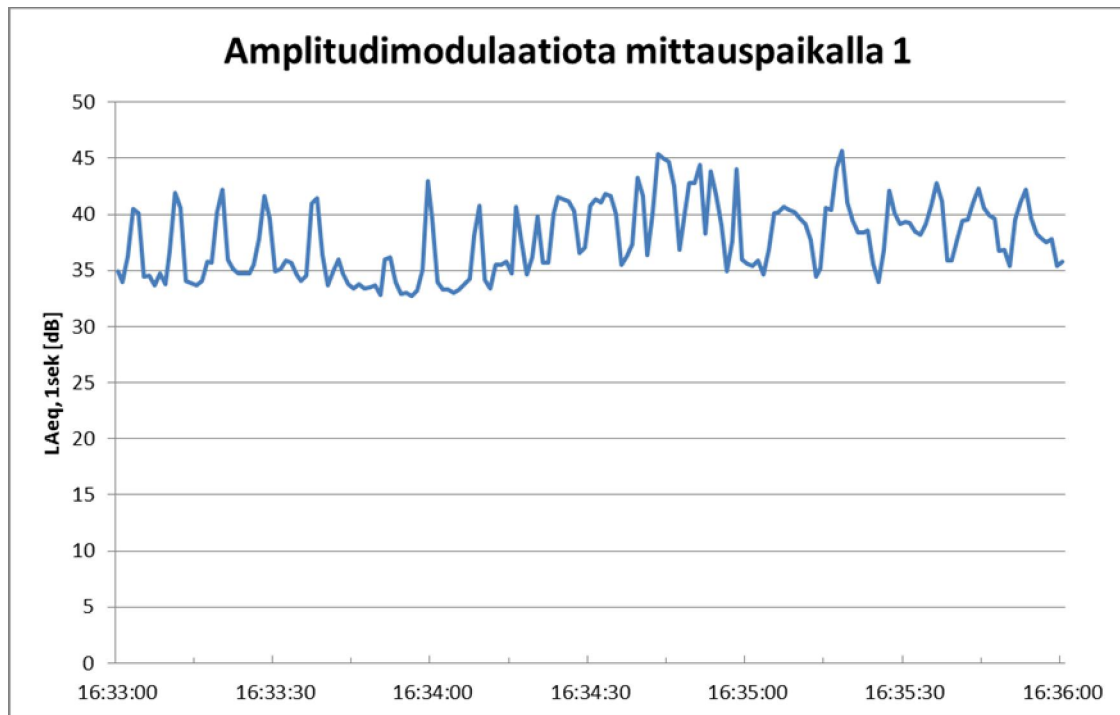
Tuulivoimaloiden 1 ja 2 melupäästöt ovat mittausten perusteella todennäköisesti pienempiä kuin tuulivoimaloiden 3 ja 4 melupäästöt ennen niille tehtyjä muutoksia. Tuulivoimaloiden 1 ja 2 melupäästöt sisältävät selvästi kapeakaistaisia komponentteja, mitkä lisäävät niiden melun häiritsevyyttä (liite 5).

Tuulivoimaloiden 1 ja 2 aiheuttamassa melussa todettiin selvää kapeakaistaisuutta, sillä kuultavan kapeakaistaisuuden arvot olivat 6,0 dB (WT1) ja 16,1 dB(WT2) (liite 5). Myös tuulivoimalan 4 aiheuttamassa melussa todettiin lievää kapeakaistaisuutta, jota tosin ei havaittu mittauspaikalla tehdyissä kuulohavainnoissa.

## 3.2 Ympäristömelumittaukset

### 3.2.1 Mittauspaikka 1

Mittauspaikka 1 sijaitsi Kirnukalliontien varrella noin 500 metrin etäisyydellä lähimmästä voimalasta (WT4). Havaintojen perusteella voimalan ääni erottui mittauspaikalle vaihtelevana ja hiljaisena huminana. Mittaustuloksista voitiin erottaa myös tuulivoimalan aiheuttamaa melun jaksottaisuutta (kuva 3).

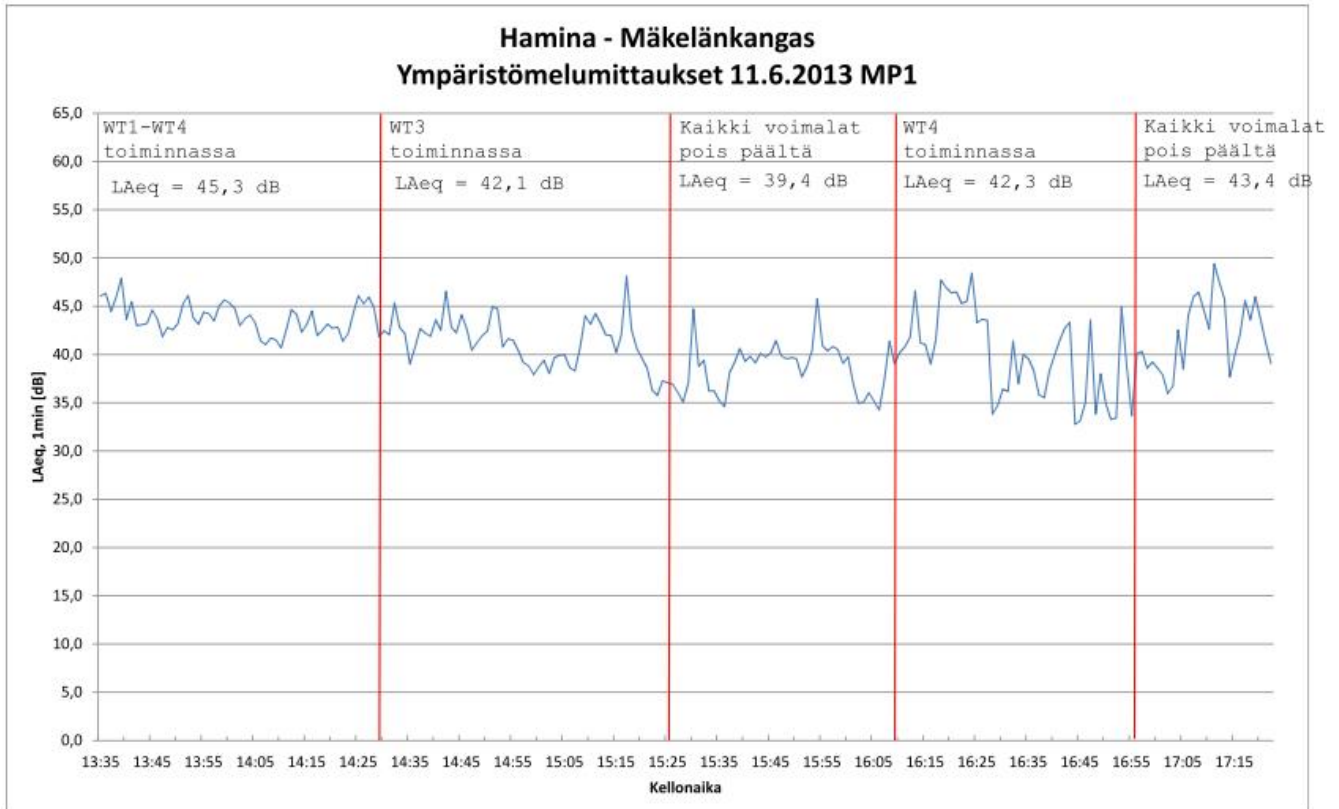


Kuva 3. Tuulivoimalan aiheuttaman äänen jaksottaisuutta mittauspaikalla 1.

Kuulohavaintojen perusteella voimaloiden WT3 ja WT4 synnyttämä ääni ei enää ollut kapeakaistaista, eikä mittauspaikalle havaittu kapeakaistaisia komponentteja. Muita ympäristön ääniä mittauspaikalle erottui vähänlaisesti. Muita ääniä synnyttivät mm. tuulen havina puissa ja lintujen viserrys. Voimalalle WT4 on mittauspaikalta näköyhteys.

Mittauspaikassa 1 mitatut minuutin keskiäänitasot on esitetty kuvassa 4. Tuulivoimaloiden toiminnan aikaisissa ja voimalaitoksen pysäytysten aikaisissa melutasoissa ei ole selvästi havaittavia eroja. Kaikkien tuulivoimaloiden toimiessa klo 13:35 – 14:25 minuutin keskiäänitasot vaihtelivat välillä 40 – 48 dB ja jakson keskiäänitaso oli 45,3 dB. Tuulivoimalan WT3 toimiessa (muut voimalat pysäytetty) minuutin keskiäänitasot vaihtelivat välillä 36 – 48 dB ja jakson keskiäänitaso oli 42,1 dB. Tuulivoimalan WT4 toimiessa minuutin keskiäänitasot vaihtelivat välillä 33 – 48 dB, keskiäänitason ollessa 42,3 dB. Tuu-

livoimaloiden ollessa pysähtyneenä minuutin keskiäänitasot vaihtelivat välillä 34 – 49 dB ja jaksojen keskiäänitasot olivat 39,4 dB ja 43,4 dB (kuva 4).



Kuva 4. Minuutin keskiäänitasot mittauspaikalla 1 ja jaksojen keskiäänitasot 11.6.2013.

Kun voimalan aiheuttamaa melua tutkittiin taajuustasossa, havaittiin, että voimalan synnyttämä melu ei enää ollut kapeakaistaista. (Mittauspaikoilla 1 ja 3 mitatut terssikaistat esitetty liitteessä 3).

Mittauspäivänä vallitsi lännen puoleinen tuuli, joten mittauspaikka sijaitsi voimalan roottorin etupuolella.

### 3.2.2 Mittauspaikka 2

Havaintojen perusteella voimaloiden melu ei erottunut mittauspaikalle 2 (Muuraskallio), joten mittauksia ei toteutettu tällä mittauspaikalla 11.6.2013.

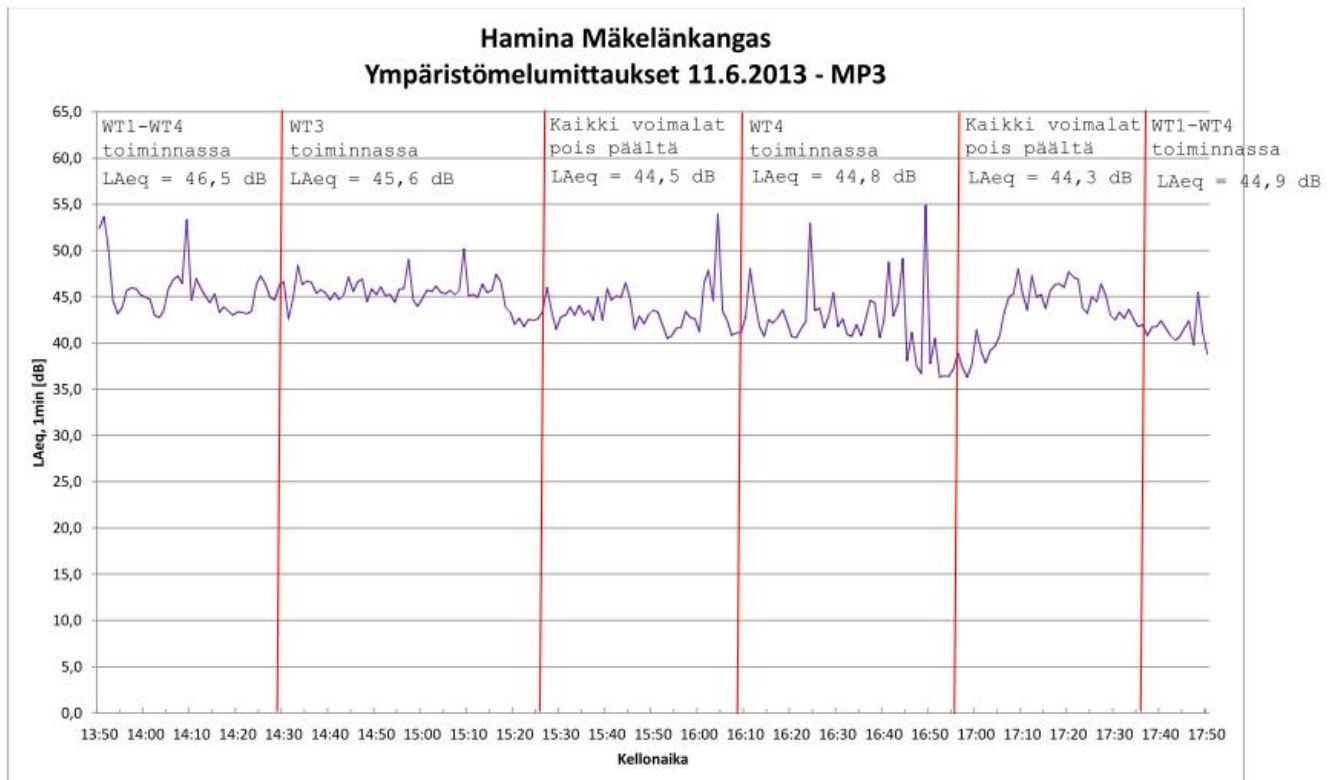
### 3.2.3 Mittauspaikka 3

Mittauspaikka 3 sijaitsi Seppäläntien varrella noin 700 metrin etäisyydellä voimalasta WT1 koilliseen. Mittauspaikalla 3 tehtiin havaintoja ilta-aikana, jolloin alueella havaittiin vähän muista melulähteistä peräisin olevia ääniä (mm. läheisellä sahalaityksellä ei ollut toimintaa).

Havaintojen perusteella tuulivoimalan ääni kuului selkeästi humisevana ja syklistenä äänenä. Lisäksi melusta erottui kapeakaistainen komponentti. Voimalan melu erottui selkeästi ja hallitsi äänimaisemaa. Päiväaikana sahalaityksen todettiin aiheuttavan merkit-

tävimmän melun mittauspaikealle 3 (erottuu mittaustuloksissa). Mittauspaikalle havaittiin myös Haminan moottoritietä kantautunut tieliikenteen melu.

Minuutin keskiäänitasoissa ei ole havaittavissa selviä eroja jaksojen välillä, jolloin tuulivoimalat olivat toiminnassa ja niiden ollessa pysäytettyinä. Tuulivoimaloiden toimiessa jaksojen keskiäänitasot vaihtelivat välillä 44,8 – 46,5 dB ja voimaloiden ollessa poissa päältä kahden jakson keskiäänitasot olivat 44,5 dB ja 44,3 dB (kuva 5).



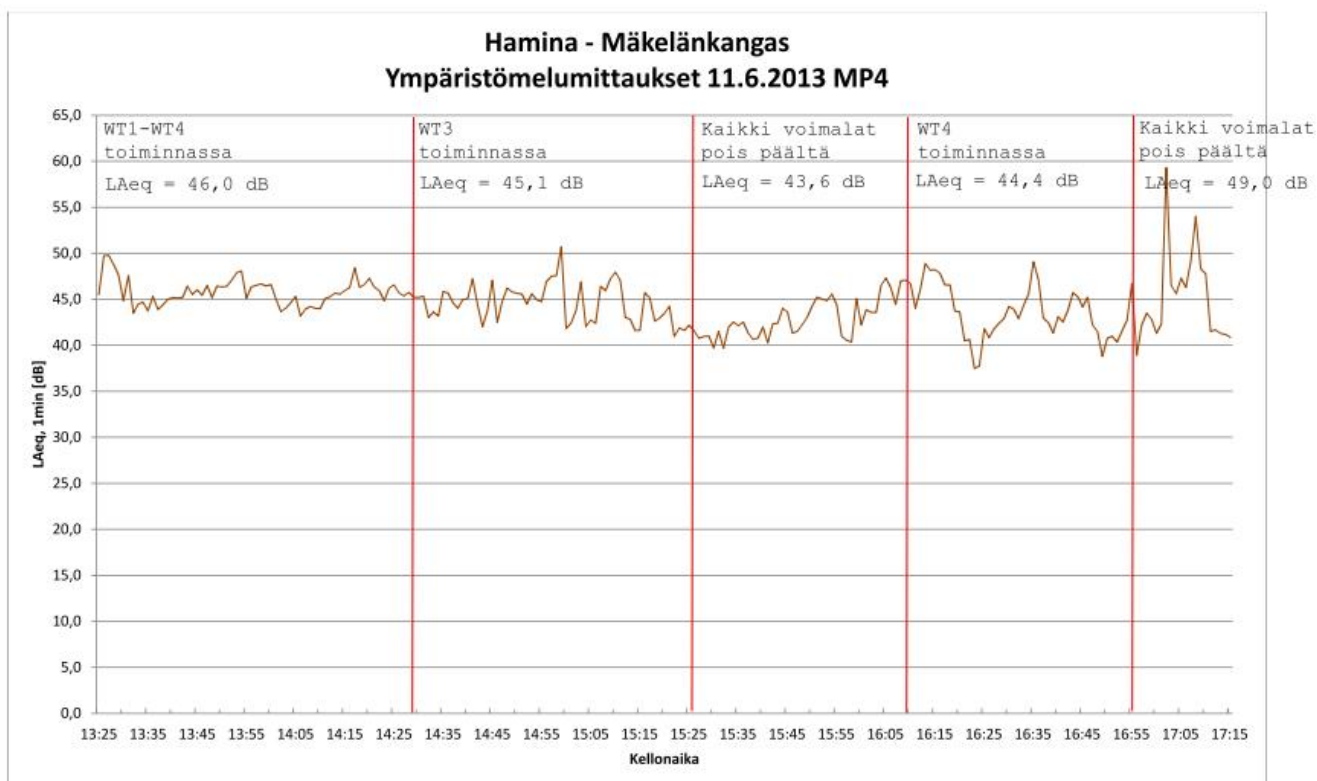
Kuva 5. Minuutin keskiäänitasot mittauspaikealla 3 ja jaksojen keskiäänitasot 11.6.2013.

Kun voimalan aiheuttamaa melua tutkittiin taajuustasossa, havaittiin, että voimala synnyttää piikin 200 Hz:n terssikaistalla. Tämän tiedon ja kuulohavainnon perusteella voimalan synnyttämän äänen voidaan todeta olevan kapeakaistaista. (Mittauspaikoilla 1 ja 3 mitatut terssikaistat esitetty liitteessä 3).

### 3.2.4 Mittauspaikka 4

Mittauspaikka 4 sijaitti Mäkelänkankaantien varrella noin 500 metrin etäisyydellä voimalasta WT3 kaakkoon. Havaintojen perusteella voimaloiden ääni erottui mittauspaikealle hyvin selkeästi jaksottaisena humisevana äänenä (lapaääni). Havaintojen perusteella voimalan synnyttämä melu ei ollut kapeakaistaista. Muita ääniä mittauspaikealle syntyi mm. tuulen havinasta puissa ja lintujen viserryksestä.

Tuulivoimaloiden aiheuttama melutaso oli lähellä alueen taustatasoa, eikä jaksot jolloin tuulivoimalat olivat pysäytettyinä erottuneet selvästi toiminnan aikaisista melutasoista. Tuulivoimaloiden toimiessa jaksojen keskiäänitasot vaihtelivat välillä 44,4 – 46,0 dB ja tuulivoimaloiden ollessa pysähtyneenä jaksojen keskiäänitasot olivat 43,6 dB ja 49,0 dB (kuva 6).



Kuva 6. Minuutin keskiäänitasot mittauspaikalla 4 ja jaksojen keskiäänitasot 11.6.2013..

### 3.3 Laskennallinen arviointi

Laskennallisen arvioinnin perusteella tuulivoimalat aiheuttavat toimiessaan täydellä teholla (tuulen nopeus  $\geq 8$  m/s) lähimpien asuinrakennusten kohdalla noin 38 – 40 dB melutasoa (liite 4, 1/5). Nykyisellä toiminta-ajalla (klo 8 – 18) tuulivoimaloiden aiheuttamaksi päiväaikaiseksi keskiäänitasoksi (LAeq 7-22) lähimpien asuinrakennusten kohdalla muodostuu 36 – 38 dB ilman kapeakaistaisuuden tai amplitudimodulaation aiheuttamaa lisäystä (liite 4, 2/5).

Tuulen nopeudella 5 m/s melutasot lähimpien asuinrakennusten etäisyydellä ovat noin 3 dB pienempiä kuin tuulen nopeudella 8 m/s arvioidut melutasot (liite 4, 3/5 ja 4/5).

Tuulivoimaloissa 3 ja 4 tehdyt muutokset ovat laskennallisen arvioinnin perusteella pienentäneet keskiäänitasoja 5 – 6 dB tuulivoimaloiden kaakkois-, etelä- ja lounaispuolella sijaitsevien lähimpien asuinrakennusten etäisyydellä (liite 4, 5/5).

## 4 Johtopäätökset

Tuulivoimaloissa 3 ja 4 tehdyt muutokset (vaihdelaatikoiden vaihtaminen) ovat pienentäneet merkittävästi niiden aiheuttamaa melupäästöä sekä poistaneet suurelta osin melun häiritsevyyttä lisänsen kapeakaistaisuuden.

Laskennallisen arvioinnin perusteella tuulivoimaloiden 3 ja 4 lähellä sijaitseviin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin kohdistuvat melutasot ovat näiden muutosten vaikutuksesta pienentyneet noin 5 – 6 dB. Ympäristömelumittauksissa ei myöskään todettu enää melun kapeakaistaisuutta mittauspaikalla 1. Tuulivoimaloiden aiheuttama melu on kuitenkin edelleen kuultavissa lähimpien asuin- ja loma-asuinrakennusten piha-alueilla. Kesäkuussa 2013 tehdyissä mittauksissa ei pystytty luotettavasti todentamaan tuulivoimaloiden ai-



heuttamien äänien vaikutusta kokonaistason, koska mittausten aikaiset olosuhteet olivat epäsuotuisat.

Tuulivoimaloiden 1 ja 2 melupäästöt ovat mittausten perusteella todennäköisesti pienempiä kuin tuulivoimaloiden 3 ja 4 melupäästöt ennen niihin tehtyjä muutoksia. Tuulivoimaloiden 1 ja 2 aiheuttama melu on selvästi kapeakaistaista, mikä lisää melu häiritsevyyttä. Tuulivoimaloiden aiheuttamaa meluhaittaa voidaan pienentää tekemällä tuulivoimaloihin 1 ja 2 vastaavat muutokset kuin voimaloihin 3 ja 4.

## 5 Viitteet

Ympäristöministeriö: Carlo Di Napoli ”*Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen*”, Suomen Ympäristö4/2007

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

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

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

Valtioneuvoston päätös 993/1992

Helsinki 28.6.2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Tuukka Lyly'.

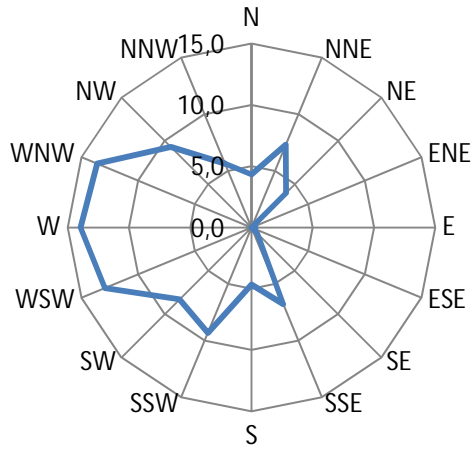
Tuukka Lyly  
WSP Finland Oy

Jyväskylä 10.7.2013

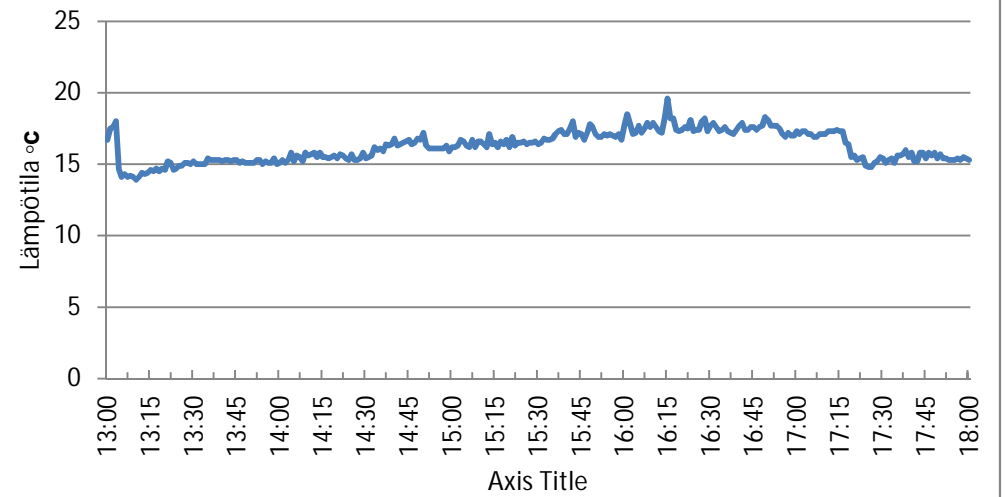
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ilkka Niskanen'.

Ilkka Niskanen  
WSP Finland Oy

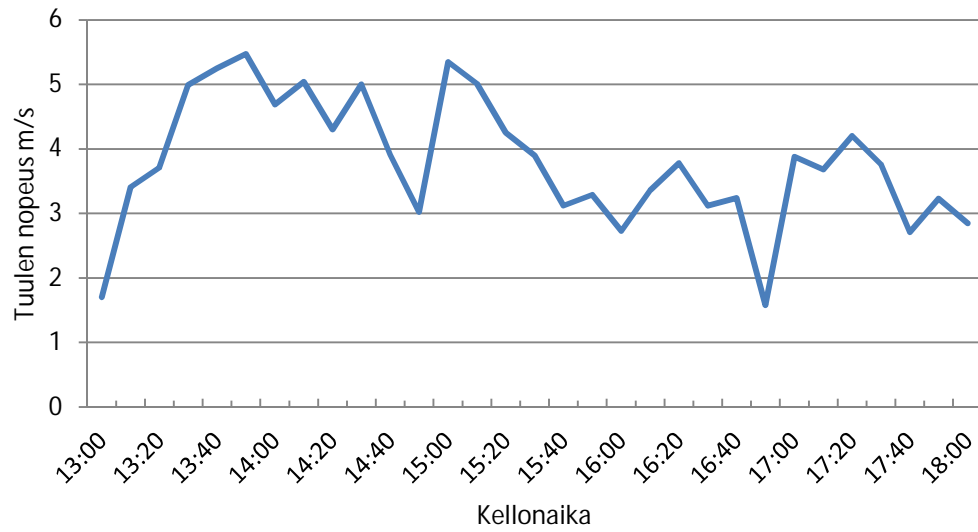
### Tuulen suunnan prosentuaalinen jakautuminen



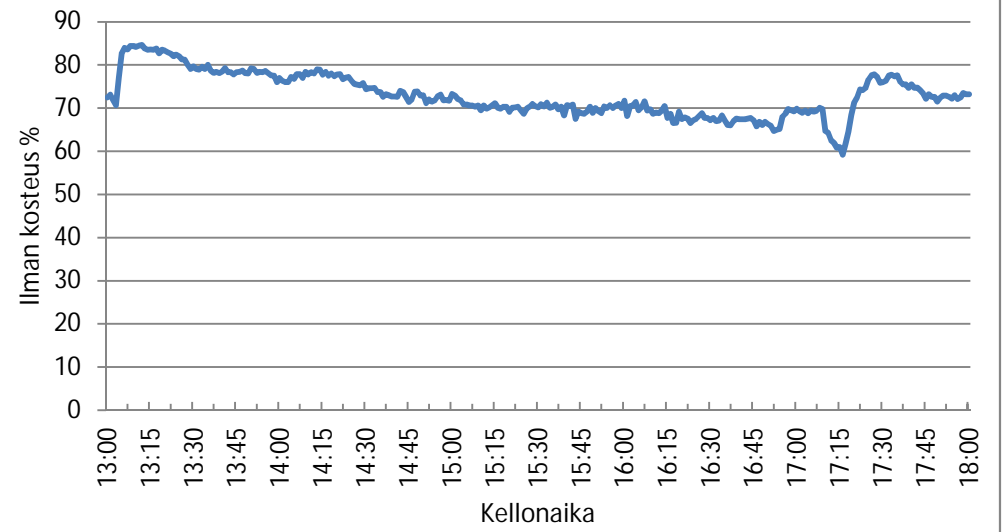
### Lämpötila °C



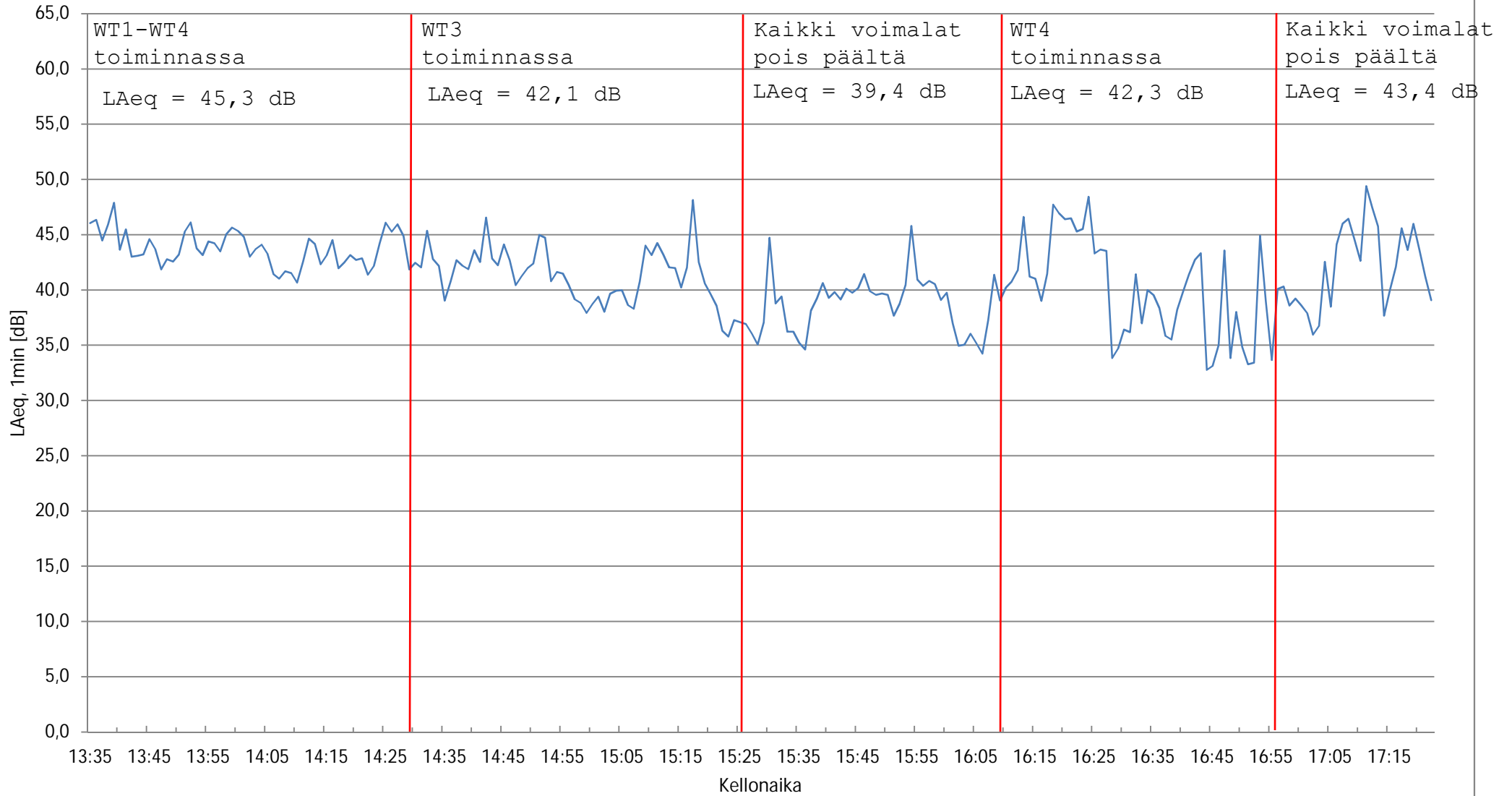
### Tuulen nopeus m/s



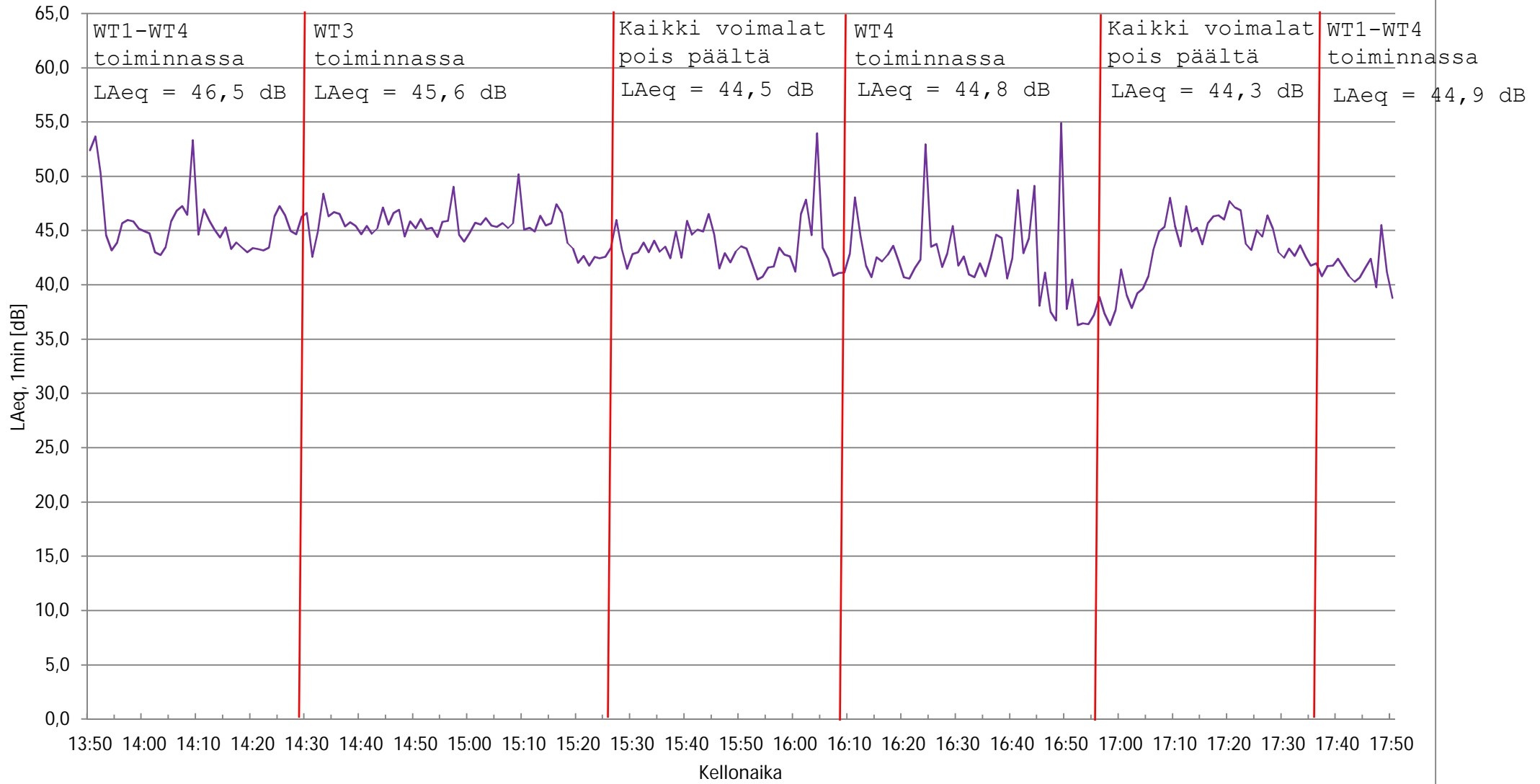
### ilman kosteus-%



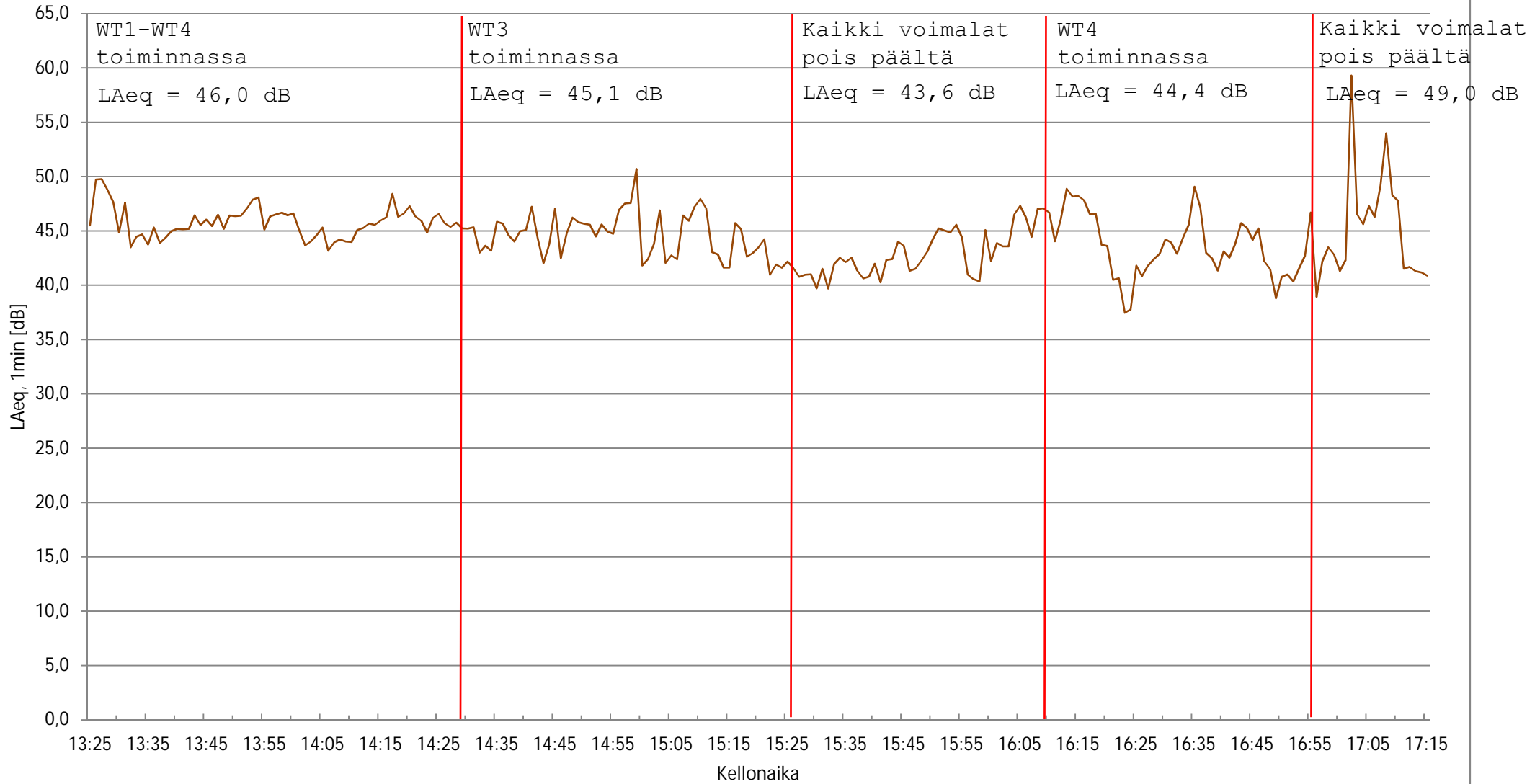
## Hamina - Mäkelänkangas Ympäristömelumittaukset 11.6.2013 MP1



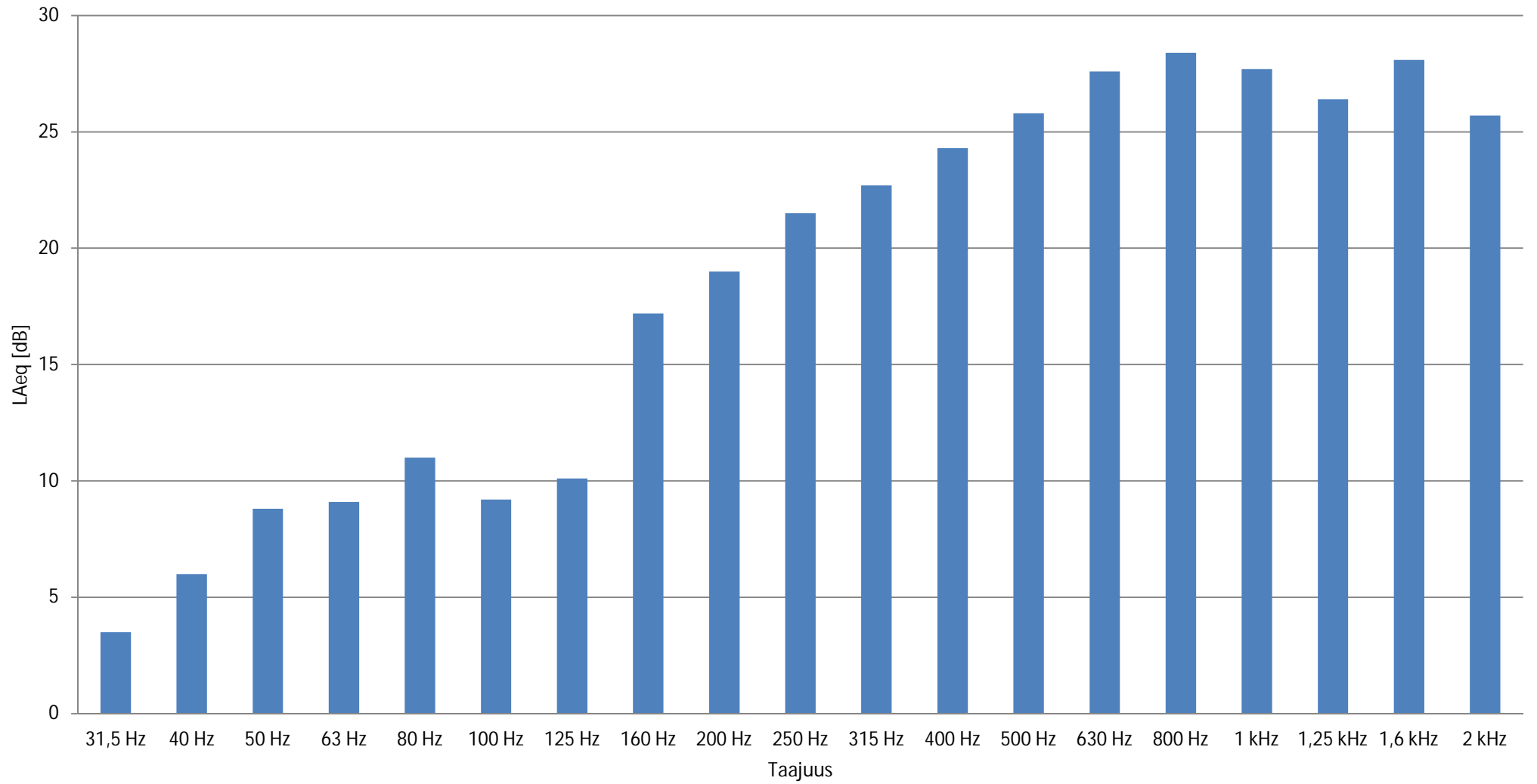
## Hamina Mäkelänkangas Ympäristömelumittaukset 11.6.2013 - MP3



## Hamina - Mäkelänkangas Ympäristömelumittaukset 11.6.2013 MP4

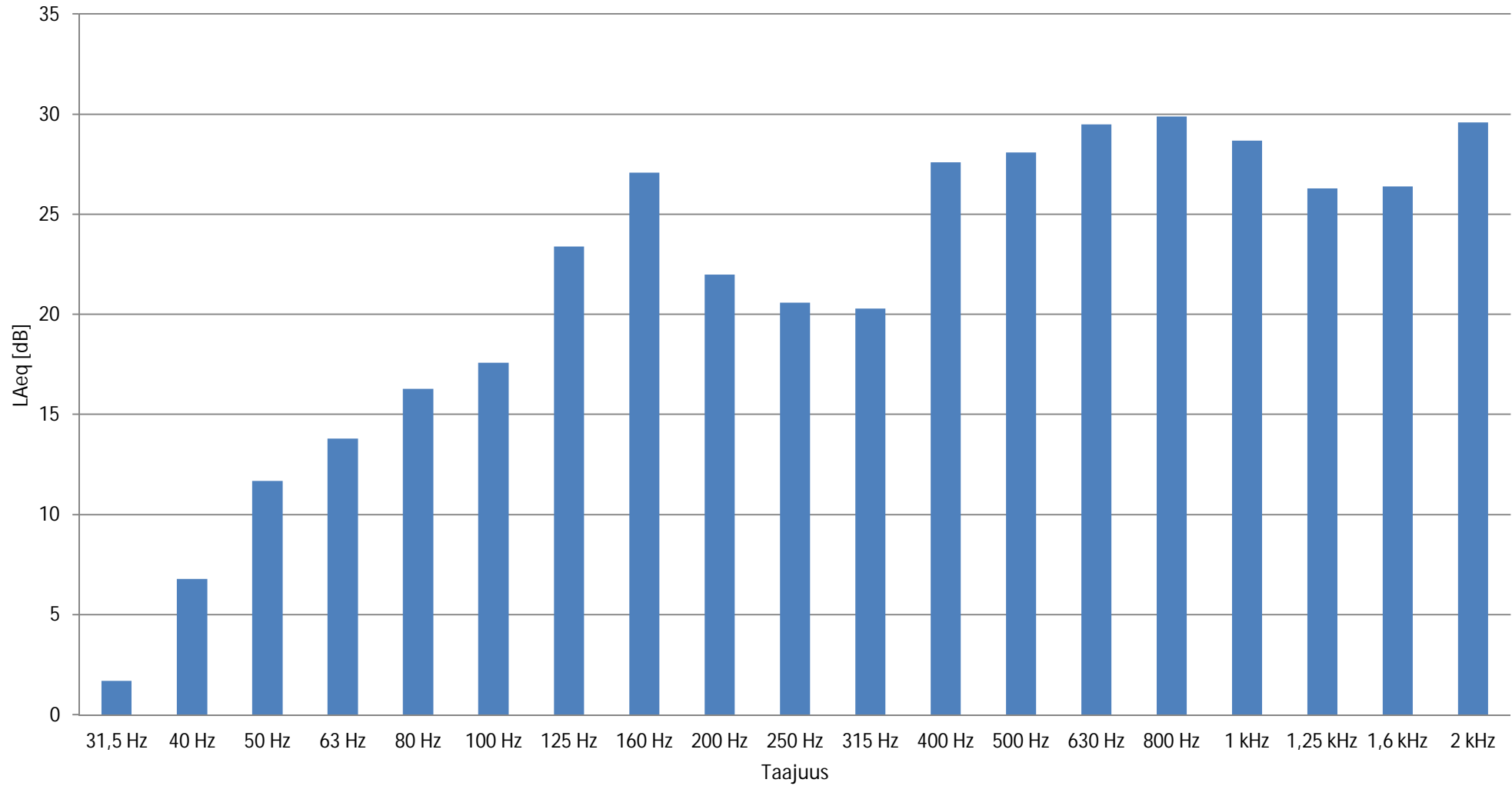


Hamina Mäkelänkangas  
Tuulivoimamelun taajuusjakauma terssikaistoittain (A-painotus)  
11.6.2013 MP1





### Hamina Mäkelänkangas - Tuulivoimamelun taajuusjakauma terssikaistoittain (A-painotus) 11.6.2013 MP3



Helsingintie

Mäkelänkankaantie

38

34

39

39

38

40

37

Summanlahti

**HAMINA - MÄKELÄNKANGAS**

Tuulipuiston  
meluselvitys

Turbiinityppi:  
Huyndai HQ2000-WT93

Laskennassa käytetyt  
äänitehotasot, LWA:

WT1 = 105,5 dB

WT2 = 104,5 dB

WT3 = 102,1 dB

WT4 = 98,2 dB

Tuulen nopeus = 8 m/s

Toiminnan aikainen  
keskiäänitaso LAeq.  
Voimalat WT1 - WT4  
käynnissä.

- > 35.0 dB
- > 40.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB

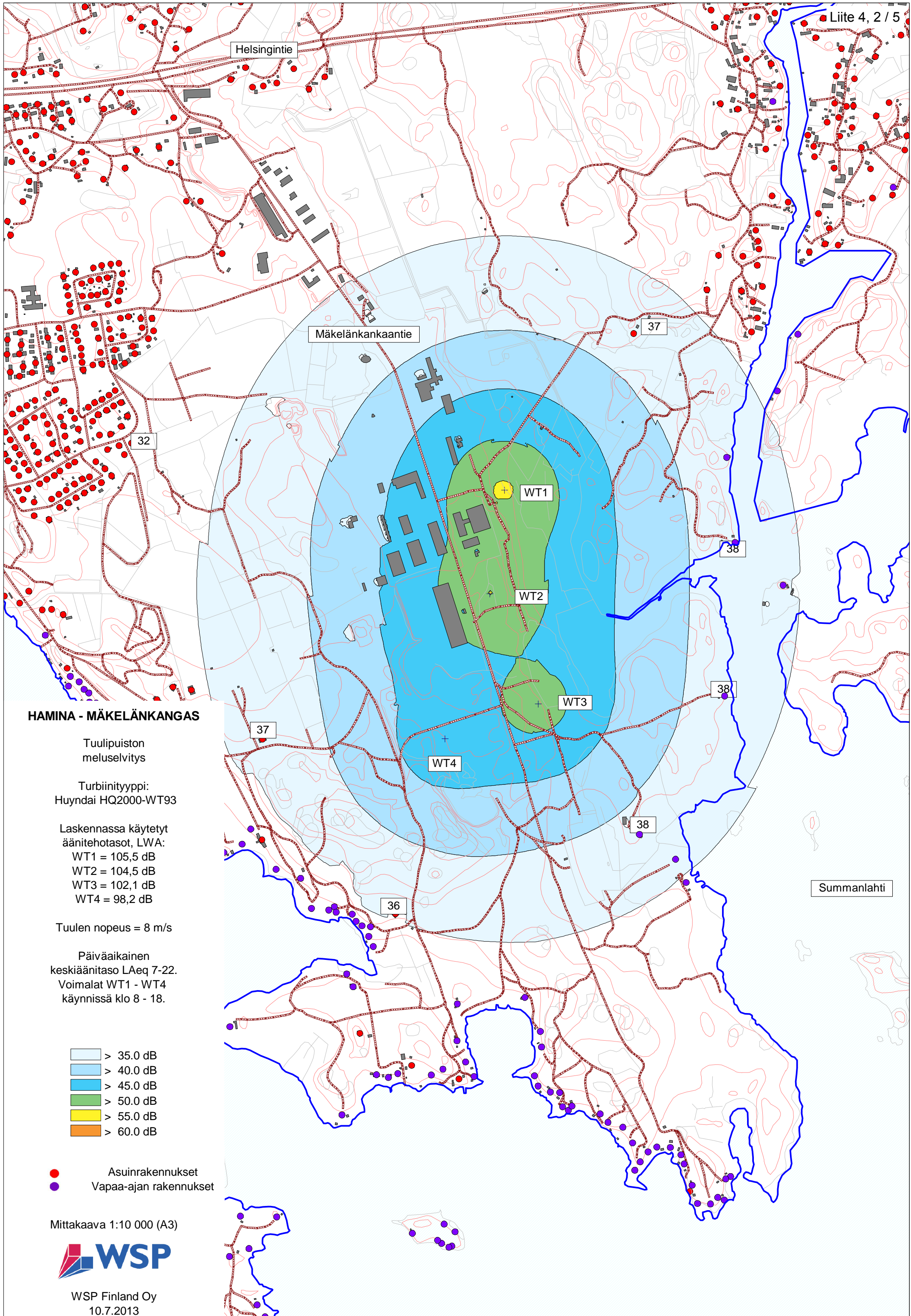
- Asuinrakennukset
- Vapaa-ajan rakennukset

Mittakaava 1:10 000 (A3)



WSP Finland Oy  
10.7.2013





**HAMINA - MÄKELÄNKANGAS**

Tuulipuiston meluselvitys

Turbiinityppi:  
Huyndai HQ2000-WT93

Laskennassa käytetyt  
äänitehotasot, LWA:  
WT1 = 105,5 dB  
WT2 = 104,5 dB  
WT3 = 102,1 dB  
WT4 = 98,2 dB

Tuulen nopeus = 8 m/s

Päiväaikainen  
keskiäänitaso LAeq 7-22.  
Voimalat WT1 - WT4  
käynnissä klo 8 - 18.

- < 35.0 dB
- > 35.0 dB
- > 40.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB

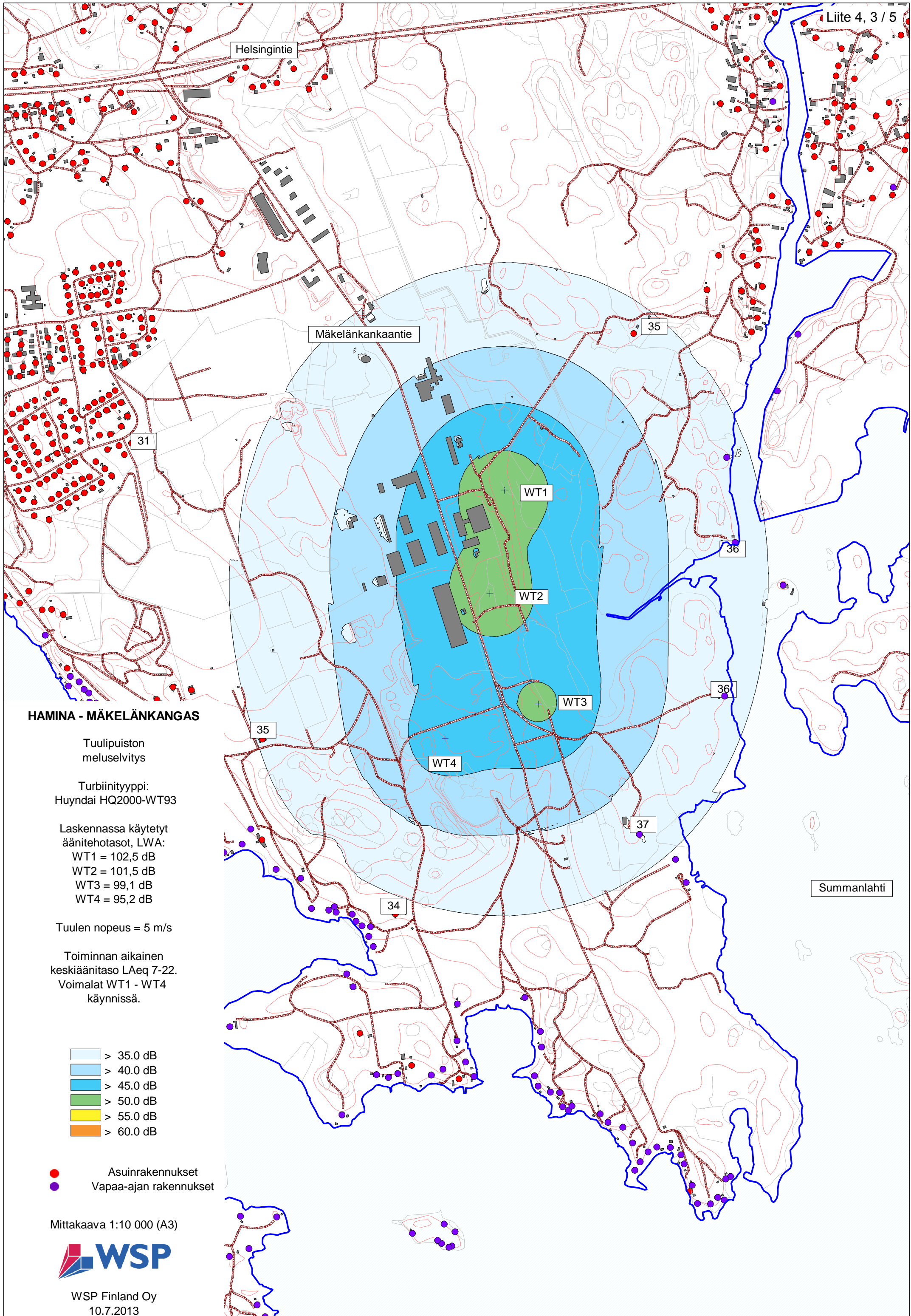
- Asuinrakennukset
- Vapaa-ajan rakennukset

Mittakaava 1:10 000 (A3)



WSP Finland Oy  
10.7.2013





**HAMINA - MÄKELÄNKANGAS**

Tuulipuiston meluselvitys

Turbiinityppi:  
Huyndai HQ2000-WT93

Laskennassa käytetyt  
äänitehotasot, LWA:  
WT1 = 102,5 dB  
WT2 = 101,5 dB  
WT3 = 99,1 dB  
WT4 = 95,2 dB

Tuulen nopeus = 5 m/s

Toiminnan aikainen  
keskiäänitaso LAeq 7-22.  
Voimalat WT1 - WT4  
käynnissä.

- <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #d9ead3; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;">
- <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #cfe2f3; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;">
- <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #b2d7ff; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;">
- <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #92d050; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;">
- <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffff00; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;">
- <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffcc00; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;">

- <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #d9534f; border-radius: 50%; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"> Asuinrakennukset
- <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #6aa84f; border-radius: 50%; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"> Vapaa-ajan rakennukset

Mittakaava 1:10 000 (A3)



WSP Finland Oy  
10.7.2013



Helsingintie

Mäkelänkankaantie

29

34

35

35

34

35

33

**HAMINA - MÄKELÄNKANGAS**

Tuulipuiston  
meluselvitys

Turbiinityppi:  
Huyndai HQ2000-WT93

Laskennassa käytetyt  
äänitehotasot, LWA:

WT1 = 102,5 dB

WT2 = 101,5 dB

WT3 = 99,1 dB

WT4 = 95,2 dB

Tuulen nopeus = 5 m/s

Päiväaikainen  
keskiäänitaso LAeq 7-22.

Voimalat WT1 - WT4  
käynnissä klo 8 - 18.

- <img alt="light blue box" data-bbox="100 784 125 795"/> > 35.0 dB
- <img alt="medium blue box" data-bbox="100 796 125 807"/> > 40.0 dB
- <img alt="dark blue box" data-bbox="100 808 125 819"/> > 45.0 dB
- <img alt="green box" data-bbox="100 820 125 831"/> > 50.0 dB
- <img alt="yellow box" data-bbox="100 832 125 843"/> > 55.0 dB
- <img alt="orange box" data-bbox="100 844 125 855"/> > 60.0 dB

- <img alt="red dot" data-bbox="78 871 90 882"/> Asuinrakennukset
- <img alt="purple dot" data-bbox="78 883 90 894"/> Vapaa-ajan rakennukset

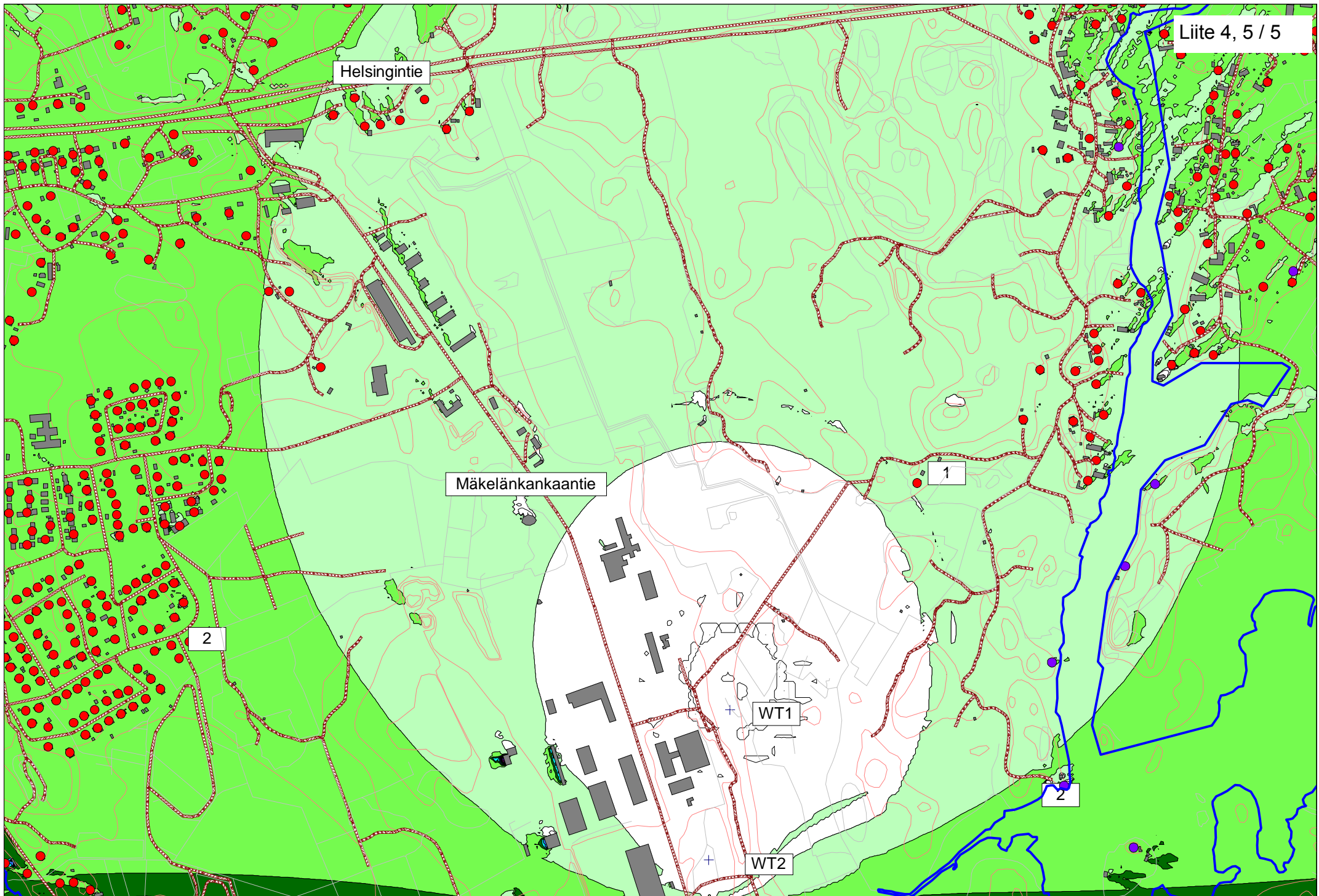
Mittakaava 1:10 000 (A3)



WSP Finland Oy  
10.7.2013

Summanlahti





**HAMINA - MÄKELÄNKANGAS**

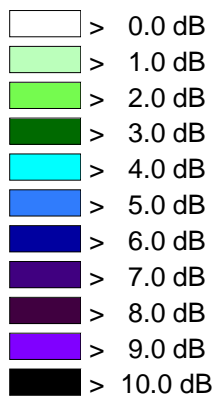
Tuulipuiston  
meluselvitys

Turbiinityppi:  
Huyndai HQ2000-WT93

Laskennassa käytetyt  
äänitehotasot, LWA  
(vuosi 2012 / vuosi 2013):  
WT1 = 105,5 dB / 105,5 dB  
WT2 = 104,5 dB / 104,5 dB  
WT3 = 107,3 dB / 102,1 dB  
WT4 = 107,1 dB / 98,2 dB

Tuulen nopeus = 8 m/s

Laskennallinen arvio  
melutasojen muutoksesta eli  
vaimentumisesta.

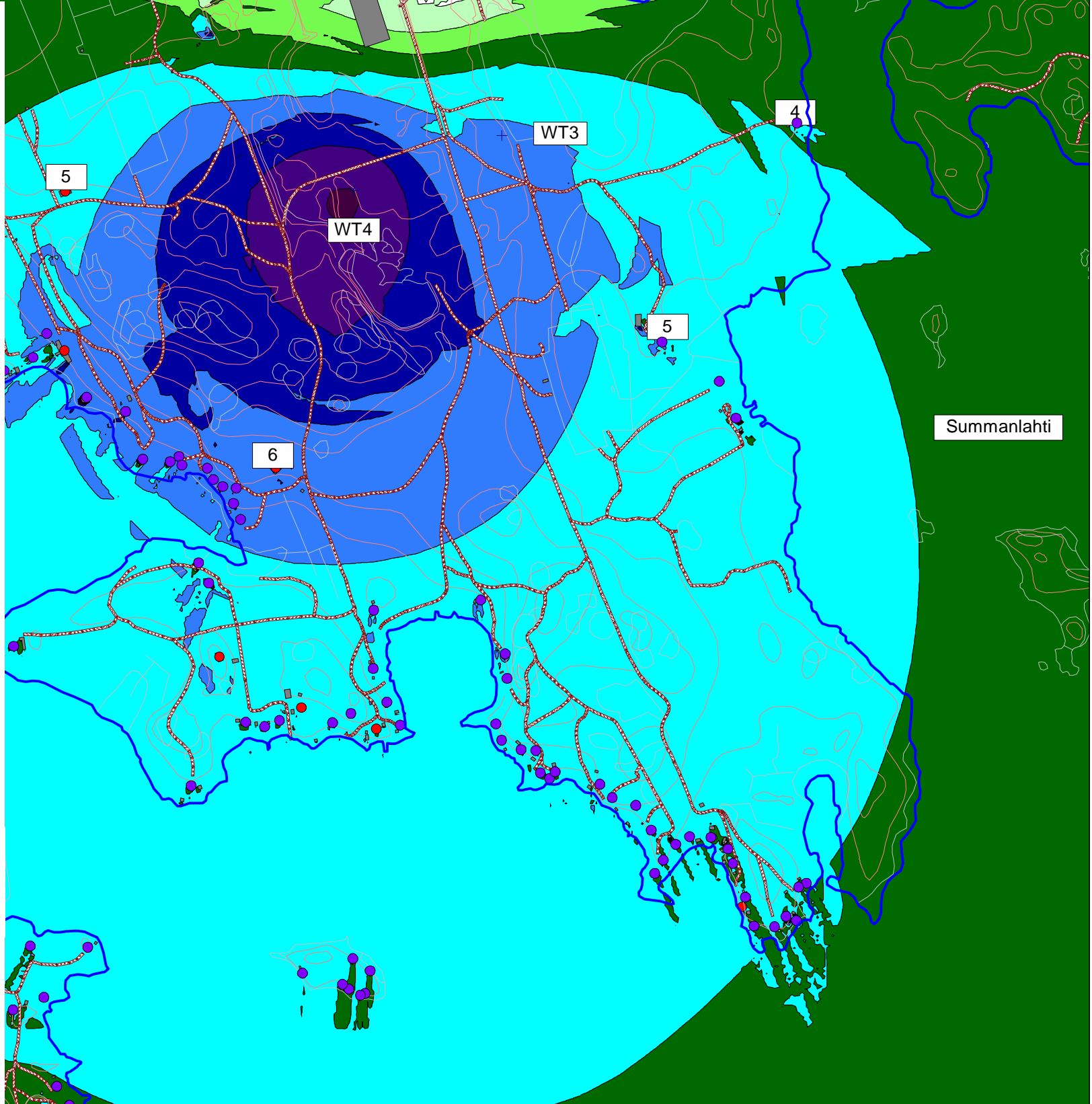


- Asuinrakennukset
- Vapaa-ajan rakennukset

Mittakaava 1:10 000 (A3)



WSP Finland Oy  
10.7.2013







UNITED  
BY OUR  
DIFFERENCE



## Report 10183755.1

Suomen Voima Oy

Hamina – Sound Power Level Measurements

Accredited noise emission measurement, according to  
IEC 61400-11 v 2.1

2013-07-08

Revised :

Issued by: Hannes Furuholm

Reviewed and Approved by: Johan Scheuer



1491  
ISO/IEC 17025

1491  
ISO/IEC 17025

### RAPPORT


utfärdad av ackrediterat  
provningslaboratorium

### TEST REPORT

issued by an Accredited  
Testing Laboratory

WSP Akustik är ackrediterat av SWEDAC för angiven provningsmetod. Provningsmetoden har utförts i full enlighet med metoden och resultatet avser de provade mätobjekten.

Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Project number: 10183755.1		
Date: 2013-07-08	AR_10183755	
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## REPORT 10183755.1

# Suomen Voima Oy Hamina – Sound Power Level Measurements Accredited noise emission measurement, according to IEC 61400-11 v 2.1

### Client

Suomen Voima Oy  
Finland

### Consultant

WSP Akustik  
Box 130 33  
402 51 Göteborg


[www.wspgroup.se](http://www.wspgroup.se)


### Contact

Hannes Furuholm, WSP Akustik, tel +46 (0)10-722 74 20  
[hannes.furuholm@wspgroup.se](mailto:hannes.furuholm@wspgroup.se)

### Contents

<b>Surroundings</b>	<b>6</b>
<b>Photos</b>	<b>7</b>
<b>Sound power measurements</b>	<b>11</b>
<b>Measurement equipment</b>	<b>12</b>
<b>Weather conditions</b>	<b>12</b>
<b>Wind measurement</b>	<b>12</b>
<b>Operating conditions and background noise</b>	<b>13</b>
<b>Mechanical noise and impulse sounds</b>	<b>14</b>
<b>Sound power level</b>	<b>14</b>
<b>Measurement uncertainty</b>	<b>14</b>
<b>Tonality</b>	<b>15</b>
<b>Octave band levels</b>	<b>16</b>

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

Project number: 10183755.1		
Date: 2013-07-08	AR_10183755	
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## Summary

Acoustic noise measurements have been performed, in accordance with standard IEC 61400-11, Edition 2.1, for four wind turbines in Hamina, located on the South East coast of Finland.

The aim of the measurements was to evaluate tonality and sound power level for the four turbines. The results are also compared to previous measurements of turbines 3 and 4.

The wind turbines are all of type Hyundai HQ 2000, 2 MW. Nacelle height is 100 m and rotor diameter is 93,3 m.

The results from the emission measurements and corresponding tonality evaluations are:

*Table 1. Summary of results*

Wind turbine	$L_{WA,k}$	Tone/s	Tone, frequency	Tonal audibility $\Delta L_{a,k}$
1	102.5 (6 m/s)	Yes	204 Hz	6.0
2	99.0 (3 m/s)	Yes	142 Hz	16.1
3	99.0 (6 m/s)	No	-	-
4	94.0 (4 m/s)	Yes	104 Hz	0.7


It should be noted that even though turbine 4 still has tonal audibility levels within what should be reported according to standard, the measurement technician on the site could not perceive any tones from these turbines during the measurement.

It is evident that the actions performed to minimize the noise from turbine 3 and 4 have had the desired effect. It is also evident that turbine 1 and 2 are in need of similar services in order to reduce tonality and sound power levels.

## Assignment

WSP Acoustics have been commissioned by Suomen Voima Oy to determine the sound power level for four wind turbines of type Hyundai HQ 2000, 2 MW. The aim for the measurements was to determine the sound power level and tonality for these turbines. A comparison with previous measurements of turbines 3 and 4 is also presented in this report.

The measurements and evaluation thereof were made according to the international standard IEC 61400-11, Edition 2.1, "Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques".

Project number: 10183755.1		
Date: 2013-07-08	AR_10183755	
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## Measurements

The sound power measurements were performed on June 10 -11 2013 by Hannes Furuholm, WSP Acoustics Sweden. In addition to this, several sound pressure (im-mission) measurements at nearby residential buildings were performed by Tuukka Lyly, WSP Acoustics Finland.


During the measurements, the turbines were operating at 10-60 % of full power.

## Measurement objects

The wind turbine is of type Hyundai HQ 2000, 2 MW. Nacelle height 100 m and rotor diameter is 93.3 m. No coordinates or serial numbers for the turbines were available at the time of writing this report. The placement of the turbines and its immediate surroundings is shown in figure 1 below



Figure 1: The investigated wind farm, satellite image from <http://kansalaisen.karttapaikka.fi>

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## Surroundings


The wind turbines are located in Hamina, in the South East of Finland. The terrain surrounding the different turbines are varying – therefore a different roughness length has been used when evaluating each turbine – as shown in table one below.

*Table 2: Roughness length of the area.*

	<b>Roughness Length</b>	<b>Which corresponds to</b>
<b>Turbine 1</b>	0,75	Dense forest
<b>Turbine 2</b>	0,05	Farmland with some vegetation
<b>Turbine 3</b>	0,75	Dense forest
<b>Turbine 4</b>	0,01	Flat land

See also figures 2 - 13 below.



Project number: 10183755.1		
Date: 2013-07-08	AR_10183755	
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## Photos



Figure 2 – Measurement position, Turbine 1



Figure 3 – Measurement board, turbine 1



Figure 4 – Wind mast position, turbines 1-4.




Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	



Figure 5 – Measurement position, Turbine 2



Figure 6 – Measurement board, turbine 2



Figure 7 – Wind mast position, 30 m south of turbine 2.




Project number: 10183755.1		
Date: 2013-07-08	AR_10183755	
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	



Figure 8 – Measurement position, Turbine 3



Figure 9 – Measurement board, turbine 3



Figure 10 – Wind mast position, 300 m north of turbine 3.


Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	



Figure 11 – Measurement position, Turbine 4




Figure 12 – Measurement board, turbine 4



Figure 13 – Wind mast position, 450 m north of turbine 4.



Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## Sound power measurements

Near-field measurements were performed in "Reference position 1" at the distance  $R_0$  ( $R_0 = \text{nacelle height} + \text{rotor radius}$ ) downwind from the turbine.

The microphone was mounted on a circular, hard board on the ground.

The measurement positions meet the standard's requirements regarding a "+ 6 dB position", i.e. the measured values are reduced in the evaluation by 6 dB as a correction for the sound reflex from the hard board.

The results presented below are based on an average value for the measured equivalent sound pressure levels during periods of 1 minute each. The calculated sound power levels have been corrected for background noise levels.

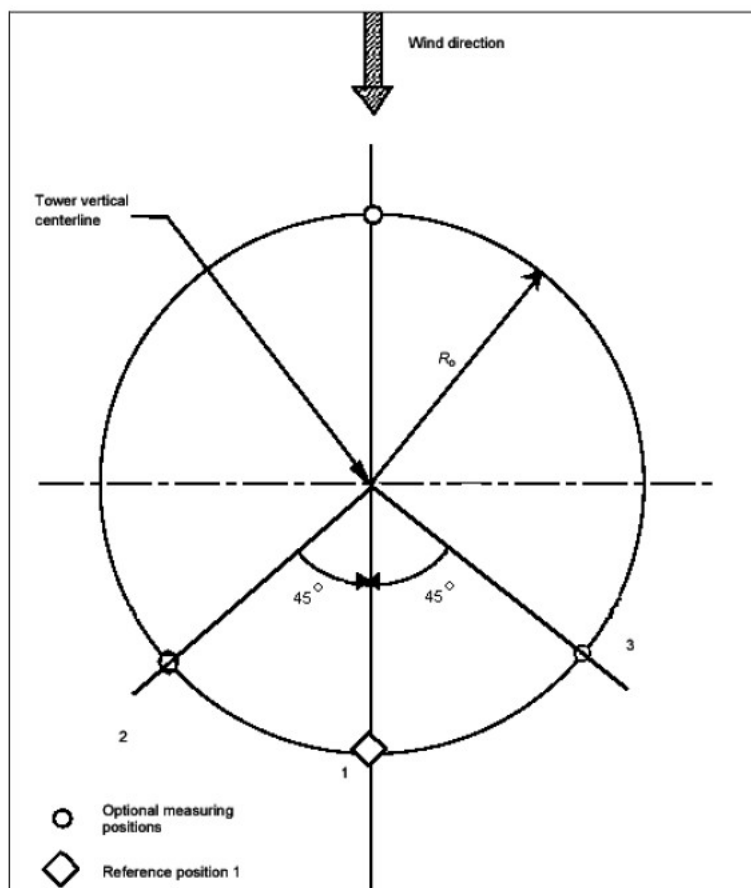



Figure 14: Measurement position, "Reference position 1"

## Measurement distances

Due to the dense forest vegetation, measurements of turbine 1 and 3 were performed at longer distances than the total height of the tower +  $\frac{1}{2}$  rotor diameter - 146.5 m - this in order to get the most audible position for wind turbine noise.

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

- Turbine 1 was measured at a horizontal distance ( $R_0$ ) of approximately 200 meters from the base of tower. This is above the IEC 61400-11 allowed tolerance of 20 % deviation for the measurement position.
- Turbine 3 was measured at a horizontal distance ( $R_0$ ) of approximately 170 meters from the base of tower. This is within the IEC 61400-11 allowed tolerance of 20 % deviation for the measurement position.

In the evaluation of the measurements, the longer distances have been considered in accordance to the standard.

### Number of measurements

At least 30 measurements of background noise and operational noise should be performed in order to be in accordance with the standard. For the background noise measurements, this was not performed for turbine 1, 2 and 4. This factor has been considered when calculating the measurement uncertainties.

### Measurement equipment

During the measurements, the following equipment was used:

Table 2: Measurement equipment

Type	Manufacturer	Type	S.no.
Sound level meter	Brüel & Kjær	2270	2621780
Microphone calibrator	Brüel & Kjær	4231	2635993
Weather station	Kestrel	4500	648074

**Note:** The equipment used during the measurements is calibrated in accordance to WSP's quality system. The sound level meter meets the type 1 requirements for measurement devices according to the international standard SS EN 61672-1.


### Weather conditions

Table 3: Meteorological conditions at measurement site, Hamina, 2012-06-11

Turbine #	Wind speed @ 10 m height [m/s]	Average wind speed @ 10 m height [m/s]	Wind direction	Relative humidity [%]	Air pressure [kPa]	Temperature [° C]
1	3.5 - 6.5	5.0	S/SE	90	100.6	15
2	2.5 - 3.9	3.1	SE	80	100.6	16
3	2.3 - 6.3	4.5	SE	80	100.4	16
4	2.3 - 4.0	3.1	E/SE	70	100.4	18

### Wind measurement

All wind speeds during turbine operation have been measured using the investigated turbine's anemometer at nacelle height.

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

For the background noise measurements, the same wind mast position have been used for all turbines – for more information see figure 4. This is not considered to increase the uncertainty of the measurements.

## Operating conditions and background noise

During the background noise measurements all turbines were non-operating.

Noise from a nearby sawmill was audible during all measurements, minute intervals where this was considered to affect the total noise levels in the area have been excluded from the evaluations.


Due to the shifting characteristics of the area, background noise disturbances for each turbine are presented in table 4 below, together with the applied correction performed according to standard.

Table 4 – Correction factor due to background noise levels, in accordance to the standard.

Turbine #	Correction [dB]	Comment
1	0,9	Close to the sawmill, background noise 5-10 dB lower than during turbine operation.
2	0,1	No apparent disturbances, background noise 12-15 dB lower than during turbine operation.
3	1,3	Somewhat high background noise from the nearby birch forest. Extremely fluctuating noise levels from the turbine during operation.
4	0,8	Relatively low wind speeds caused the turbine to emit noise levels close to the background noise.

It should be noted that the background noise correction for turbine 3 and 4 is mainly influenced by the low wind speeds in the area and the corresponding low noise levels from the turbine in operation.

Turbine 1 and 2 was clearly more audible - regardless of wind speed - which consequently lowered the impact of background noise during these measurements.

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

## Results

### Mechanical noise and impulse sounds

No mechanical noise or impulse sounds were observed during the measurements, except for a slight motor noise during the turning of the turbines, due to a change in wind direction. This noise was not considered excessive in comparison to other turbines of the same size.

### Sound power level

In table 5 below, results from the measurement at 2013-06-11 are shown. Cases with no recorded data are noted with “-”.

The values in table 5 can be compared to the results from the previous measurements of turbine 3 and 4, performed 2012-10-04, which are shown in table 6.

Table 5: Sound power levels for different wind speeds, 2013-06-11

Sound power level [ $L_{WA,k}$ re $10^{-12}$ W] 2013-06-11				
Turbine #	k=3 m/s	k=4 m/s	k=5 m/s	k=6 m/s
1	-	102.0	102.5	102.5
2	99.0 <sup>1)</sup>	-	-	-
3	-	98.0	99.1	99.0
4	92.1	94.1	-	-

1) No data was recorded below 3.0 m/s, the values recorded at 2.5 m/s were at approximately the same level as those in the interval 3.0-3.5 m/s.

Table 6: Previous sound power levels for different wind speeds, 2012-10-04


Sound power level [ $L_{WA}$ re $10^{-12}$ W] 2012-10-04				
Turbine #	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
3	-	104.1	104.3	-
4	-	104.1	104.1	-

### Measurement uncertainty

The uncertainty of the measured sound power levels are presented in table 6 below

Table 6 – Measurement uncertainty

Turbine #	Uncertainty [dB]
1	1,6 @ 6 m/s
2	1,3 @ 3 m/s
3	3,0 @ 5 m/s
4	1,8 @ 4 m/s

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

It should be noted that the very high uncertainty for turbine 3 is largely affected by the fluctuating noise levels from the turbine. The recorded levels for turbine 3 had a variation of 9 dB – largest to smallest recorded value - in the 5 m/s wind speed bin, this variation was however not reflected in the data for produced power. The likely reason for this fluctuation is wind bursts with short duration.

Due to the low number of registered one minute background noise measurements, the component for background noise ( $U_{B9}$ ) have been increased with 0,5 dB when calculating the measurement uncertainty for turbines 1, 2 and 4. This also takes into account using only one position for the wind mast.

### Tonality

Evaluation of tonality was made according to section 8.5 of the standard. The data is based on the two one minute recordings closest to the evaluated wind speed.


$\Delta L_{tn,j,k}$  Tonality of the “j<sup>th</sup>” spectra at the measured wind speed k

$\Delta L_k$  The overall tonality  $\Delta L_k$  is the  $\Delta L_{tn,j,k}$  energy averaged into one value

$\Delta L_{a,k}$  The tonal audibility  $\Delta L_{a,k}$  is an adaption of the  $\Delta L_k$  to compensate for the response of the human ear. A value of  $\Delta L_{a,k}$  greater than -3,0 dB shall be reported.

Table 7: Tonality results.

Tonality results	$\Delta L_{tn, j, k}$ (difference of tone level and masking noise level for 12 measurement periods)		
	Turbine 1 204 Hz, 6 m/s	Turbine 2 142 Hz, 3 m/s	Turbine 4 104 Hz, 4 m/s
	1.6	11.8	-4.8
	-1.5	13.5	-2.6
	2.1	13.8	-3.2
	2.5	16.3	-8.0
	3.2	14.1	-4.4
	6.2	16.3	-15.2
	2.4	14.6	-7.1
	1.5	12.7	-5.4
	2.2	13.0	2.5
	4.9	12.7	1.8
	6.4	15.0	3.1
	7.6	11.1	-3.8
$\Delta L_k$ (overall tonality)	4.0	14.0	-1.3
$\Delta L_{a,k}$ (tonal audibility)	6.0	16.1	0.7

Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

It should be noted that even though turbine 4 still has tonal audibility levels within what should be reported according to standard, the measurement technician on the site could not perceive any tones from these turbines during the measurement.

Tones from turbines 1 and 2 were on the other hand perceived as clearly audible.

### Octave band levels

Presented in the table below are the A-weighted sound power levels, for the measured wind speeds corrected to 10 m height. The results are from the measurement on 2013-06-11.

When the background noise level is less than 3 dB from the noise level during turbine operation, no value can be given. The values in these octave bands are not expected to affect the total A-weighted sound power level.

Table 8: Sound power levels in octave bands,  $L_{W,A}$  [dB re  $10^{-12}$  W]

Octave band [Hz]	Turbine #1 6 m/s	Turbine #2 3 m/s	Turbine #3 5 m/s	Turbine #4 4 m/s
31.5	69.6	66.3	65.7	64.9
63	80.4	73.3	78.4	74.3
125	87.7	97.0	88.4	84.6
250	98.6	89.4	93.2	88.9
500	95.2	92.0	93.6	89.2
1000	95.8	86.9	92.7	86.8
2000	94.0	-	90.3	82.1
4000	-	-	-	-
8000	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>102.5</b>	<b>99.0</b>	<b>99.1</b>	<b>94.1</b>

The octave band levels for turbines 3 and 4 can be compared to the results from the previous measurement, performed 2012-10-04. These results are shown in table 6 below




Project number: 10183755.1	AR_10183755	
Date: 2013-07-08		
Revised:		
Author: Hannes Furuholm	Status:	

Table 9: Comparison of sound power levels in octave bands, measurement 2012-10-04 and 2013-06-11,  $L_{W,A}$  [dB re  $10^{-12}$  W]

Octave band [Hz]	Turbine #3 2012-10-04 5 m/s	Turbine #3 2013-06-11 5 m/s	Turbine #4 2012-10-04 5 m/s	Turbine #4 2013-06-11 4 m/s
31,5	67,2	65,7	69,8	64,9
63	79,7	78,4	82,9	74,3
125	90,4	88,4	92,5	84,6
250	101,8	93,2	100,8	88,9
500	96,4	93,6	97,6	89,2
1000	95,5	92,7	95,8	86,8
2000	93,4	90,3	92,8	82,1
4000	85,4	-	84,0	-
8000	-	-	-	-

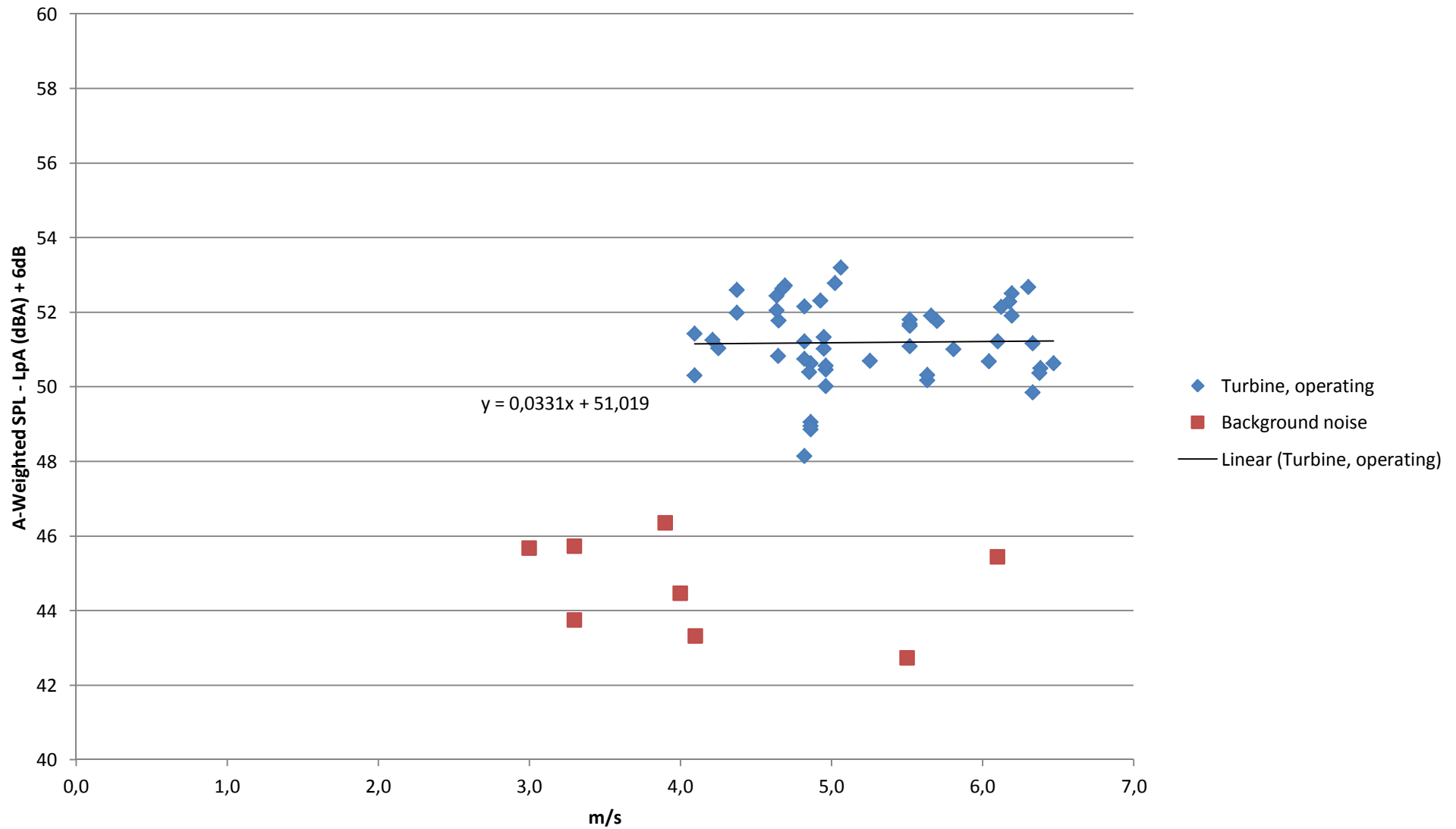
## Comments

It is evident that the actions performed to minimize the noise from turbine 3 and 4 have had the desired effect. It is also evident that turbine 1 and 2 are in need of similar services in order to reduce tonality and sound power levels.

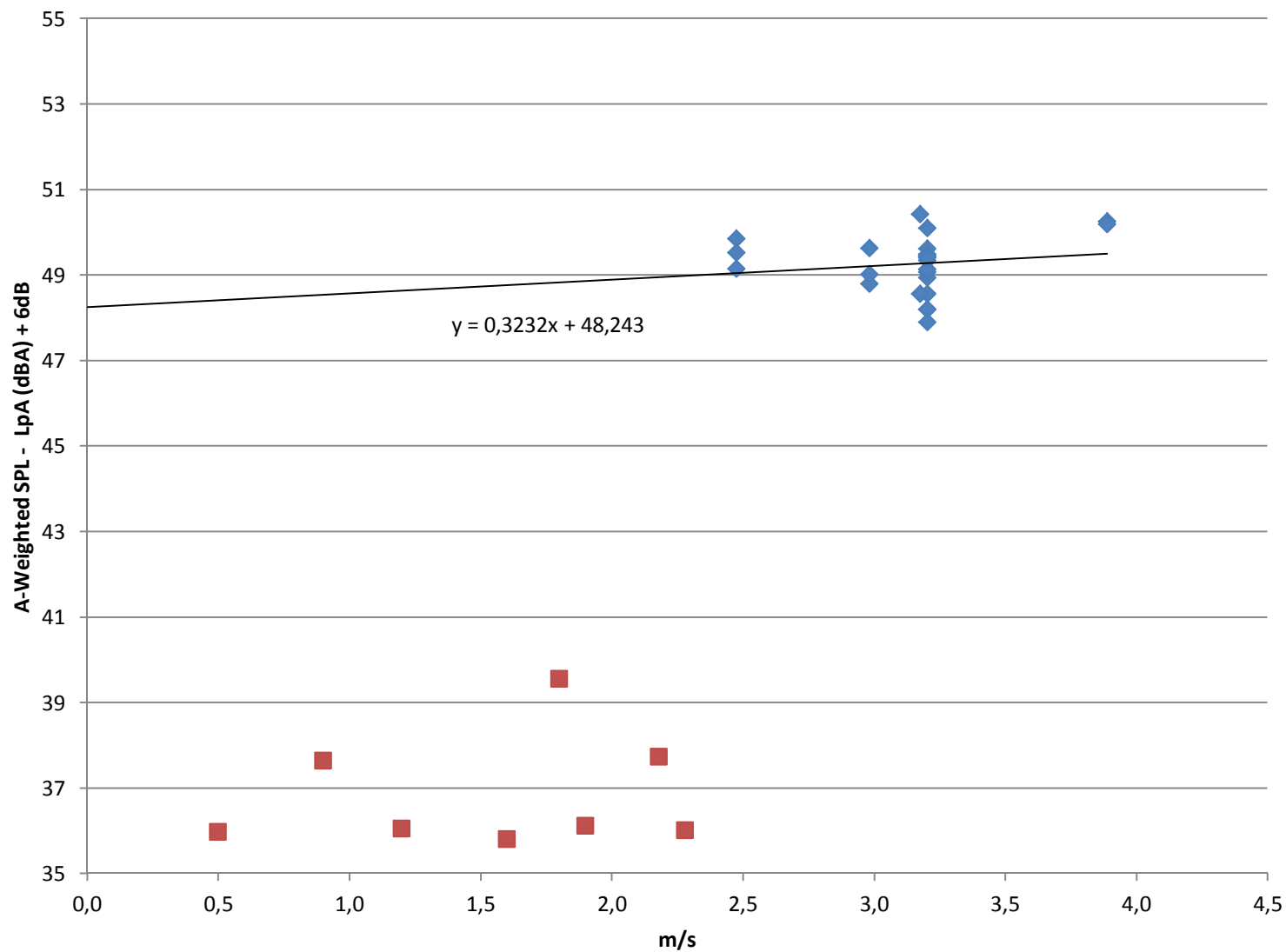
## References

1. Wind turbine generator systems. Part 11: Acoustic noise measurement techniques. EN 61400-11 edition 2.1.

# Turbine #1, Sound Pressure Levels +6 dB-values



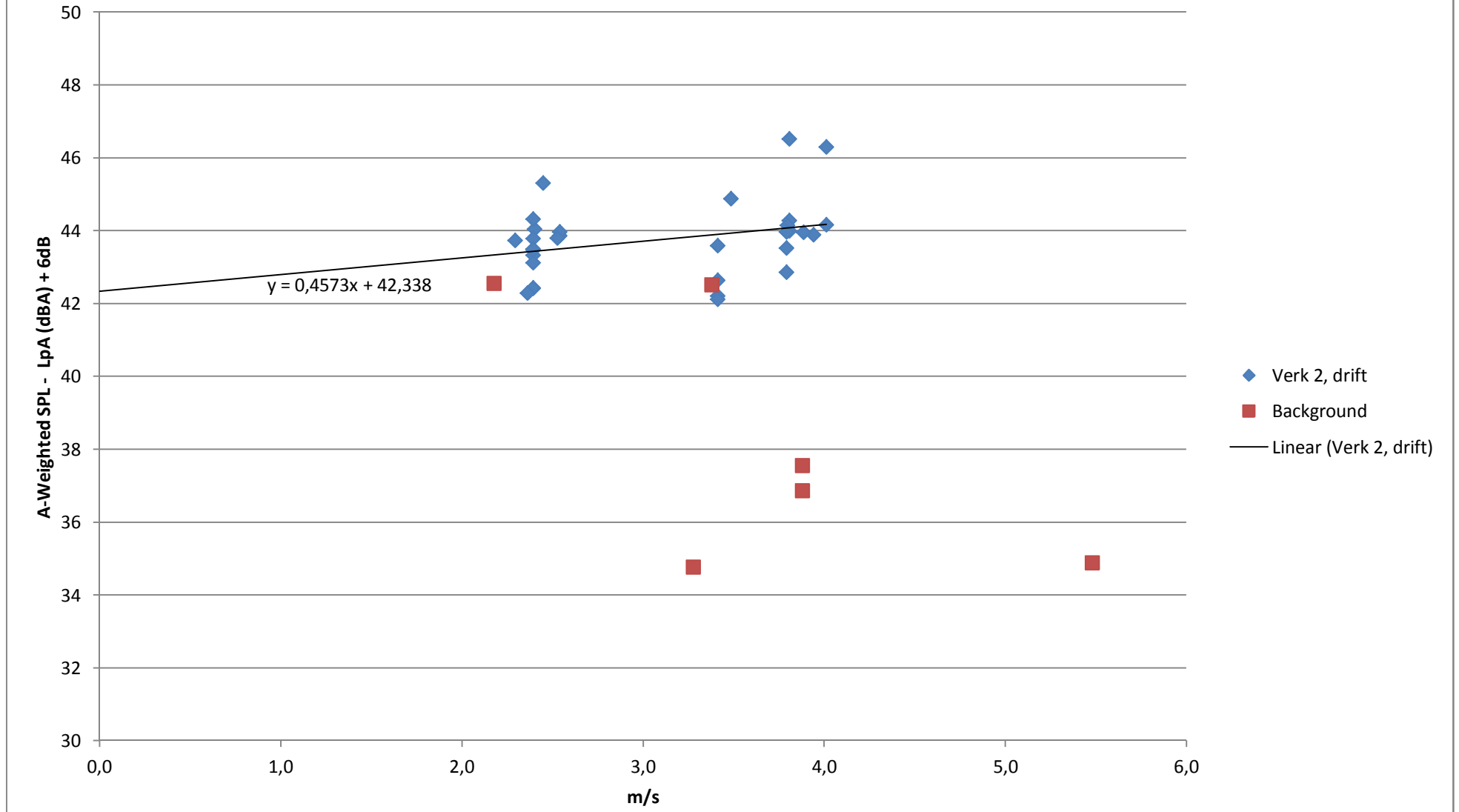
## Turbine #2, Sound Pressure Level +6 dB-values



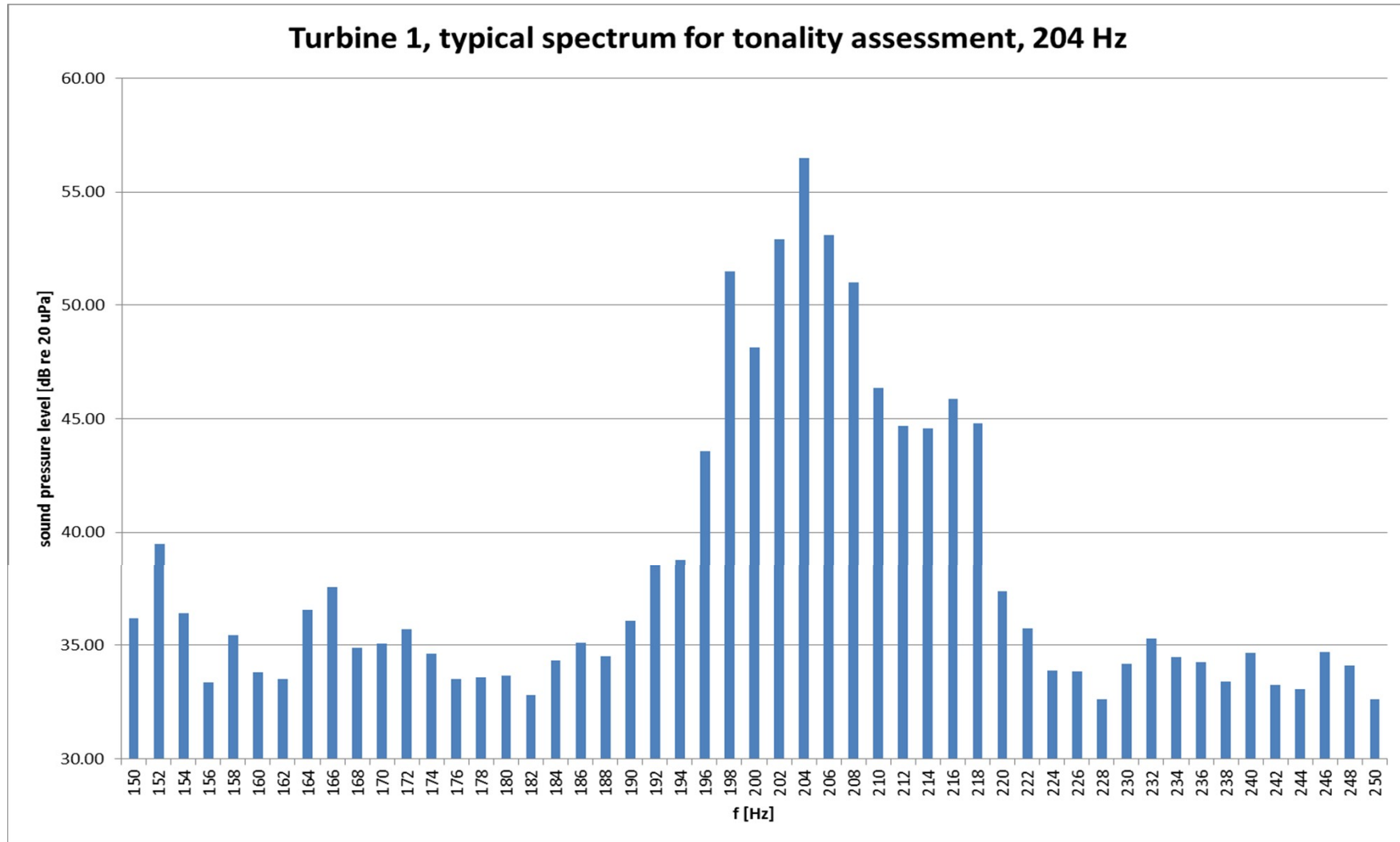
- ◆ Turbine #2, Operating
- Background
- Linear (Turbine #2, Operating)



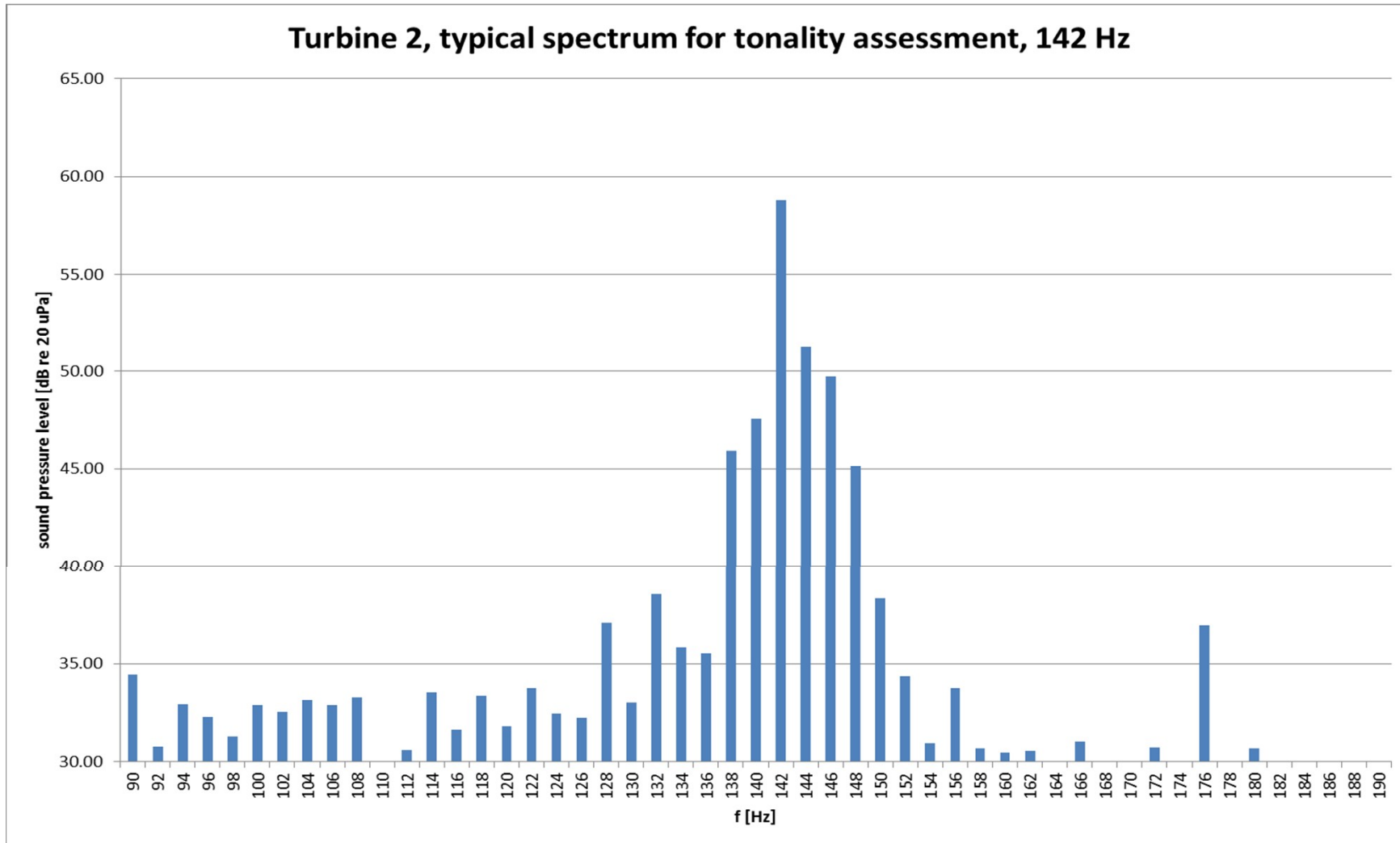
# Turbine #4, Sound Pressure Level +6 dB-values



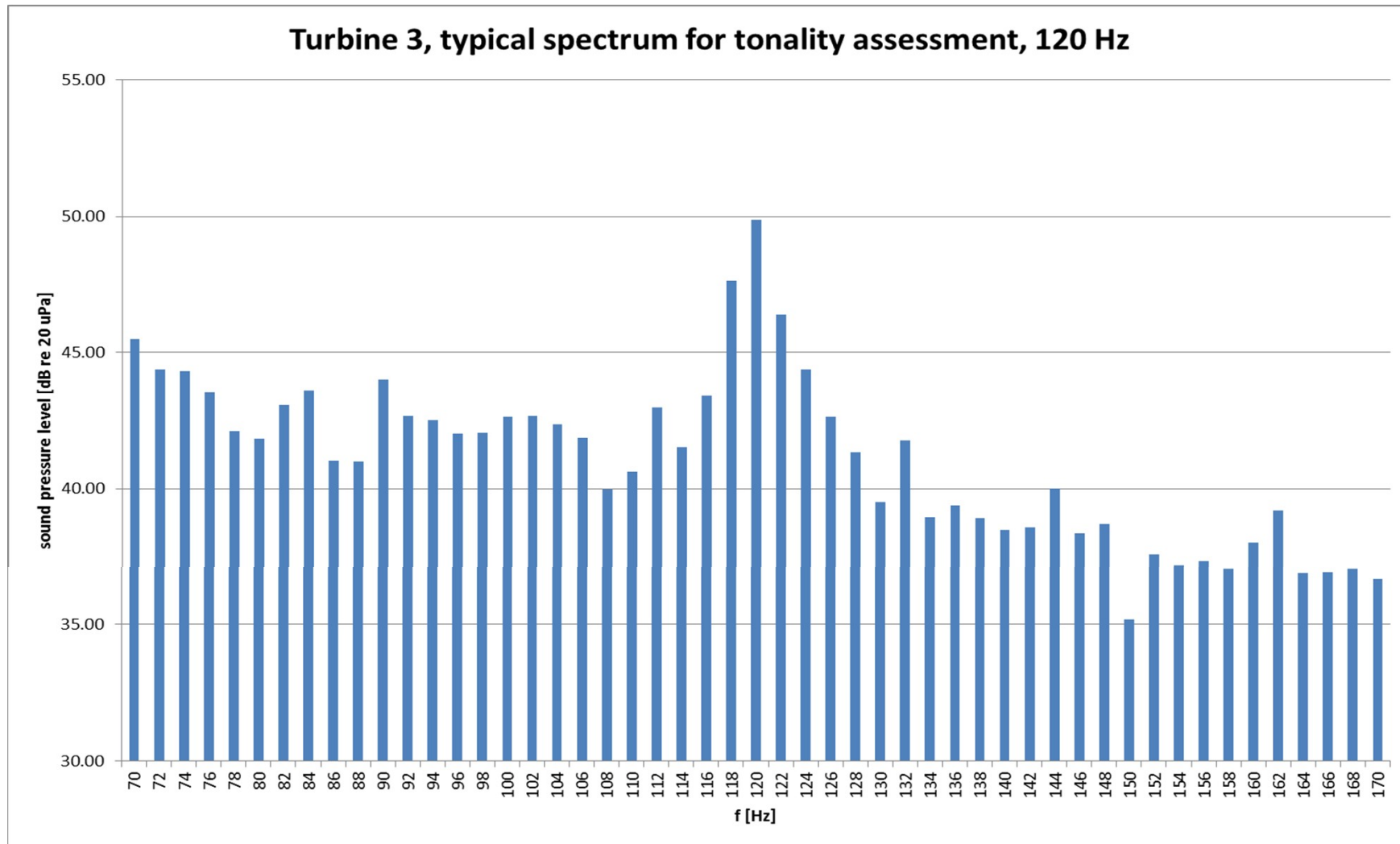
**Turbine 1, typical spectrum for tonality assessment, 204 Hz**



Turbine 2, typical spectrum for tonality assessment, 142 Hz



Turbine 3, typical spectrum for tonality assessment, 120 Hz





Turbine 4, typical spectrum for tonality assessment, 104 Hz

