



Hamina – Mäkelänkangas
Mäkelänkankaan tuulivoimaloiden melumittaukset 4.10.2012
ja laskennallinen meluselvitys

24.10.2012

Projektinnumero: 304578

Tiivistelmä

Haminan Mäkelänkankaan teollisuusalueelle on sijoitettu 4 kpl Hyundai HQ2000-WT93-tyyppin tuulivoimalaa. Voimaloiden napakorkeus on 100 m ja roottorin halkaisija 93m.

Tuulivoimaloiden melupäästö (äänitehotaso) mitattiin 4.10.2012 standardin IEC 61400-11 mukaisesti. Akkreditoidun mittauksen suoritti Hannes Furuholm WSP Akustikin Göteborgin toimistolta. 5 m/s tuulen nopeudella tuulivoimalan WT3 äänitehotasoksi mitattiin $L_{WA} = 104,3$ dB ja voimalan WT4 äänitehotasoksi $L_{WA} = 104,1$ dB. Kovemmillä tuulen nopeuksilla voimaloiden äänitehotasot ovat oletettavasti korkeampia. Valmistaja on ilmoittanut voimaloiden äänitehotasoksi $L_{WA} = 102$ dB tuulen nopeudella 6 m/s.

Tuulivoimaloiden synnyttämän äänen tonaalisuutta tutkittaessa havaittiin, että voimaloiden melupäästö on tonaalista 228 Hz (WT3) ja 222 Hz (WT4) taajuuksilla.

Äänitehotason mittausten yhteydessä suoritettiin ympäristömelumittauksia lähimpien tuulivoimaloiden melulle häiriintyvien kohteiden piha-alueilla. Mittausten ja havaintojen perusteella melun todettiin olevan kapeakaistaista kahdella mittauspaikalla (200 Hz terssikaistalla). Kyseiset mittauspaikat sijaitsivat Kirnukalliontien varrella (MP1), noin 500 metrin etäisyydellä voimalasta WT4 länteen ja Mäkelänkankaantien varrella (MP4) noin 500 metrin etäisyydellä voimalasta WT3 etelään. Molemmissa kohteissa sijaitsee asuinrakennus.

Mittauspaikalla 1 mitattu tuulivoimaloiden synnyttämä keskiäänitaso vaihteli noin 42–44 dB välillä. Mittauspaikalla 4 mitattu tuulivoimaloiden synnyttämä keskiäänitaso vaihteli noin 44–45 dB välillä.

Koska tuulivoimaloiden melun todettiin olevan em. mittauspaikoilla kapeakaistaista, tulee mittaustuloksiin tehdä +5 dB korjaus ennen tulosten vertaamista asetettuihin ohjearvoihin (Valtioneuvoston päätös 993/1992). Kun lisäys huomioidaan, ovat ohjearvoihin vertailtavat keskiäänitaso arvot 47–49 dB (MP1) ja 49–50 dB (MP4).

Tuulivoimaloiden melun leviämisestä laadittiin laskennallinen arviointi, jonka lähtötietoina käytettiin paikalla mitattuja äänitehotasoja. Laskennallinen arviointi tehtiin CadnaA 4.2 melunlaskentaohjelmalla käyttäen ISO-9613-2 mukaisiin algoritmeihin perustuvaa laskentamallia.

Laskennallisen arvioinnin perusteella tuulivoimaloiden aiheuttama melu ylittää nykyisessä tilanteessa loma-asuinrakennuksille annetun 40 dB keskiäänitaso, kun tarkastelussa otetaan huomioon melun kapeakaistaisuus ja tuulivoimaloille arvioitu melupäästö.

Laskennalliset ja mitatut tulokset ympäristömelumittauspaikoilla erosivat toisistaan alle 2 dB.

Summary

4 units of Hyundai HQ2000-WT93-type wind turbines have been built on Mäkelänkangas industry area in the city of Hamina, Finland. The hub height of the turbines is 100 meters and the rotor diameter is 93 meters.

The sound power levels, L_{WA} , of two turbines were measured on 4th of October 2012. Accredited measurements were carried out by M. Sc. Hannes Furuholm from WSP Akustik office in Gothenburg. Wind speed during the measurements was 5 m/s. The measured value for the sound power level of wind turbine WT3 was $L_{WA} = 104,3$ dB and for wind turbine WT4 $L_{WA} = 104,1$ dB. On higher wind speeds the sound power levels are assumably higher. According to the manufacturer the sound power level for the wind turbines are $L_{WA} = 102$ dB on wind speed 6 m/s.

Wind turbine noise was measured to be tonal on frequencies 228 Hz (WT3) and 222 Hz (WT4).

Simultaneously with the sound power level measurements, environmental noise levels were measured outside nearby dwellings and summer-houses. According to the measurements and observation the wind turbine noise was determined narrow-banded on two separate measurement sites (200 Hz band). These measurement sites were located 500 meters west from turbine WT4 and 500 meters south from turbine WT3.

The equivalent sound level, L_{Aeq} of wind turbine noise varied between 42 and 44 decibels on measurement site 1. On measurement site 4, the equivalent sound level L_{Aeq} varied between 44 and 45 decibels.

Because the wind turbine noise was observed and measured to be narrow-banded, the measured results need to be increased by 5 decibels according to "Valtioneuvoston päätös 993/1992". When the increase is taken into account, the results will be 47-49 dB on site 1 and 49-50 dB on site 4.

Also, the propagation of wind turbine noise was determined with a computational model. The model was built with CadnaA 4.2 software using the calculation algorithms according to ISO-9613-2.

According to the computational modeling, the wind turbine noise exceeds the $L_{Aeq} = 40$ dB guidance value for the nearby summerhouses when the 5 dB increase for tonality is taken into account.

Computational and measured results varied less than 2 dB.

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	Mittausten aikaiset sääolosuhteet.....	4
2.6	Melutasojen laskennallinen arviointi	4
2.7	Käytettyjen menetelmien epävarmuudet	5
2.7.1	Ympäristömelumittaukset ja äänitehotasojen mittaukset.....	5
2.7.2	Laskentamallin epävarmuus.....	5
2.8	Tuulivoimaloihin sovellettavat melua koskevat määräykset ja ohjearvot	6
2.8.1	Rakennusluvan määräykset.....	6
2.8.2	Melutasojen yleiset ohjearvot	6
2.8.3	Tuulivoimarakentamisen suunnittelussa käytettävät ohjearvot.....	7
3	Tulokset	7
3.1	Tuulivoimaloiden WT3 ja WT4 äänitehotasot ja melun suuntaavuus	7
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	Laskennallisesti arvioidut melutasot	13
4	Johtopäätökset	13
5	Viitteet	14

Liite 1 – Raportti Hyundai HQ2000 tuulivoimalan melupäästöistä (Hyundai)

Liite 2 – Mittausten aikaiset sääolosuhteet

Liite 3 - TV-1, 2 MW tuulivoimalan rakentamisen poikkeamispäätös ja liite

Liite 4 – Minuutin keskiäänitasot mittauspaikoilla 1-4

Liite 5 – Melun taajuusjakauma terssikaistoittain mittauspaikoilla 1, 3 ja 4

Liite 6 – Meluvyöhykekartat: mittausten aikainen tilanne (tuulen nopeus 5 m/s), arvioitu tilanne tuulen nopeudella 8 m/s

Liite 7 - Wind turbine noise assessment, Hamina. Acoustic noise measurements, in accordance with IEC 61400-11 Edition 2.1

1 Johdanto

WSP Finland Oy teki Suomen Voima Oy:n toimeksiannosta melumittauksia Haminan Mäkelänkankaalla 4.10.2012. Mittauksilla pyrittiin selvittämään alueella sijaitsevien tuulivoimaloiden äänitehotasoja ja niiden aiheuttamia ympäristömelutasoja lähimpien häiriintyneiden kohteiden (asuin- ja vapaa-ajan rakennukset) läheisyydessä.

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

Akkreditoidun, Standardin IEC 61400-11 mukaisen tuulivoimalan äänitehotasomittauksen kahdelle voimalalle suoritti M.Sc. Hannes Furuholm WSP Akustikin Göteborgin yksiköstä (liite 5, erillinen raportti).

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 laajakaistaisesta 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 käytettävä 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 Hyundai-merkkistä tuulivoimalaa (Voimaloiden tyyppi Hyundai HQ2000-WT93). Voimaloiden napakorkeus on 100 m ja roottorin halkaisija on 93 m. Voimaloiden aiheuttaman melun takia niiden käyntiä on rajoitettu arkivuorokausille klo 08.00 – 18.00 väliselle ajalle. Voimaloiden sijainti on esitetty kuvan 1 kartassa.

Tuulivoimaloiden käyntiä rajoitettiin mittauspäivän aikana, sillä voimalan äänitehotasoa mitattaessa vain mitattava voimala saa olla käynnissä. Lisäksi alueella mitattiin taustamelutaso, jolloin kaikki voimalat olivat pois päältä. Taulukossa 1 on esitetty kunakin ajankohtana käynnissä olleet voimalat. Voimalaa WT2 ei saatu pysäytyksen jälkeen enää käyntiin (pysäytys klo 15:10).

Taulukko 1. Voimaloiden käynti mittauspäivänä.

Kellonaika	Käynnissä olevat voimalat
9:00 - 11:37	WT4
11:37 - 14:45	-
14:45 - 15:10	WT1, WT2, WT3, WT4
15:10 - 17:30	WT3
17:30 - 18:10	-
18:10 - 20:15	WT1, WT3, WT4
20:15 - >	-

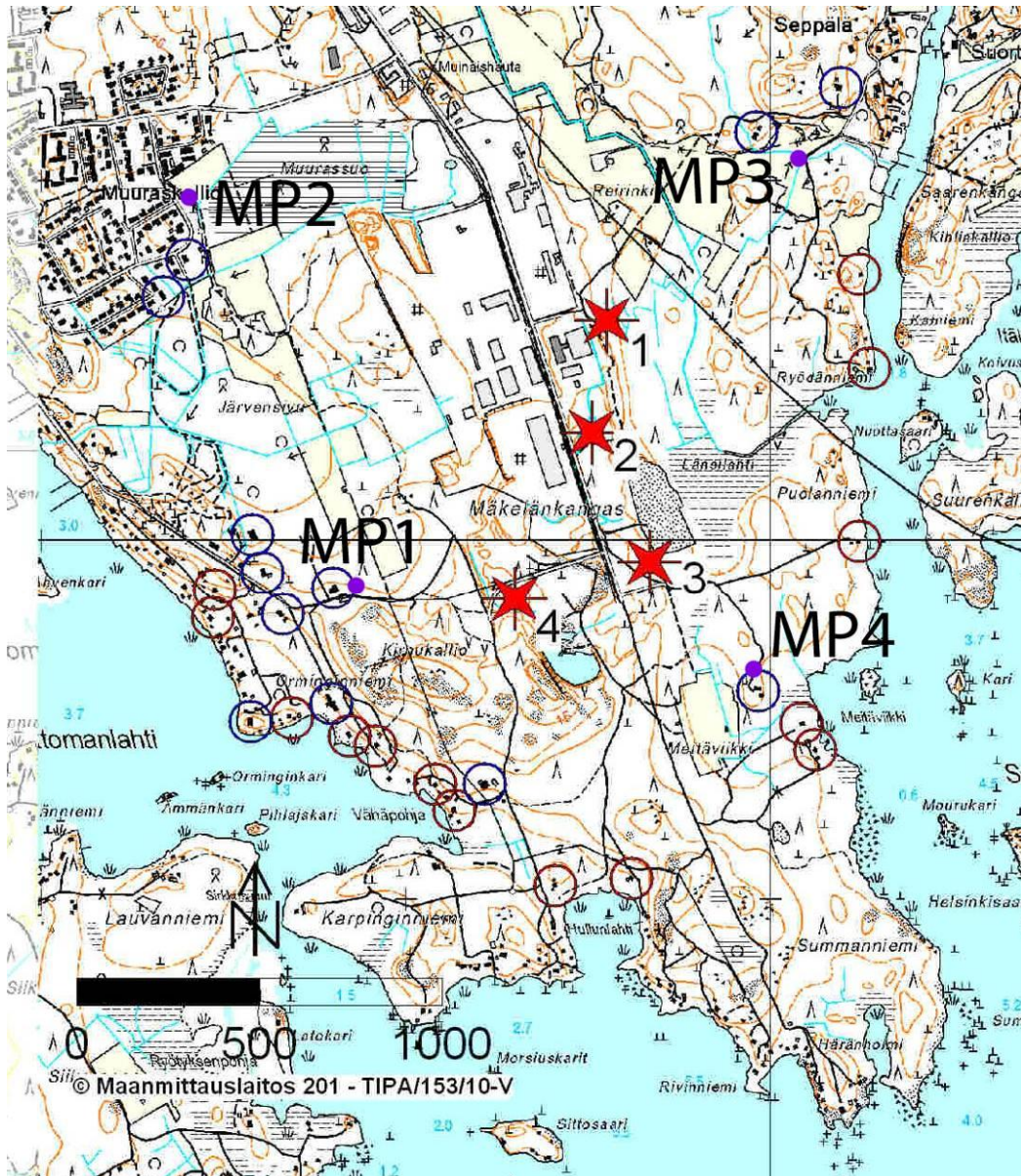
Hyundai HQ2000 tuulivoimalan äänitehotasoksi (L_{WA}) on ilmoitettu 102,0 dB tuulen nopeudella 6 m/s. Tuulivoimalan äänitehotaso nousee valmistajan mukaan 105,5 dB tasolle tuulen nopeudella 10 m/s (liite 1).

2.3 Ympäristömelumittaukset

Ympäristömelumittauksia tehtiin yhteensä 4 mittauspaikassa. Mittauspaikat valittiin tuulipuiston ympäriltä lähimpien häiriintyvien kohteiden läheisyydestä. Mittauspaikat on esitetty kuvassa 1.

Ympäristömelutasoja mitattaessa käytettiin Norsonic 131, Norsonic 140, Rion NL-32 ja Bruel & Kjaer 2250-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.

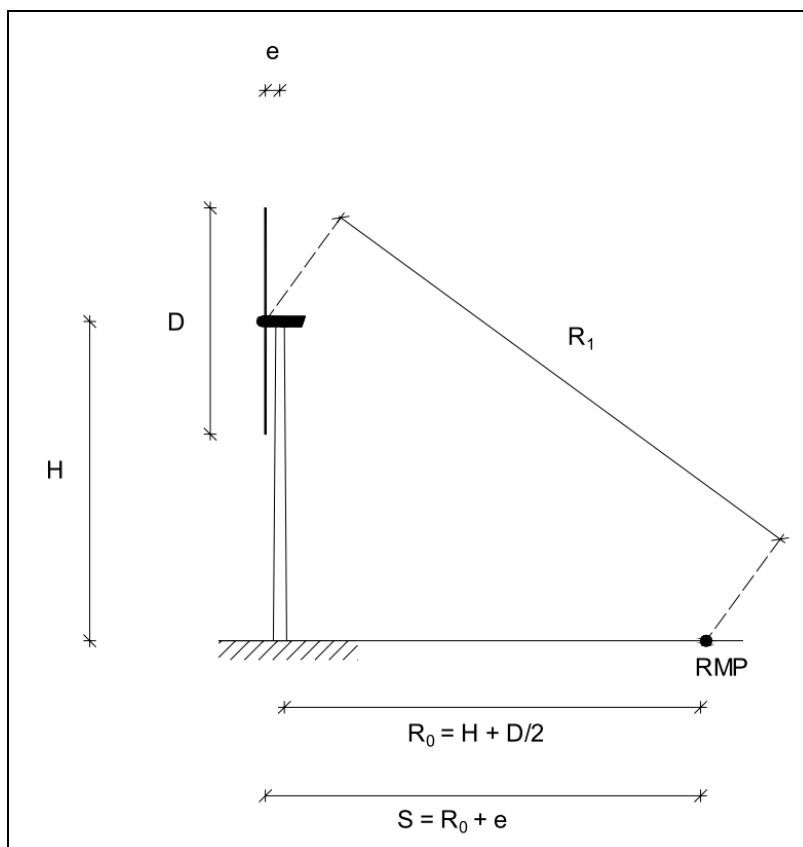


Kuva 1. Tuulivoimaloiden ja ympäristömelumittauspaikkojen sijoittuminen. Tuulivoimalat on merkitty kuvaan punaisilla tähdillä ja mittauspaikat violeteilla ympyröillä.

2.4 Äänitehotasojen mittaukset

Tuulivoimaloiden WT3 ja 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.

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



Kuva 2. Tuulivoimalan äänitehotason mittausspaikan 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 tuulivoimalan kaakkoispuolelta. Etäisyyttä voimalaan oli noin 200 metriä. Säähavainnot kerättiin 10 m korkeudelta.

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.

Äänitehotasojen mittausten yhteydessä mitattiin tuulivoimalan melupäästön suuntaavuutta WT3 tuulivoimalan läheisyydessä (suuntaavuuden osalta mittaukset eivät ole standardin IEC 61400 mukaisia). Mittaukset tehtiin noin 1,5 metrin korkeudelta NOR 140 äänitasoanalysointorilla.

2.5 Mittausten aikaiset sääolosuhteet

Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty liitteessä 2. Havaintojen perusteella mittausaikana vallitsi kuiva, pilvinen ja syksyinen sää sekä etelänpuoleinen tuuli. Mittausten aikana tuulen nopeus oli suhteellisen heikko, minkä vuoksi hyväksyttäviä äänitehotasoja saatiin vain tuulen nopeudelle 5 m/s.

2.6 Melutasojen laskennallinen arviointi

Ympäristömelun laskennallinen arviointi tehtiin standardin ISO-9613-2 mukaisiin algoritmeihin perustuvalla laskentamallilla (ISO 9613-2). Lähtöarvoina laskennassa käytettiin

mitattuja äänitehotasoja oktaavikaistoittain. Standardi sisältää algoritmit etäisyysvaimennuksen, ilmakehän absorption, maan pinnan vaikutusten ja esteiden arvioimiseen. Laskennat tehtiin Cadna A 4.2-melun laskentaohjelmalla.

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 laskentapisteitä on sijoitettu tasaisin välein 5 metrin etäisyydelle ja 2 metrin korkeudelle maan pinnan tasosta.

Laskennallisessa arvioinnissa voimaloiden äänitehotasoina käytettiin Mäkelänkankaalla mitattuja äänitehotason arvoja oktaavikaistoittain. Voimaloiden äänitehotasot oktaavikaistoittain on esitetty luvun 3 taulukossa 3.

2.7 Käytettyjen menetelmien epävarmuudet

2.7.1 Ympäristömelumittaukset ja äänitehotasojen mittaukset

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).

Arvioimme, että standardin IEC 61400 mukaisten äänitehotasojen mittauksen epävarmuus on pienempi kuin 1,2 dB.

2.7.2 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.

2.8 Tuulivoimaloihin sovellettavat melua koskevat määräykset ja ohjearvot

2.8.1 Rakennusluvan määräykset

Mäkelänkankaan tuulivoimaloilta ei ole edellytetty ympäristölupaa. Tuulivoimalan 1 poikkeamispäätöksen (Haminan kaupunki 2010, liite 3) lisätiedoissa tuulivoimaloiden meluselvityksestä on esitetty seuraavaa:

”Meluselvitys:

Hankkeesta on tehty melumallinnus, jonka mukaan hankkeen meluvaikutukset eivät ylitä valtioneuvoston päätöksen (993/92) mukaisia melutasojen ohjearvoja pysyvän asutuksen osalta (yömelun ohjearvo < 50 dB) eivätkä loma-asuntojen osalta (yömelun ohjearvo < 40 dB). Melumallinnuskartta on hakeumuksen liitteenä ja nähtävänä kokouksessa”.

Poikkeamislupapäätöksen liitteenä on ollut melulaskennan tulokset tuulivoimaloiden aiheuttamasta keskiäänitasosta (liite 3).

Tuulivoimaloiden rakennusluvassa on viitattu edellä esitettyyn poikkeamispäätökseen ja siinä esitettyihin melun raja-arvioihin.

2.8.2 Melutasojen yleiset ohjearvot

Valtioneuvoston päätöksessä (993/1992) on annettu maankäytön ja rakentamisen, liikenteen suunnittelussa ja rakentamisen lupamenettelyssä sovellettavat melutason ohjearvot. Näitä ohjearvoja sovelletaan myös ympäristölupaharkinnassa (taulukko 2).

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

Taulukko 2. Melutason yleiset ohjearvot (Vnp 993/1992).

Alueen kuvaus	Päiväajan (klo 7 – 22) keskiäänitason ohjearvot	Yöajan (klo 22 – 7) keskiäänitason ohjearvot
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		
Asuin-, potilas- ja majoitushuoneet	35 dB	30 dB
Opetus- ja kokoustilat	35 dB	-
Liike- ja toimistohuoneet	45 dB	-

1) Uusilla alueilla melutason yöohjearvo on 45 dB.

2) Oppilaitoksia palvelevilla alueilla ei sovelleta yöohjearvoa.

- 3) Yöohjearvoa 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.

2.8.3 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 3).

Taulukko 3. 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 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 WT3 ja WT4 äänitehotasot ja melun suuntaavuus

Mittausten aikana tuuli oli suhteellisen heikkoa minkä vuoksi hyväksyttäviä mittaustuloksia saatiin vain tuulen nopeudelle 5 m/s. Tällä tuulen nopeudella molempien tuulivoimaloiden äänitehotasoksi mitattiin noin 104 dB (taulukko 4).

Taulukko 4. Tuulivoimaloille WT3 ja WT4 mitatut A-painotetut äänitehotasot oktaavikais-toittain sekä kokonaisäänitehotaso (L_{WA} , dB) tuulen nopeudella 5 m/s .

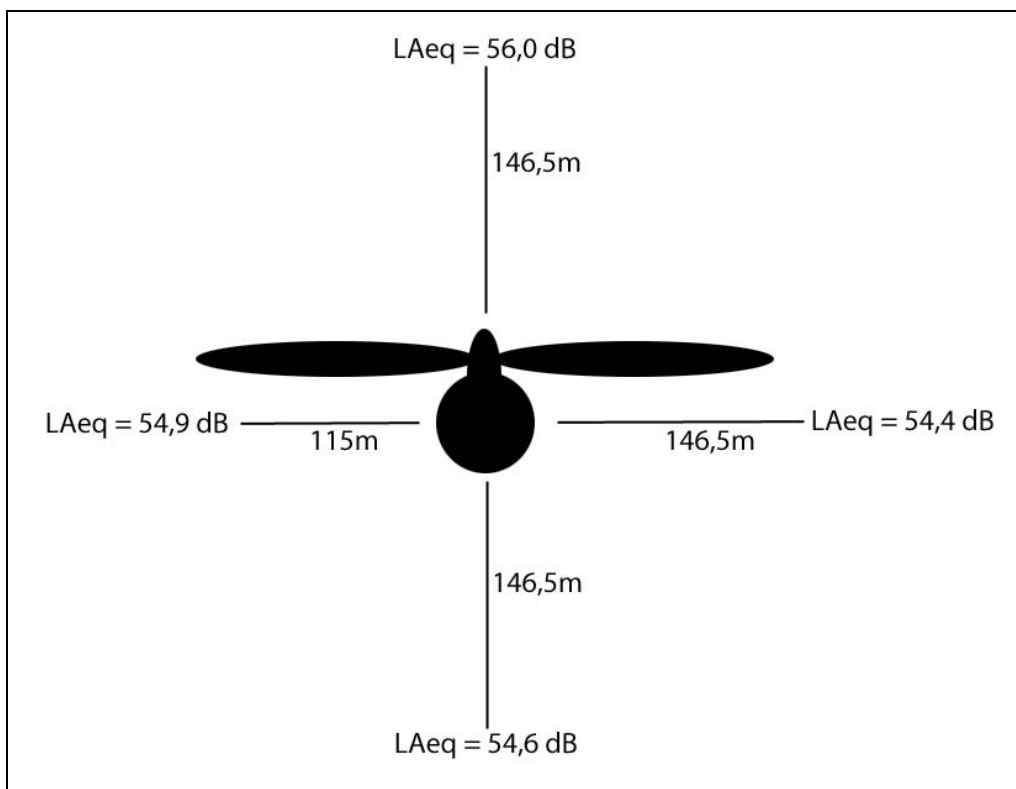
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	L_{WA}
WT3	67,2	79,7	90,4	101,8	96,4	95,5	93,4	85,4	104,3
WT4	69,8	82,9	92,5	100,8	97,6	95,8	92,8	84	104,1

Tuulivoimaloille WT 3 ja WT4 mitatut äänitehotasot tuulen nopeudella 5 m/s olivat yli 2 dB suurempia kuin tuulivoimalavalmistajan ilmoittama äänitehotaso tuulennopeudella 6 m/s. Edellä mainittu ero äänitehotasoissa olisi ollut vielä suurempi, jos mittausten aikainen tuulen nopeus olisi ollut voimakkaampi.

Valmistajan ilmoittamien päästöarvojen ja tehtyjen mittausten perusteella arvioimme, että tuulivoimaloiden melupäästöt voivat olla tuulen nopeudella > 8 m/s noin 3 dB suurempia kuin mitatut melupäästöt. Tällöin tuulivoimaloiden äänitehotasot olisivat noin 107 dB (L_{WA}).

Mittausten yhteydessä tutkittiin tuulivoimalan melun suuntautumista. Tuulivoimalan melua mitattiin samalta etäisyydeltä kaikista päällmansuunnista noin 20 minuutin ajan kerrallaan. Kuvan 3 tuloksista voidaan havaita, että lähellä voimalaa sen synnyttämä melu on voimalan roottorin puolella n 1,5 dB korkeampi kuin muissa suunnissa. Muissa suunnissa voimalan synnyttämä melu on keskenään samaa suuruusluokkaa.

Äänitehotasojen mittausraportti on raportin liitteenä 7.



Kuva 3. Tuulivoimalan WT3 aiheuttamat melutasot (L_pA , vapaakenttäarvo) eri suunnissa lähellä voimalaa.

3.2 Ympäristömelumittaukset

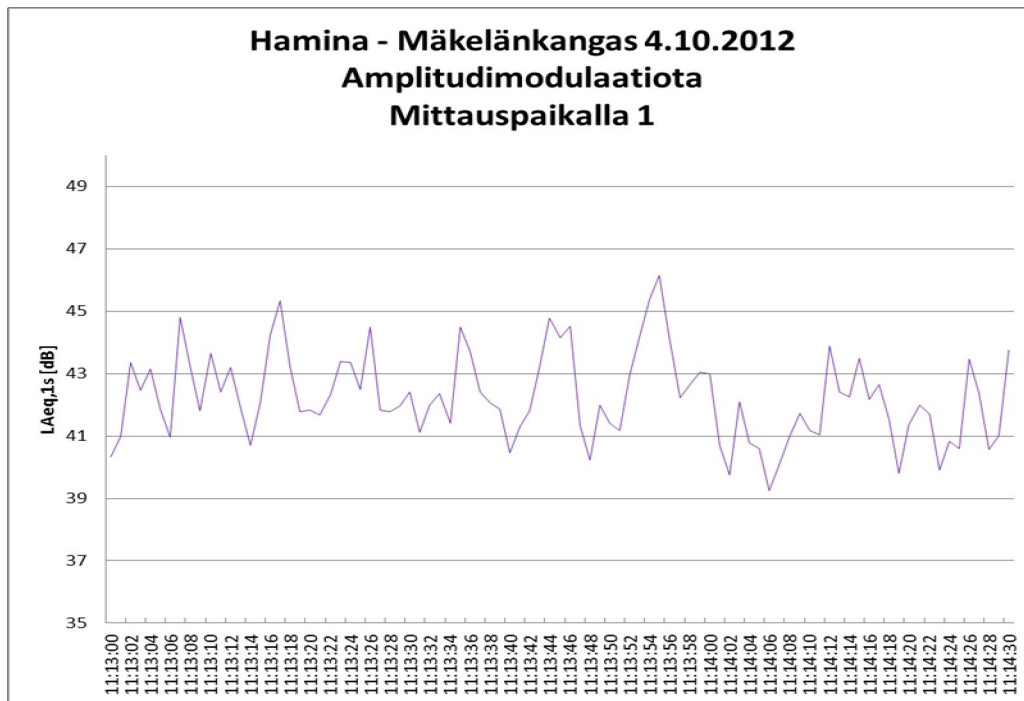
3.2.1 Mittauspaikka 1

Mittauspaikka 1 sijaitsi Kirmukalliontien varrella noin 500 metrin etäisyydellä lähimmästä voimalasta (WT4). Havaintojen perusteella voimalan ääni erottui mittauspaikalle hyvin selkeästi. Muista häiriöääniä mittauspaikalla havaittiin suhteellisen vähän. Voimalalle WT4 on mittauspaikalta näköyhteys.

Mittauspaikassa 1 mitatut minuutin keskiäänitasot on esitetty liitteen 4 sivulla 1.

Mittauspaikalla havaittiin voimalasta WT4 peräisin olevaa amplitudimodulaatiota (amplitudin muuttumista ajan funktiona), joka on esitetty kuvassa 4.

Kun voimalan aiheuttamaa melua tutkittiin taajuustasossa, havaittiin, että voimala synnyttää voimakkaan piikin 200 Hz:n terssikaistalla. Tämän tiedon ja kuulohavainnon perusteella voimalan synnyttämän äänen voidaan todeta olevan kapeakaistaista. (Mittauspaikoilla mitatut terssikaistat on esitetty liitteessä 5).



Kuva 4. Sekunnin keskiäänitasoja mittauspaikalla 1.



Kuva 5. Näkymä mittauspaikalta 1 voimaloiden suuntaan.

3.2.2 Mittauspaikka 2

Mittauspaikka 2 sijaitsi Muurastien varrella Väkäkujan päässä noin 1200 metrin etäisyydellä lähimmästä voimalasta (WT1). Havaintojen perusteella voimaloiden melu erottui vaivoin vallitsevasta taustamelusta. Mittauspaikalle kantautui asuinalueen elämisen ääniä, ohiajavien autojen ääniä jne. Mittaustuloksista onkin vaikea arvioida tuulivoimaloiden vaikutusta mittaustuloksiin.

Mittauspaikassa 2 mitatut minuutin keskiäänitasot on esitetty liitteen 4 sivulla 2.

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 sahalaitoksella ei ollut toimintaa).

Havaintojen perusteella tuulivoimalan ääni kuuluu selkeästi humisevana ja syklisten äänenä. Lisäksi melusta erottuu kapeakaistainen komponentti. Voimalan melu erottuu selkeästi ja hallitsee äänimaisemaa. Päiväaikana sahalaitoksen todettiin aiheuttavan merkittävimmän melun mittauspaikalle 3 (erottuu mittaustuloksissa).

Mittauspaikassa 3 mitatut minuutin keskiäänitasot on esitetty liitteen 4 sivulla 3.

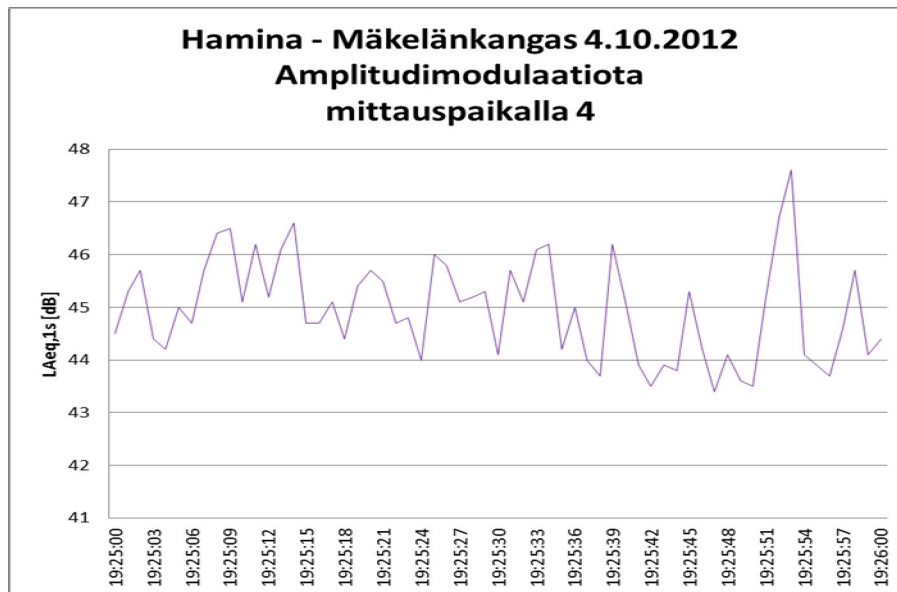
Kun voimalan aiheuttamaa melua tutkittiin taajuustasossa, havaittiin, että voimala synnyttää piikit 50 Hz ja 200 Hz:n terssikaistoilla. Mittaustulosten perusteella kapeakaistaisuutta on kuitenkin vähemmän kuin mittauspaikoilla 1 ja 4. (Mittauspaikoilla mitatut terssikaistat esitetty liitteessä 4).



Kuva 6. Näkymä mittauspaikalta 3 voimaloiden suuntaan. Voimaloiden sijainti on esitetty punaisilla nuolilla. Voimalat eivät kunnolla erotu puiden takaa.

3.2.4 Mittauspaikka 4

Mittauspaikka 4 sijaitsi Mäkelänkankaantien varrella noin 500 metrin etäisyydellä voimalasta WT3 kaakkoon. Myös mittauspaikalla 4 tulivoimaloiden äänen todettiin olevan amplitudimoduloitunutta ja kapeakaistaista (piikki 200 Hz kohdalla). Havaintojen perusteella voimaloiden ääni erottui mittauspaikalle hyvin selkeästi.



Kuva 7. Sekunnin keskiäänitasoja mittauspaikalla 4.



Kuva 8. Näkymä mittauspaikalta 4 voimaloiden suuntaan.

Mittauspaikoilla mitattuja keskiäänitasoja on esitetty taulukossa 4. Mittauspaikan 2 tuloksista ei voitu todeta tuulivoimaloiden vaikutusta, joten tälle mittauspaikalle ei ole laskettu keskiäänitason arvoja. Mittauspaikan 3 tuloksista voidaan tuulivoimaloista peräisin olevan melu todeta ainoastaan ilta-aikana, sillä päiväaikana alueella melua syntyi muista lähteistä.

Taulukko 5. Tuulivoimaloiden aiheuttamia keskiäänitasoja. Mittauspaikalla 2 tuulivoimalan aiheuttamia melutasoja ei voitu erottaa taustatasosta.

Kellonaika	Käynnissä olevat voimalat	MP1 LAeq [dB]	MP2 LAeq [dB]	MP3 LAeq [dB]	MP4 LAeq [dB]
11:05-11:30	WT4	42,7	-	-	-
14:45-15:10	WT1-WT4	41,9	-	-	43,7
15:20-17:25	WT3	38,6	-	-	44,3
18:10-19:10	WT1,WT3,WT4	-	-	-	45,4
18:50-19:40	WT1,WT3,WT4	43,8	-	-	-
19:50-20:00	WT1,WT3,WT4	-	-	38,1	-

Mittaustuloksista voidaan havaita, että mittauspaikoilla 1 ja 4 todetut melutasot eivät olleet suurimpia klo 14:45 – 15:10, jolloin kaikki tuulivoimalat olivat toiminnassa. Tämä johtuu siitä, että sääolosuhteiden aiheuttama vaihtelu melutasoissa on suurempi kuin tuulivoimaloiden samanaikaisten melupäästöjen vaikutus mittauspaikan melutasoihin.

Koska tuulivoimaloiden melu tulkittiin kuulohavaintojen ja mittausten perusteella kaapekaistaiseksi mittauspaikoilla 1 ja 4, tulee mittaustuloksiin lisätä +5 dB korjaus ennen tulosten vertaamista melulle asetettuihin ohjearvioihin.

3.3 Laskennallisesti arvioidut melutasot

Laskennallisesti arvioidut melutasot vastasivat hyvin mittauspaikoilla 1, 3 ja 4 mitattuja melutasoja (taulukko 6). Mittaustulosten vertailu on tehty mittausjakson klo 14:45 -15:10 aikaisiin tuloksiin, jolloin kaikki tuulivoimalat olivat toiminnassa. Verrattaessa tuloksia muiden jaksojen melutasoihin (taulukko 4) voidaan todeta, että tulokset poikkeavat toisistaan $< \pm 2$ dB.

Laskennallisesti arvioitu meluvyöhykekartta on esitetty liitteen 6 sivulla 1.

Taulukko 6. Laskennallisen arvioinnin tulokset ja vertailu mittaustuloksiin.

	Laskennallinen arvo [dB]	Mitattu arvo [dB]	Käynnissä olevat voimalat
MP1	42,1	41,9	WT1-WT4
MP2	33,6	-	WT1-WT4
MP3	38,5	-	WT1-WT4
MP4	43,6	43,7	WT1-WT4
MP3	37,3	38,1	WT1,WT3, WT4

Melutasoja arvioitiin laskennallisesti myös tilanteeseen, jossa tuulivoimaloiden melupäästönä käytettiin 107,1 dB ja 107,4 dB. Arvioimme mukaan tämä vastaa nykyistä tilannetta, jossa tuulen nopeus on noin 8 m/s. Tässä tilanteessa tuulivoimaloiden aiheuttamat melun keskiäänitasot lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuinrakennusten etäisyydellä olivat 44 – 45 dB (liite 6, sivu 2).

4 Johtopäätökset

Tuulivoimaloille WT 3 ja WT4 mitatut äänitehotasot tuulen nopeudella 5 m/s olivat yli 2 dB suurempia kuin tuulivoimalavalmistajan ilmoittama äänitehotaso tuulennopeudella 6 m/s. Edellä mainittu ero äänitehotasoissa olisi ollut vielä suurempi, jos mittausten aikainen tuulen nopeus olisi ollut korkeampi.

Mittausten perusteella tuulivoimaloiden aiheuttama nykyinen melupäästö on suurempi kuin valmistajan ilmoittama melupäästö. Valmistajan ilmoittamien päästöarvojen ja tehtyjen mittausten perusteella arvioimme, että tuulivoimaloiden melupäästöt voivat olla tuulen nopeudella > 8 m/s noin 3 dB suurempia kuin mitatut melupäästöt. Tällöin tuulivoimaloiden äänitehotasot olisivat noin 107 dB (L_{WA}).

Tuulivoimaloiden aiheuttamassa melussa on mukana kapeakaistaisia taajuuksia. Tämä melun kapeakaistaisuus todettiin äänitehotasojen mittauksissa ja myös kauempana tehdyissä ympäristömelumittauksissa. Päästömittauksissa tuulivoimalan WT3 melupäästö todettiin erityisen kapeakaistaiseksi.

Tuulipuiston ympäristössä tehtyjen mittaustulosten perusteella melu voidaan tulkita kapeakaistaiseksi ainakin mittauspaikoilla 1 ja 4, minkä vuoksi mitattuihin ja laskennallisesti arvoituihin tuloksiin tulee tehdä + 5 dB lisäys kapeakaistaisuuden vuoksi ennen tulosten vertaamista melulle annettuihin ohjearvotasoihin ja lupamääräyksiin.

Tuulivoimalan WT3 aiheuttama melu suuntautui myös tuulivoimalan etupuolelle (tuulen puolelle). WT3 tuulivoimalan etupuolelta mitattiin yli 1,5 dB suurempia melutasoja kuin myötätuulen puolelta ja tuulivoimalan sivujen puolelta.

Havaintojen ja mittaustulosten perusteella tuulivoimalan WT4 aiheuttama melu erottuu selvästi mittauspaikalle 1. Myös voimalan WT3 äänen todettiin erottuvan mittauspaikalle 1. Tuulivoimaloiden aiheuttaman melun todettiin olevan mittauspaikalla 1 kapeakaistaista 200 Hz terssikaistalla, jonka takia mittaustulokseen tulee tehdä +5 dB kapeakaistaisuuskorjaus. Mittauspaikalla 1 tuulivoimaloiden aiheuttama toiminnan aikainen keskiäänitaso

(50 minuutin keskiäänitaso) oli noin 49 dB, kun mitattuihin tasoihin oli lisätty kapeakaistaisuuden aiheuttama +5 dB lisäys.

Mittauspaikalle 2 tuulivoimaloiden synnyttämä ääni erottui vain vaivoin eikä mittaustulokista voitu erottaa tuulivoimaloiden osuutta kokonaisäänitasosta.

Mittauspaikalle 3 erottuu selkeimmin voimalan WT1 synnyttämä ääni. Havaintojen ja mitaustulosten perusteella voimaloiden synnyttämässä äänessä on vähemmän kapeakaistaisuutta kuin todettiin mittauspaikoilla 1 ja 4.

Mittauspaikalle 4 erottui selkeimmin voimaloiden WT3 ja WT4 synnyttämät äänet. Havaintojen ja mitaustulosten perusteella voimaloiden synnyttämä ääni mittauspaikalle oli kapeakaistaista, joten mitaustulokseen tulee tehdä +5 dB kapeakaistaisuuskorjaus. Kun kapeakaistaisuuskorjaus otetaan huomioon, oli paikalla 4 mitattu keskiäänitaso suurimmillaan noin 50 dB (1 tunnin keskiäänitaso).

Laskennallisesti arvioidut melutasot poikkesivat mitatuista melutasoista vähemmän kuin ± 2 dB. Laskennallisen arvioinnin perusteella tuulivoimaloiden aiheuttama melu ylittää nykyisessä tilanteessa lähimpien loma-asuinrakennusten kohdalla niille annetun 40 dB yöaikaisen keskiäänitason raja-arvon, kun tarkastelussa otetaan huomioon melun kapeakaistaisuus ja tuulivoimaloille arvioitu melupäästö. Vakituiseen asumiseen käytettävien rakennusten kohdalla laskennallisesti arvioidut melutasot jäävät lupamääräyksen (50 dB yöaikainen keskiäänitaso) mukaiselle tasolle, kun tarkastelussa otetaan huomioon melun kapeakaistaisuus ja tuulivoimaloille arvioitu melupäästö.

5 Viitteet

Haminan kaupunki 2010: Poikkeamispäätös. Hakemusnumero 2010-0019. Päätöspäivä 16.12.2010. § 115.

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.

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 24.10.2012

Tampere 24.10.2012



Tuukka Lyly
WSP Finland Oy



Ilkka Niskanen
WSP Finland Oy

Supply Document & Deliverables	POS. No.	W02-BID-002
	Revision No.	A
	Page	1 / 8

Project : HQ2000

Title : Acoustic Noise Emission

E					
D					
C					
B					
A	2010. 09. 15.	New documentation	K. KIM	Y. W. KIM	S. H. CHO

Supply Document & Deliverables			POS. No.	W02-BID-002	
			Revision No.	A	
			Page	2 / 8	
Rev. No.	Date	Description	Prepared by	Reviewed by	Approved by

Supply Document & Deliverables	POS. No.	W02-BID-002
	Revision No.	A
	Page	3 / 8

Contents

1. Situation and Task description.....	3
2. Documents	3
3. Measurement procedure	4
4. Measurement results	6
5. Directionality	7
6. Evaluation of the findings	7

Supply Document & Deliverables

POS. No.

W02-BID-002

Revision No.

A

Page

4 / 8

1. Situation and Task description

Hyundai Heavy Industries installed a type HQ2000 Wind Turbine Generator (WTG) at Kunsan, Korea.

Within the context of the quality assurance and in order to achieve the best possible planning security for future installations, sound level measurements should be performed on the WTG to determine the sound power levels.

2. Documents

Following documents have been used for the measurements and evaluations:

IEC 61400-11(2nd Ed) Wind Turbine Generator Systems, Part 11 : Acoustic Noise Measurement Techniques, December 2002

Supply Document & Deliverables

POS. No.

W02-BID-002

Revision No.

A

Page

5 / 8

3. Measurement Procedure

3.1 Measurement duration and operating status

During the measurements, following weather conditions were encountered:

- clear skies
- no precipitations
- temperature: around 31°C
- wind speed : max. 13 m/s

The equipment was according to the company Hyundai Heavy Industries in normal operation. Because of the comparatively high wind speed, the equipment reached at times its maximal output of 2000 kW.

3.2 Measurement instruments

Designation	Type	Manufacturer
Real time and FFT analyser	830	Brüel & Kjaer
8-channel data recorder	TC 208 A	Sony
8-channel power supply	5963	Brüel & Kjaer
Universal sound level meter	110	Norsonic Tippkemper GmbH
Preamplifier ½"	2639 T	Brüel & Kjaer
Condensation microphone ½"	2639 T	Brüel & Kjaer
Calibrator	4230	Brüel & Kjaer

Table 1 : Measurement instruments information

The used measurement equipments meet the DIN IEC 651 Class1 and DIN 45669-1 standards. The measurement devices have been accurately calibrated before and after the measurements.

For the power registration the data was recorded through a data logger on the WTG(SCADA).

Supply Document & Deliverables	POS. No.	W02-BID-002
	Revision No.	A
	Page	6 / 8

3.3 Measurement method

The measurements were performed by Hyundai Heavy Industries according to the guidelines in IEC 61400-11, Wind Turbine Generator Systems part 11: acoustic noise measurement techniques.

According to this method, the sound level in the area near the wind turbine generator is being investigated in order to minimize its influence on the country area, environmental impacts and wind induced noise. To include the dimensions of the wind turbine generator, a reference distance R_0 depending on the size of the WTG is being measured.

The apparent sound power level (L_{WA}) is being calculated from the measured sound pressure level $L_{Aeq,C}$ at the reference point (with correction for external noise) and a distance dependant correction according to the formula

$$L_{WA} = L_{Aeq,c} + 50.0 \text{ dB}$$

The measurements are being done according to the standards with a microphone on a soundproof board on the ground, in order to reduce the wind induced noises on the microphone and to reduce the influence of the different ground characteristics.

The sound pressure level and wind speed are registered simultaneously in short time intervals and the largest possible wind speed range. Hereto, the wind speeds are measured at the reference height of 10m. The sound pressure level at the acoustic reference speed of 8m/s is determined through a regression coefficient of the calculation of the sound pressure level against the wind speed.

The directionality is determined through a comparison of the A-rate sound pressure level at 3 additional measuring positions around the Wind Turbine Generator and at the measured reference point.

Supply Document & Deliverables

POS. No.

W02-BID-002

Revision No.

A

Page

7 / 8

4. Measurement results

4.1 Preliminary remark

According to IEC 61400-11, Wind turbine generator systems, part 11 acoustic noise measurement techniques, it is recommended to determine the wind speed at the originating electrical power source.

The power curve reflects the dependence of the power on the average wind speed in the surface covered by the rotor. The correlation between the measured sound pressure level and the measured power output is very high when reaching the maximal power output.

As the above mentioned operation only can be achieved with a measured WTG (has been measured in the past), the wind speed during operation 2 (measurement of the wind speed at a height of 10 m) has been performed.

4.2 Sound pressure level

Because of the external noise situation and the completed measurements regarding the external noise (factory), this influence must be taken into account. In the frequency reach <2000Hz, which is not relevant for the calculation of the global sound level curve, in the spectrum there is an influence of the noise.

If, according to the standards of IEC 61400 a linear regression is being done, then following emission relevant sound pressure level at the reference wind speed of 8m/s is achieved:

$$L_{WA} = 104.0\text{dB(A)}$$

The classification of the measured data in so-called wind classes (Bins), an arithmetic averaging of the wind speeds and an energetic averaging of the sound pressure level give an identical value for the emission relevant sound level.

Following table shows a list of sound pressure levels in different wind classes with or without operation of the WTG.

Wind speed (m/s)	6	7	8	9	10
Sound pressure level L_{WA} (dB(A))	52.0	53.5	54.0	55.0	55.5

Table 2 : Sound pressure level in dB(A) at reference point depending on the wind speed

Average value of the sound pressure has been determines with less than 3 value couples.

The result is subsequently listed as relevant emission of sound power level with external noise correction for the individual classes wind

Wind speed (m/s)	6	7	8	9	10
Sound power level L_{WA} (dB(A))	102.0	103.5	104.0	105.0	105.5

Table 3 : Emission relevant sound power level in dB(A) (with external noise correction) at the corresponding wind speeds

Supply Document & Deliverables

POS. No.

W02-BID-002

Revision No.

A

Page

8 / 8

5. Directionality

For the investigations regarding the directionality, measurements at the measurement points 2 to 4 have been compared with the measurements that were taken at the same time of the A-determined sound pressure levels at reference point 1.

From the measured values it was not possible to determine a definite ruling regarding the directionality.

6. Evaluation

To determine the relevant emission of sound pressure levels in the wind turbine generator HQ2000 at the Kunsan location, the sound emission measurements have been completed based on IEC 61400.

The findings show a relevant sound power level for the wind turbine generator of

$$L_{WA} = 104.0 \text{ dB(A)}$$

An addition for tonality is not to be considered.

The possible fault for the determination of the sound power level can be evaluated to a value of 2 dB.

Liite 2 - Sääolosuhteet 4.10.2012

Kellon- aika	Tuulen suunta	Tuulen nopeus m/s	Lämpö- tila °C	Ilman kosteus %	Ilman- paine hPa
9:00:00	147	4	11,9	84,3	1008,9
9:15:00	141	4,1	12	83,4	1008,5
9:30:00	157	3,3	11,8	85	1008,5
9:45:00	141	2,1	11,9	85,3	1008,6
10:00:00	139	5,1	12	85,8	1008,3
10:15:00	154	4,1	12,1	86,2	1008
10:30:00	154	1,8	12,1	87,1	1008
10:45:00	146	2,4	12,2	88	1007,9
11:00:00	148	3	12,2	87,4	1008,3
11:15:00	143	5,4	12	86,8	1008
11:30:00	156	4,6	12	85,8	1008
11:45:00	142	4,1	12,1	86,3	1008
12:00:00	158	2,1	11,9	87,7	1007,9
12:15:00	152	4,4	12	86,1	1008
12:30:00	154	3,7	12	86	1007,8
12:45:00	152	3,2	12	86	1007,7
13:00:00	147	5,4	11,9	86,4	1007,5
13:15:00	149	1,8	12,1	85,8	1007,6
13:30:00	156	2,4	12,3	85,7	1007,3
13:45:00	151	4,6	12,5	86,2	1007,3
14:00:00	143	1,7	12,2	88,3	1007,3
14:15:00	163	2,1	12,4	87,2	1007,2
14:30:00	148	3,6	12,6	87,1	1007,3
14:45:00	149	2,1	12,6	87,5	1007
15:00:00	139	2,3	12,7	87	1007
15:15:00	147	2,2	12,4	87,9	1007
15:30:00	146	2,7	12,4	88,5	1007,1
15:45:00	155	2,9	12,6	87,7	1006,4
16:00:00	156	1,3	12,6	87,2	1006,7
16:15:00	161	2,6	12,3	88,9	1006,3
16:30:00	159	3,4	12,3	89,1	1006,8
16:45:00	145	3,5	12,3	88,4	1007,3
17:00:00	143	3,3	12,3	86,9	1006,9
17:15:00	138	5	12,3	85,2	1006
17:30:00	154	2,9	12,2	87,3	1006,2
17:45:00	151	4,2	12,2	86,3	1006
18:00:00	177	2,7	12,3	86,9	1005,9
18:15:00	155	3,2	12,5	85,8	1006,2

Hakemusnumero 2010-0019 Päätöspäivä 16.12.2010 § 115

Hakija

Nimi Haminan kaupunki
Lähiosoite Puistokatu 2
Postitoimipaikka 49400 HAMINA

Rakennuspaikka

Kunta Hamina
Kaupunginosa / kylä Summa
RN:o 6:140
Tilan nimi Länsilahti
Rakennuspaikan osoite Tinatie 3
49490 NEUVOTON
Pinta-ala 10000,00 m²

Rakennustoimenpide TV-1, 2 MW tuulivoimalan rakentaminen.
Voimala sijoittuu n. 550 metrin päähän lähimmästä omakotitalosta ja n. 700 metrin päähän lähimmästä loma-asunnosta.

Toimenpide eriteltynä rakennuksittain:

Käyttötarkoitus	Kerrosala m ²	Kerrosluku	As. lkm
Yhdyskuntatekniikan rak.	54,00		0

Selostus poikkeamisesta Asemakaavassa osoitetun rakennuksen enimmäiskorkeuden ylittäminen.
Tuulivoimalan napakorkeus on 100 m ja roottorikehän halkaisija 93 m. Kaavassa osoitettu rakennuksen enimmäiskorkeus on 15 metriä.

Hakemuksen perustelut Tuulivoimaloita tarvitaan uusiutuvan energiantuotannon tarpeisiin. Asemakaavassa rakennuspaikka on osoitettu teollisuus- ja varastorakennusten korttelialueeksi (T, e=0,40).

Voimaloista aiheutuvat melu- ja varjovälkevaikutukset on selvitetty, ks. liitteet.
Ei aiheuta haittaa kaavoitukselle, kaavan toteuttamiselle tai alueiden käytön muulle järjestämiselle.
Ei vaikeuta luonnonsuojelun tavoitteiden saavuttamista.
Ei vaikeuta rakennetun ympäristön suojelemista koskevien tavoitteiden saavuttamista.

Rakennuspaikalle on yhteys kadulta. Voimala ei tarvitse vesi- tai viemäriliittymää.

Lisätiedot

Meluserveys:

Hankkeesta on tehty melumallinnus, jonka mukaan hankkeen meluvaikutukset eivät ylitä valtioneuvoston päätöksen (993/92) mukaisia melutason ohjearvoja pysyvän asutuksen osalta (yömelun ohjearvo < 50 dB) eivätkä loma-asuntojen osalta (yömelun ohjearvo < 40 dB). Melumallinnuskartta on hakemuksen liitteenä ja nähtävänä kokouksessa.

Varjovälkeselvitys:

Hankkeesta on tehty varjovälkemallinnus. Kohtuuttomalle varjostuksen määrälle ei ole ohjearvoa. Käytännössä on kohtuuttoman rajana alettu pitää 30 tuntia vuodessa. Jos samaan paikkaan osuu useamman voimalan siipien varjo, lasketaan altistusajat yhteen.

Hakemuksen liitteenä olevasta mallinnuskartasta näkyy, ettei suunniteltujen voimaloiden varjostus ylitä 30 tuntia yhdenkään asuinrakennuksen kohdalla. Kartta on nähtävänä kokouksessa.

Melumittaus:

WSP Finland Oy on suorittanut alueella melumittauksia kahdessa pisteessä 17. - 18.11.2010. Mittauspaikka 1 sijaitsi Muurastien ja mittauspaikka 2 Kirnukalliontien läheisyydessä.

Mittaus tulosten perusteella taustamelun ja arvioidun tuulivoimaloiden aiheuttaman melun yhteisvaikutuksena syntyvä melu ei ylitä pysyvän asutuksen melutason ohjearvoja.

Mittausraportti on kokonaisuudessaan nähtävänä kokouksessa.

Tuulivoimalan aiheuttaman ympäristömelun arviointi

Rauno Hyytiäinen Neuvottomasta on toimittanut rakennusvalvontaan 7.12.2010 Promethor / Vesa Viljasen laatiman raportin "Tuulivoimalan aiheuttaman ympäristömelun arviointi".

Raportti on nähtävänä kokouksessa.

Ympäristöpäällikön lausunto tehdyistä meluselvityksistä:

Lausunto on nähtävänä kokouksessa.

Hakijan vastine hankkeesta tehtyihin huomautuksiin:

Vastineessaan luvan hakija katsoo, että saatujen selvitysten perusteella tuulivoimaloista ei aiheudu asutukselle tai muulle ympäristölle nykytilaan verrattuna mitään sellaista haittaa, joka estäisi haettujen lupien myöntämistä esitetystä muodosta. Hakija ilmoittaa myös, että mahdollisten meluhaittojen vähentämiseksi entisestään on kolmea voimalaa vielä siirretty kauemmaksi asutuksesta. Hakijan vastine kokonaisuudessaan on nähtävänä kokouksessa.

Liitteet

- Asemapiirros
- Selvitys omistus- ja hallintaoikeudesta
- Selvitys kuulemisesta
- Ote asemakaavasta
- ELY-keskus/YVA päätös 26.11.2010
- Finavian lausunto lokakuu 2010
- Ympäristölautakunnan lausunto

Lausunnot ja naapurien kuuleminen

Kaavoitusarkkitehdin lausunto

Tuulivoimalan suunniteltu sijoittaminen Mäkelänkankaan teollisuusalueelle ei tuo merkittävää muutosta suurmaisemaan. Alueelle on suunniteltu keskitettävän viisi muutakin tuulivoimalaa. Lisäksi lähitöllä, Summanlahden toisella puolella toimii jo yhteensä neljä tuulivoimalaa. Teollisuusalue soveltuu hyvin tuulivoimaloiden rakentamiseen ja siellä on jo olemassa tieverkosto.

Voimassa olevassa asemakaavassa suunniteltu sijoituspaikka on teollisuus- ja varastorakennusten korttelialuetta (T). Tuulivoimala on uusiutuvan energian tuotantorakennus ja sen käyttötarkoitus kaavan mukainen. Ottaen huomioon alueen maiseman mittakaavan ja että kyseessä on ison rakennusmassan sijasta pistemäinen, pienen kerrosalan käyttävä tuulivoimala, asemakaavassa osoitetun enimmäiskorkeuden ylittäminen ei ole kohtuuton. Lisäksi teollisuusalue on metsän ympäröimää, jolloin tuulivoimalat tulevat näkymään suurmaisemassa metsän yli taivasta vasten. Mahdolliset suhteellisen pienet etäisyydet viereisiin teollisuus- ja varastorakennuksiin tulee sen sijaan huomioida jatkosuunnittelussa.

Koska poikkeaminen ei MRL 172 § tarkoittamalla tavalla haittaa kaavoittamista, se ei vaikeuta luonnon tai rakennetun ympäristön suojelua, hakemusta puolletaan.

Ympäristölautakunnan lausunto 2.11.2010:

Ympäristölautakunta suhtautuu myönteisesti tuulivoimaloiden rakentamiseen. Suunniteltujen voimaloiden rakentaminen ei aiheuta merkittävää haittaa muuttolinnuille tai muulle luonnonsuojelulle.

Voimaloiden mahdolliseen maisemahaittaan todetaan, että haitta on subjektiivinen asia ja kuitenkin vähäisempi verrattuna päästöttömällä energiatuotannolla saavutettavaan hyötyyn. Voimaloiden aiheuttama melu on melumallinnuksen mukaan kahdella kaavoitetulla loma-asunnolla yöajan ohjearvoa suurempi, mikäli voimala n:o 3 on suunnitellulla paikalla. Voimaloiden aiheuttama varjostus ei ylitä 30 tuntia vuodessa asuinrakennusten kohdalla. Lautakunta esittää, ettei voimalalle n:o 3 myönnetä poikkeuslupaa suunnitellulle paikalle. Perusteena on se, ettei sen aiheuttamaa meluvaikutusta kahdella loma-asunnolla voida saada ohjearvojen alle edes sen sijaintia muuttamalla. Muiden voimaloiden poikkeuslupia puolletaan. (Lausunto kokonaisuudessaan on nähtävänä kokouksessa)
Lausunnon antamisen jälkeen tuulivoimala n:o 3 on siirretty kauemmaksi loma-asunnoista siten, että ohjearvoja ei ylitetä.

Finnavian lentoestelausunto 29.11.2010:

Lausunnon mukaan suunnitelluilla tuulivoimaloilla (TV-1 - TV-6) ei ole vaikutuksia lentoturvallisuuteen eikä lentoliikenteen sujuvuuteen. Lausunto on kokonaisuudessaan on nähtävänä kokouksessa

Ely-keskuksen päätös ympäristövaikutusten arviointimenettelyn tarpeesta 26.11.2010:

Hanke ei edellytä ympäristösuojelulain mukaista yva-menettelyä. Päätös kokonaisuudessaan on nähtävänä kokouksessa

Naapurien kuuleminen:

Lähinaapurit on kuultu kirjeillä, jotka on postitettu 20.10.2010. Lisäksi asiasta on julkaistu kuulutus rakennusvalvonnan ilmoitustaululla, kaupungin nettisivuilla sekä kaupungin virallisissa ilmoituslehdissä. Hakemuksesta jätettiin 27 huomautusta, joista 12 kohdistui tuulivoimalaan n:o 1. Osassa huomautuksia oli useampi kuin yksi allekirjoittaja. Huomautuksissa tuotiin esille huoli tuulivoimaloista aiheutuvista melu-, varjovälke- ja maisemahaitoista. (Kaikki huomautukset ovat nähtävillä kokouksessa.)

Rakennustarkastajan lausunto

Tuulivoimalan jäänheittomatka:

Mäkelänkankaalle suunnitellusta tuulipuistosta ei ole tehty selvitystä lapojen jäätymisestä ja irtoavien jäiden heittomatka, mutta Insinööritoimisto Erkki Haapanen on aikanaan laatinut raportin tuulipuiston vaikutuksista lähiympäristöön Summan tuulipuistossa. Raportti tarkastelee 3 MW:n tuulivoimalan vaikutuksia. Sen mukaan lavoista irtoavat jäät voivat lentää sivulle lähes 100 metrin etäisyydelle ja ne kulkevat samalla myötätuuleen lähes saman matkan. Raportin mukaan turvallisinta on rajoittaa oleskelua voimalan läheisyydessä silloin kun lavat ovat jäätyneet. Suojaetäisyydeksi on suositeltu noin 125 metrin etäisyyttä.

Mäkelänkankaalle suunnitellut voimalat ovat teholtaan 2 MW, mutta ulkoisilta mitoiltaan lähes vastaavan kokoisia kuin Summassa, joten suojaetäisyytenä voitaneen pitää myös 125 metriä. Koska tuulivoimaloiden suojaetäisyyden sisäpuolelle jää rakennuksia, teollisuuslaitosten piha-alueita sekä yleisiä teitä ja muita alueita, tulisi voimalat varustaa lämmitysjärjestelmällä, joka estää lapojen jäätyksen. Lämmitysjärjestelmää ei kuitenkaan edellytetä, jos voimala voidaan rajata ulkopuolisten liikkumisen estävällä aidalla n. 125 metrin etäisyydelle voimalasta.

PÄÄTÖSEHDOTUS

Johtavan rakennustarkastajan päätösehdotus:

Rakennuslautakunta päättää myöntää haetun luvan seuraavin ehdoin:
Tuulivoimalan lavat saattavat talvella jäätyä. Jään irrotessa pyörivistä lavoista se

Hakemusnumero 2010-0019 Päätöspäivä 16.12.2010 § 115

muodostaa vaaratekijän lähiympäristölle. Koska tuulivoimalan lähietäisyydelle jää rakennuksia, teollisuuslaitosten piha-alueita sekä yleisiä teitä ja muita alueita, tulee voimala varustaa lämmitysjärjestelmällä, joka estää lapojen jäätyksen. Lämmitysjärjestelmää ei kuitenkaan edellytetä, jos voimala voidaan rajata ulkopuolisten liikkumisen estävällä aidalla n. 125 metrin etäisyydelle voimalasta.

Ennen minkäänlaiseen rakennustoimenpiteeseen ryhtymistä hakijan on saatava rakennuslupa rakennusvalvontaviranomaiselta.

Tämä päätös on voimassa kaksi vuotta tästä päivästä lukien. Tätä päätöstä vastaavaa rakennuslupaa on haettava sanotun ajan kuluessa.

Perustelut:

Voimassa olevassa asemakaavassa suunniteltu sijoituspaikka on teollisuus- ja varastorakennusten korttelialuetta (T). Tuulivoimala on uusiutuvan energian tuotantorakennus ja sen käyttötarkoitus on kaavan mukainen. Toiminta ei saatujen selvitysten mukaan aiheuta asumiselle tai loma-asumiselle kohtuutonta melu- tai valohaittaa.

Ottaen huomioon alueen maiseman mittakaavan ja että kyseessä on ison rakennusmassan sijasta pistemäinen, pienen kerrosalan käyttävä tuulivoimala, asemakaavassa osoitetun enimmäiskorkeuden ylittäminen ei ole kohtuuton. Lisäksi teollisuusalue on metsän ympäröimää, jolloin tuulivoimalat tulevat näkymään suurmaisemassa metsän yli taivasta vasten. Rakentamisesta ei siten aiheudu kohtuutonta maisemallista haittaa.

Poikkeaminen ei siis MRL 172 § tarkoittamalla tavalla haittaa kaavoittamista, kaavan toteuttamista tai alueiden käytön muuta järjestämistä eikä vaikeuta luonnon tai rakennetun ympäristön suojelua. Poikkeaminen ei myöskään johda merkittävään rakentamiseen eikä muutoinkaan aiheuta merkittäviä ympäristö- tai muita vaikutuksia.

PÄÄTÖS

Rakennuslautakunnan päätös:
Ehdotus hyväksyttiin.

Voimassaolo ja jatkotoimenpiteet

Päätös on voimassa 21.12.2012 asti

Päätöksen antopäivä

Annettu julkipanon jälkeen 21.12.2010

Jukka Lonka

Lonka Pirkko
Kanslisti

Jakelu ja maksut

Haminan kaupunki
Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Maksu: 270,00 €

Peruste: Rakennusvalvontataksa § 17

VALITUSOSOITUSTEKSTI

Valitusviranomainen: Kouvolan hallinto-oikeus
Salpausselänkatu 22
45100 KOUVOLA

Valitusaika: 30 päivää

Tämä päätös on annettu julkipanon jälkeen yllä mainittuna antamispäivänä, jolloin sen on katsottava tulleen asianomaisen tietoon. Muutosta tähän päätökseen voidaan hakea yllä mainitulta valitusviranomaiselta kirjallisella valituksella, joka valittajan itsensä tai hänen valtuuttamansa asiamiehen on annettava tai lähetin välityksellä tai postitse toimitettava valitusviranomaiselle viimeistään valitusajan viimeisenä päivänä ennen valitusviranomaisen viraston aukioloajan päättymistä luetuna yllä mainitusta päätöksen antamispäivästä. Valituskirjelmän oheen on liitettävä tämä päätös sekä mahdollinen muu selvitys, johon valittaja haluaa vedota.

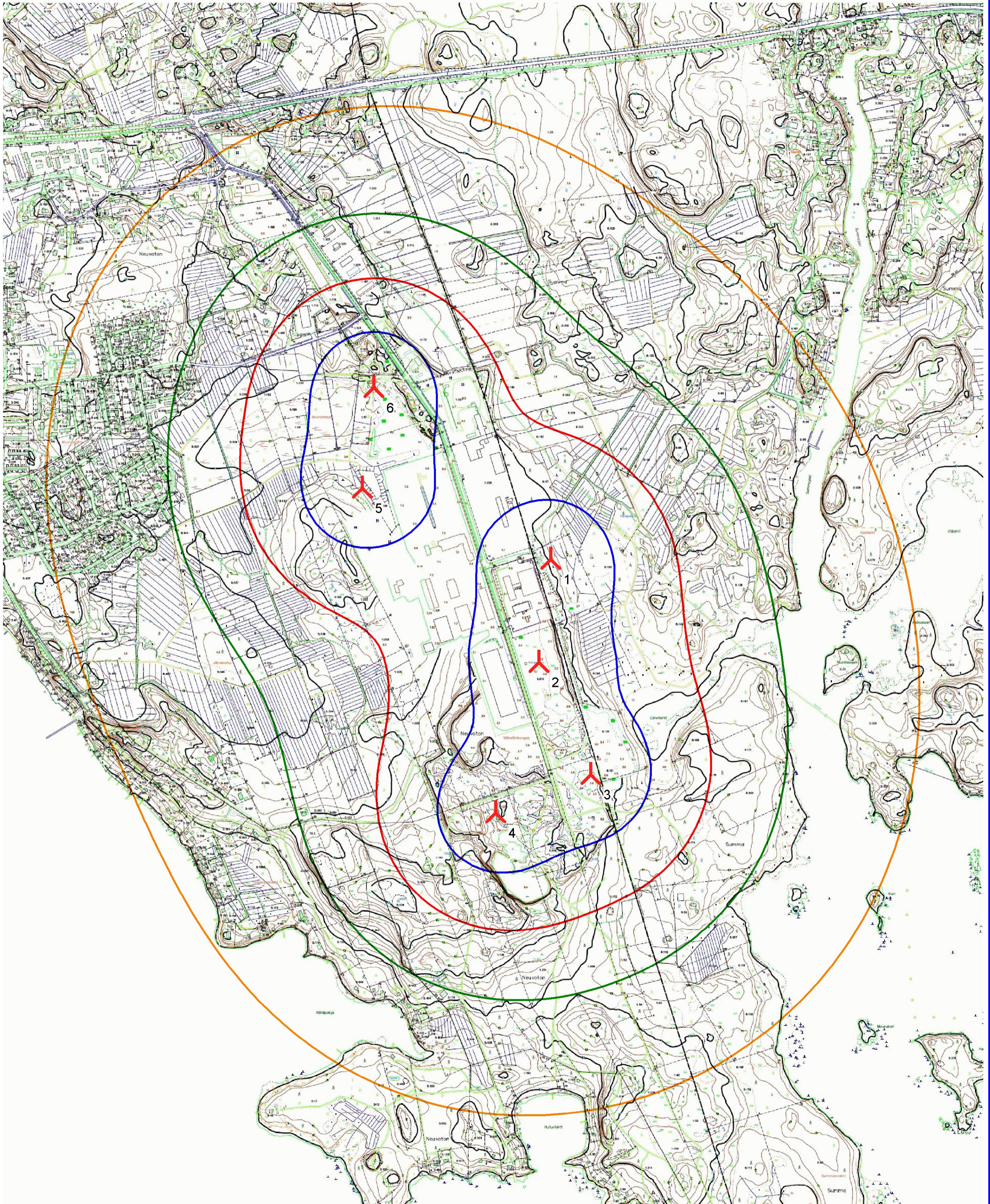
Tuomioistuinten ja eräiden oikeushallintoviranomaisten suoritteista perittävistä maksuista annetun lain (701/93) nojalla muutoksenhakijalta peritään oikeudenkäyntimaksua hallinto-oikeudessa.

Project: Kotka_Makelan_uus
Description:
Rotor diameter: 93 m
Tower height: 100 m
Turbine noise emission level: LwA, ref 104 dB
Calculation standard: ISO 9613 General (Ground attenuation - alternative)
Wind speed: 8 m/s at 10 m above ground
Height of calculation points: 2 m above ground

PrintedPage: 8.12.2010 12:02 / 1
Licensed user:
Hendrikson & Ko
Raekoja plats 8
EE-51004 Tartu
+372 7 409 806
Calculated:
8.12.2010 12:00/2.7.473

DECIBEL - Map 8,0 m/s

Calculation: Mäkelänkangas - 6 turbines (2010.12.06)



0 100 200 300 400 m

Map: Mäkelän , Print scale 1:7 500, Map center KJ Finland Zone: 3 East: 3 504 360 North: 6 715 526
Noise calculation model: ISO 9613-2 General. Wind speed: 8,0 m/s

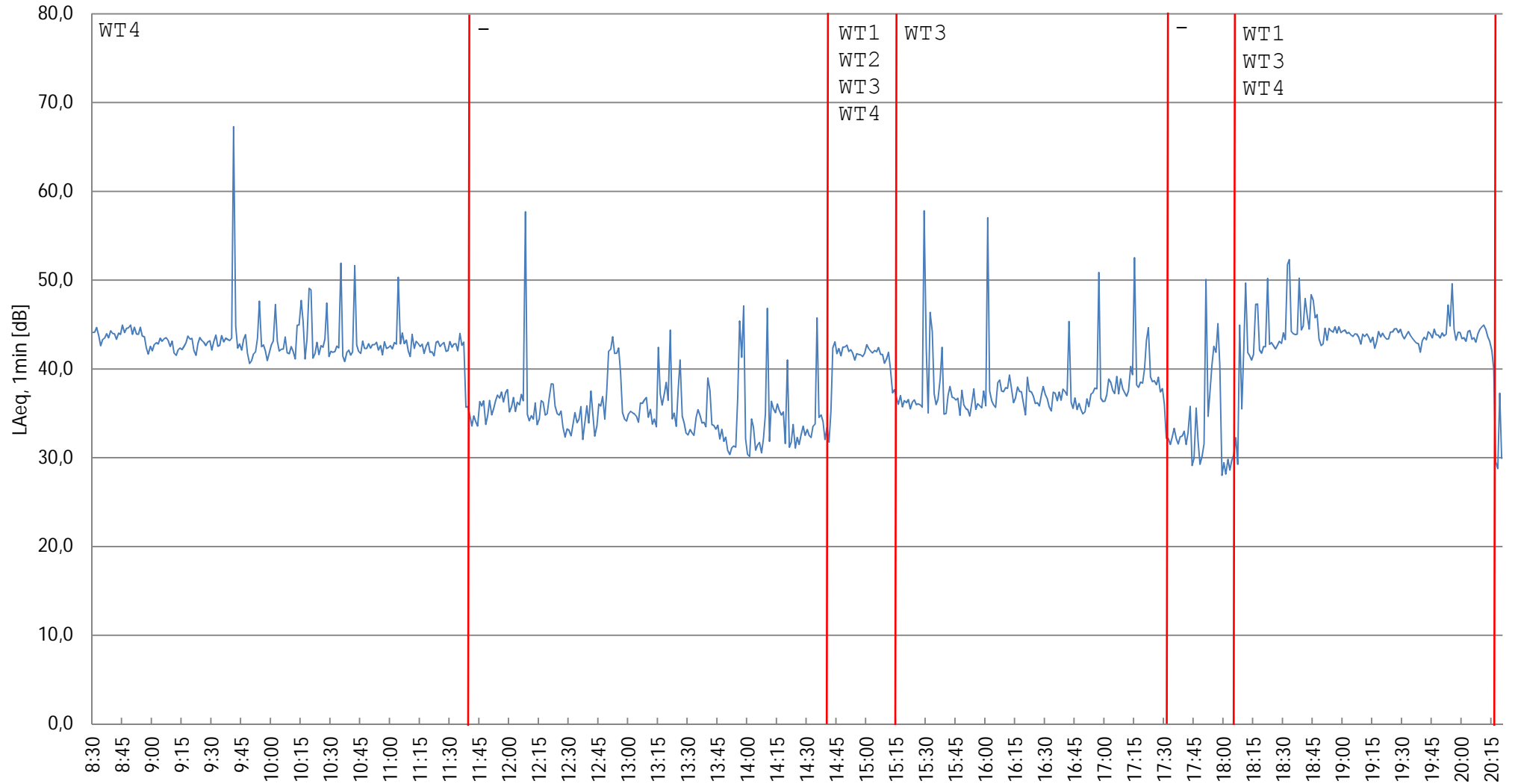
Height above sea level: 0,0 m

▲ New WTG
35,0 dB(A) 40,0 dB(A) 45,0 dB(A) 50,0 dB(A)

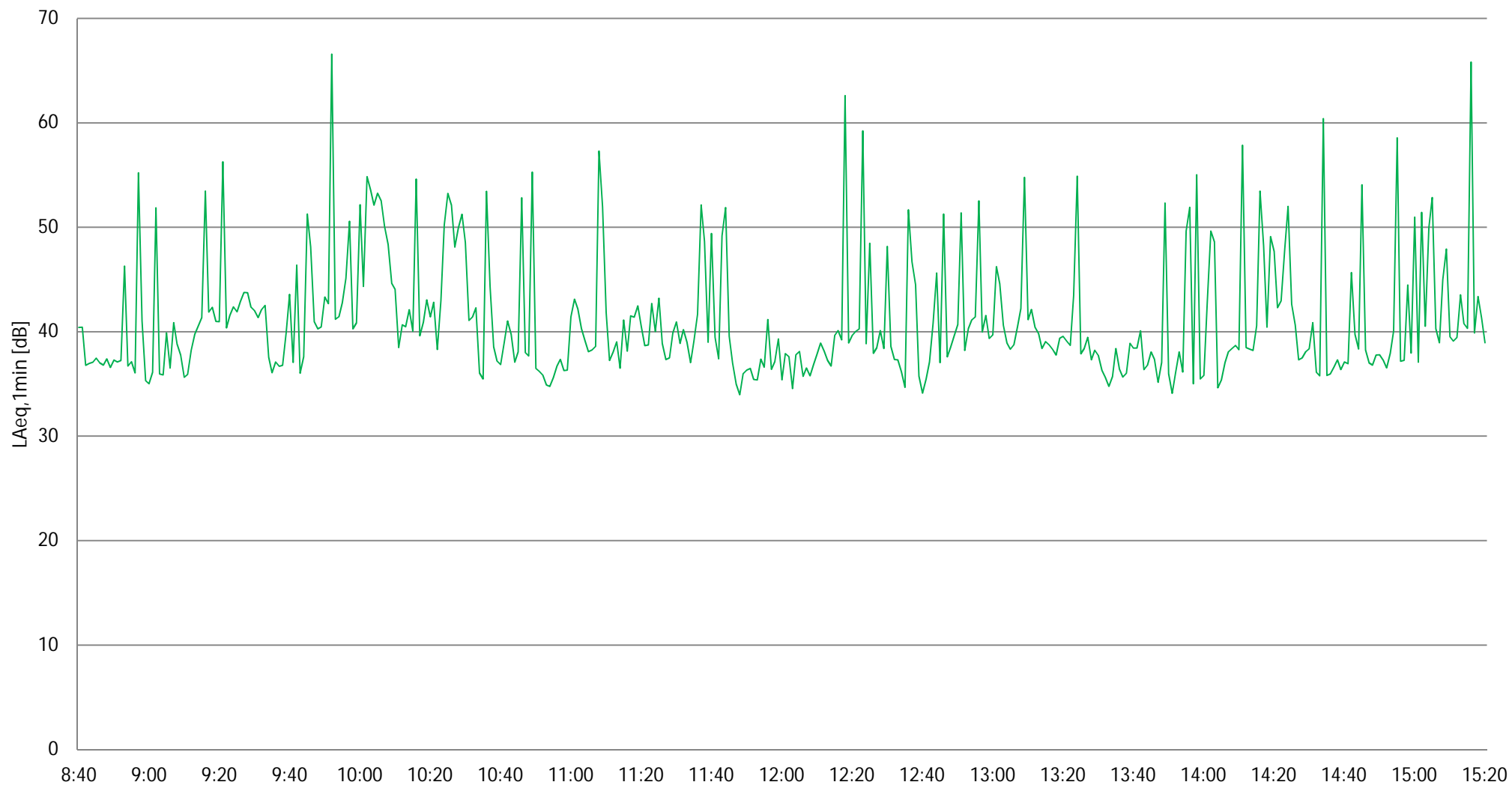
Hamina - Mäkelänkangas

Tuulivoimamamelun mittaukset 4.10.2012

MP1



Hamina - Mäkelänkangas
Tuulivoimamelun mittaukset 4.10.2012
MP2



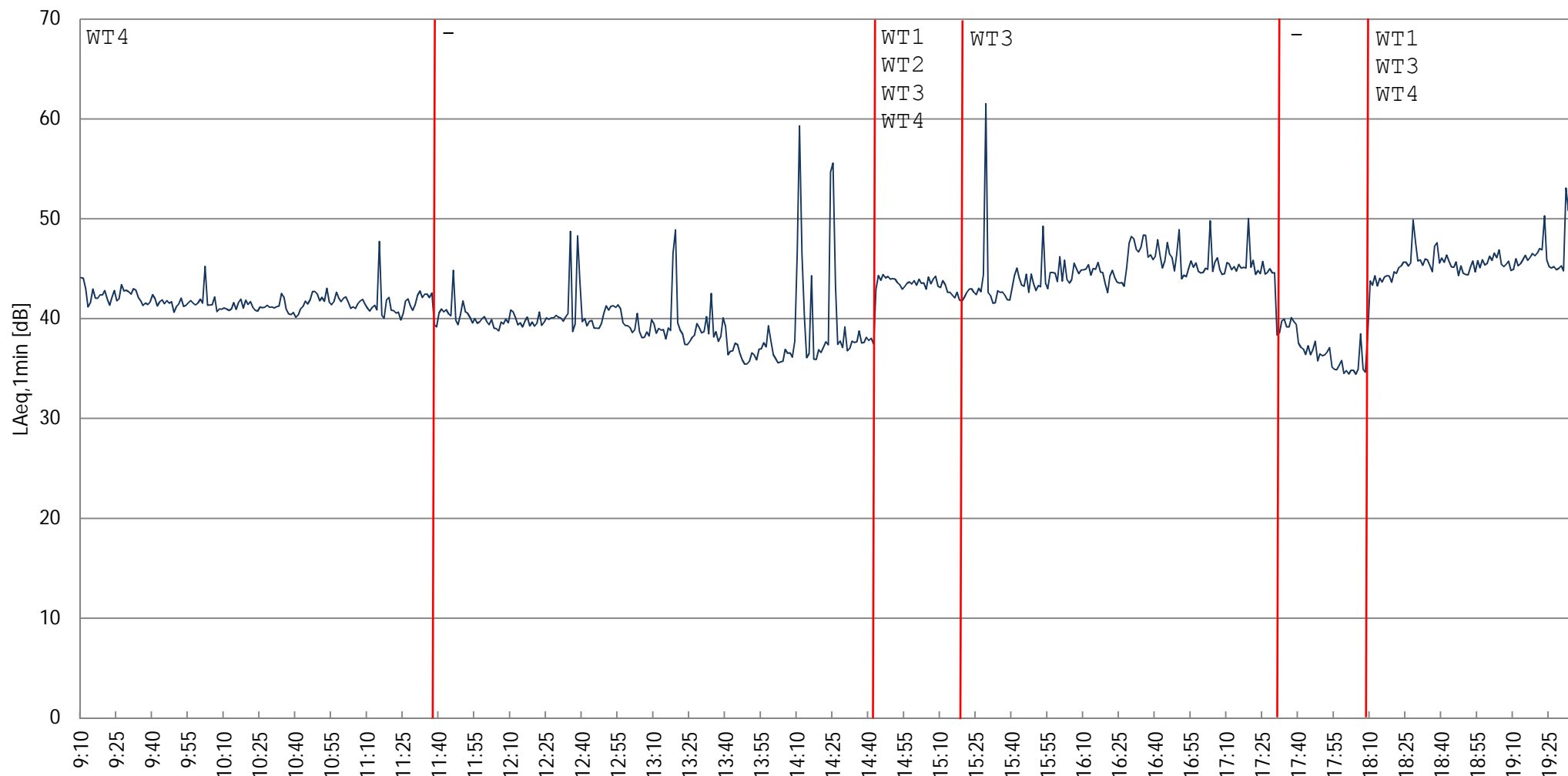
Hamina - Mäkelänkangas
Tuulivoimamamelun mittaukset 4.10.2012
MP3



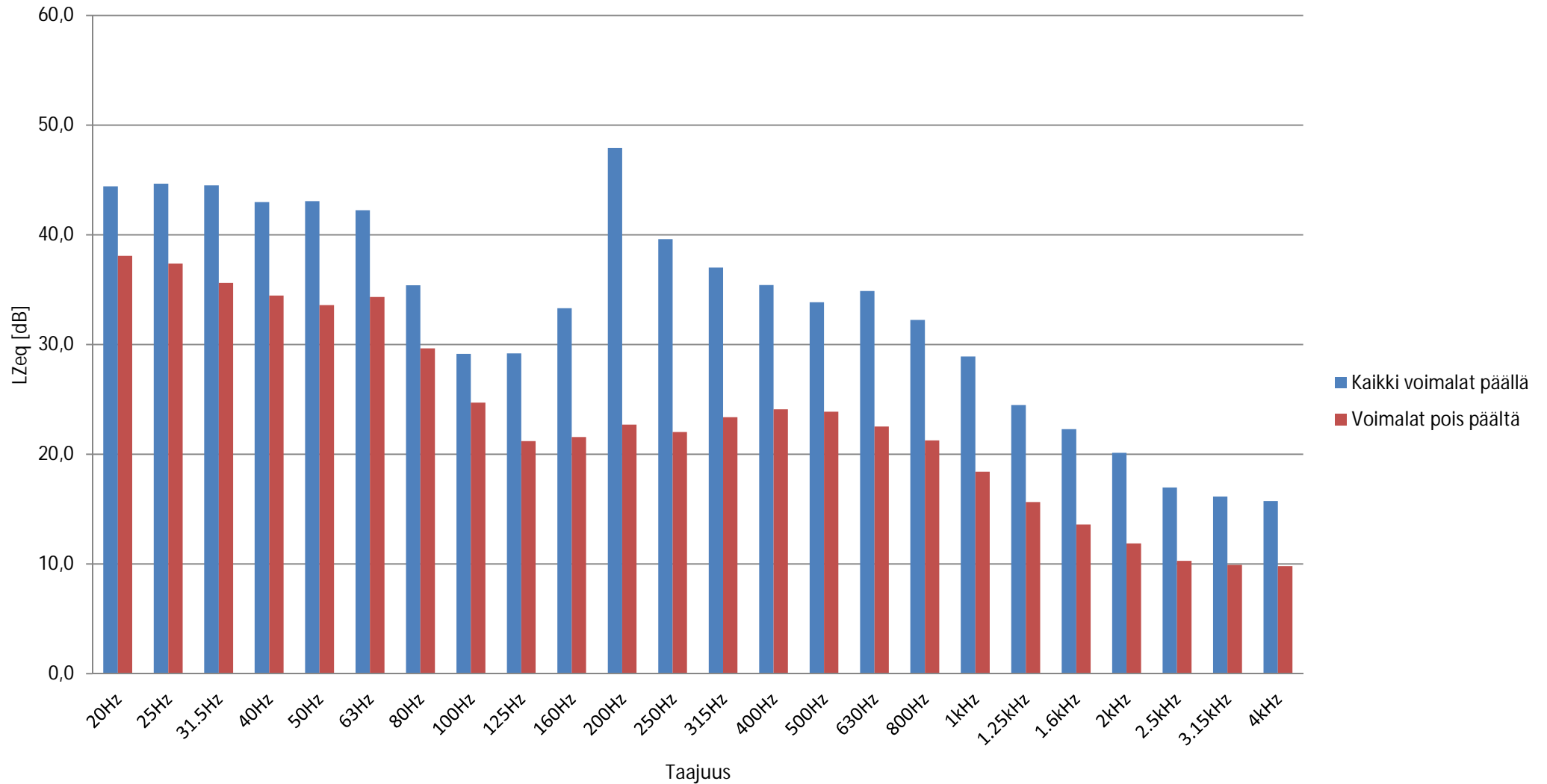
Hamina - Mäkelänkangas

Tuulivoimamelun mittaukset 4.10.2012

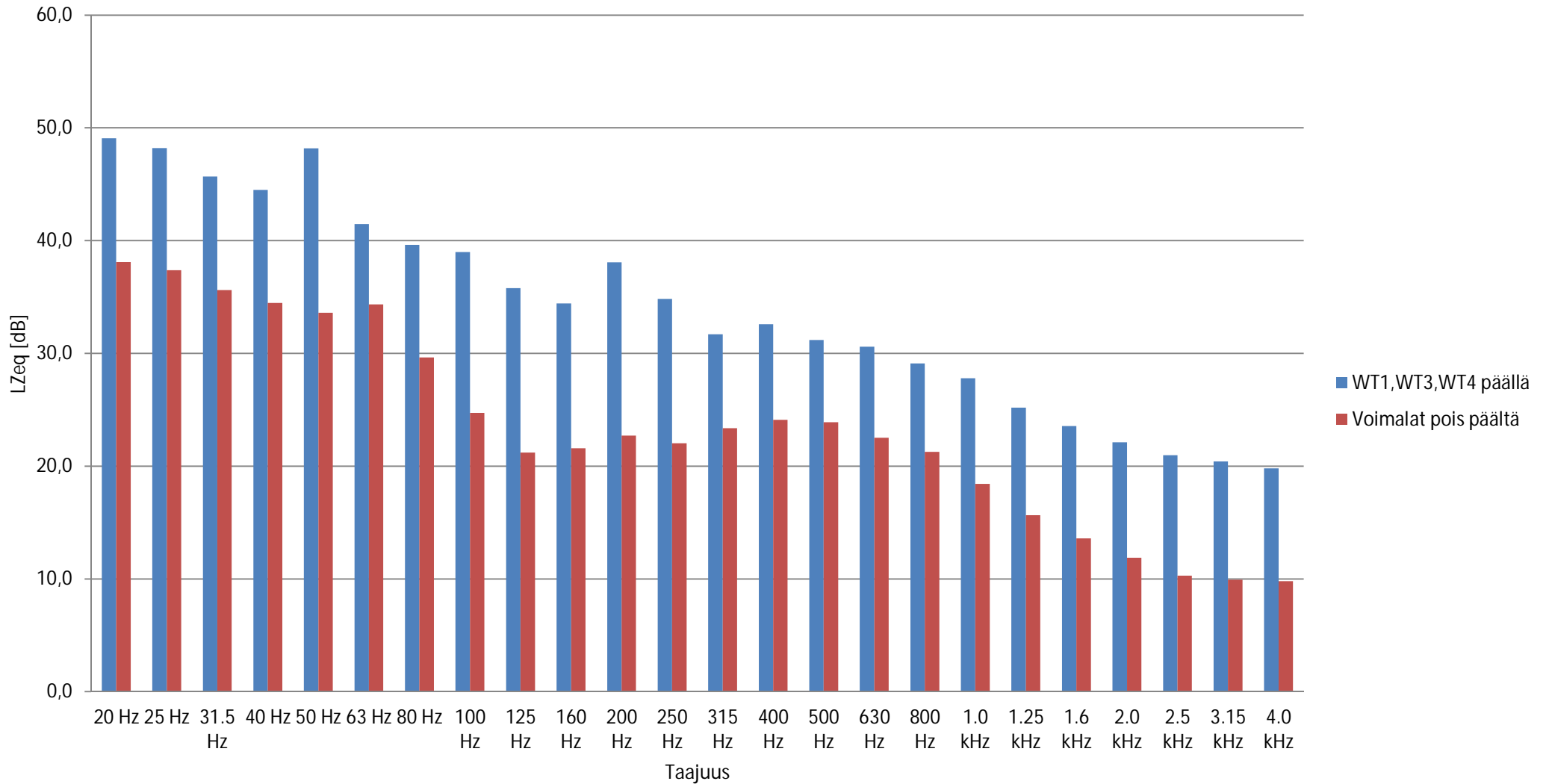
MP4



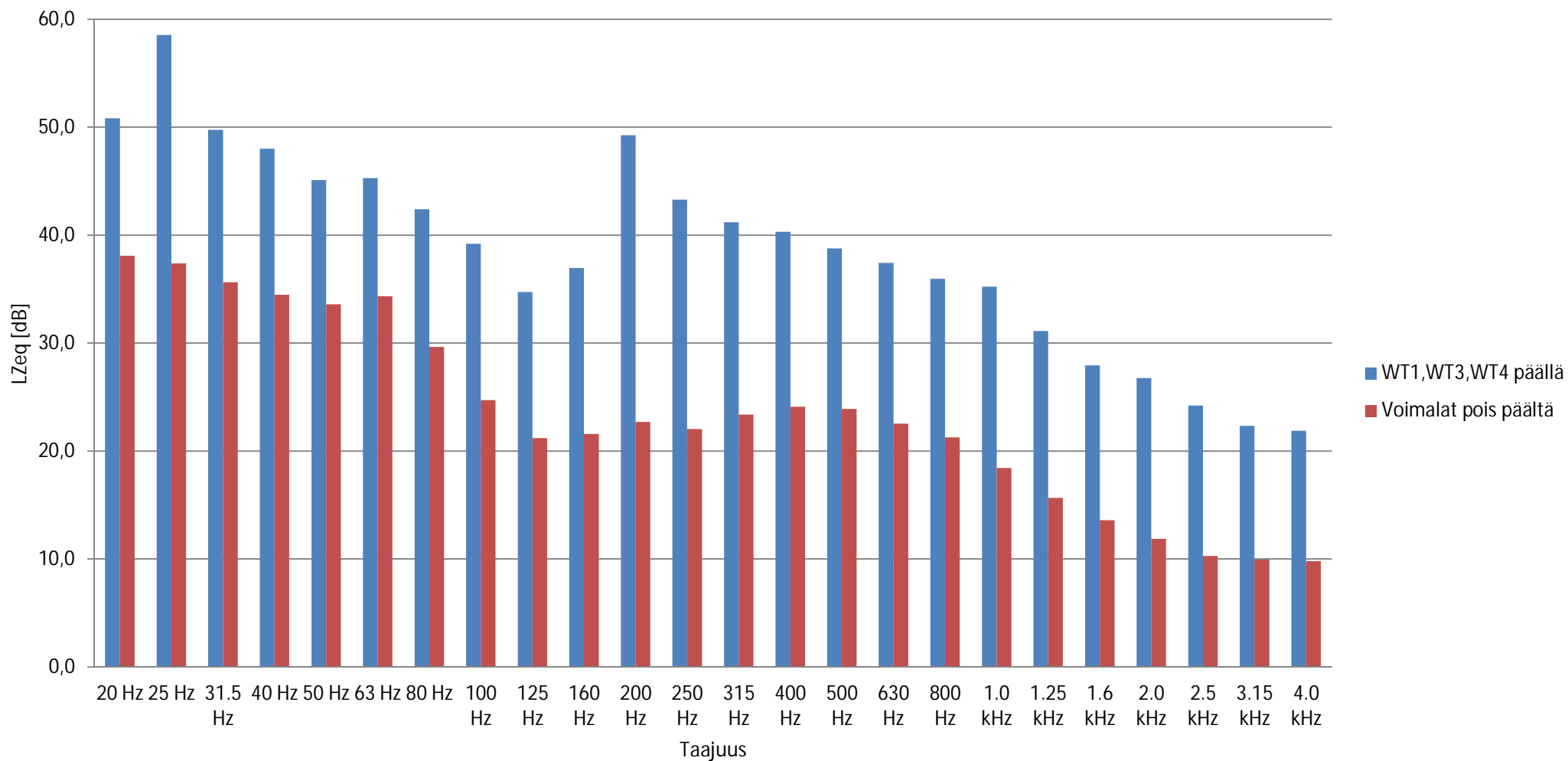
Hamina - Mäkelänkangas
Tuulivoimamelun mittaukset 4.10.2012
Taajuusjakauma - MP1

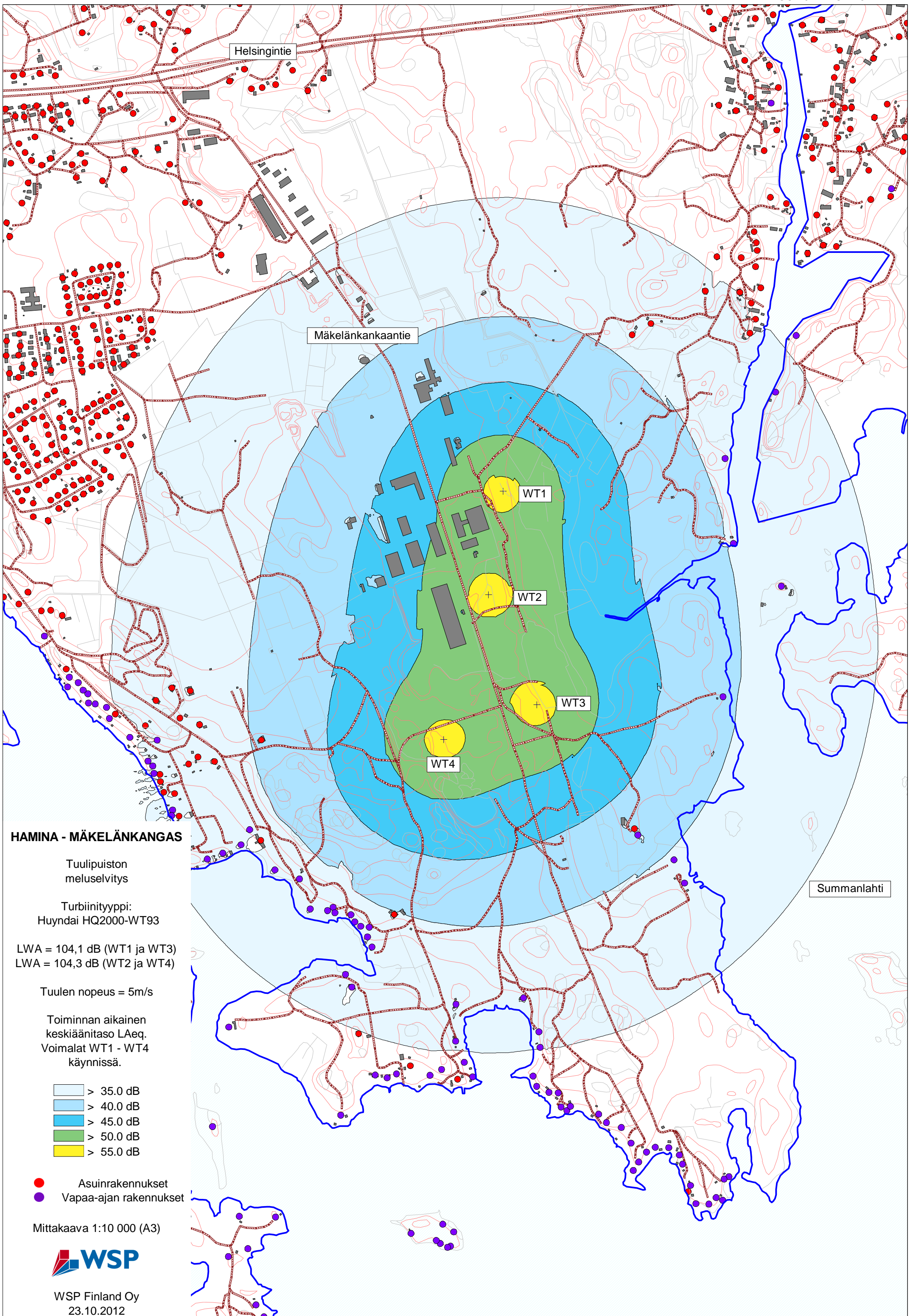


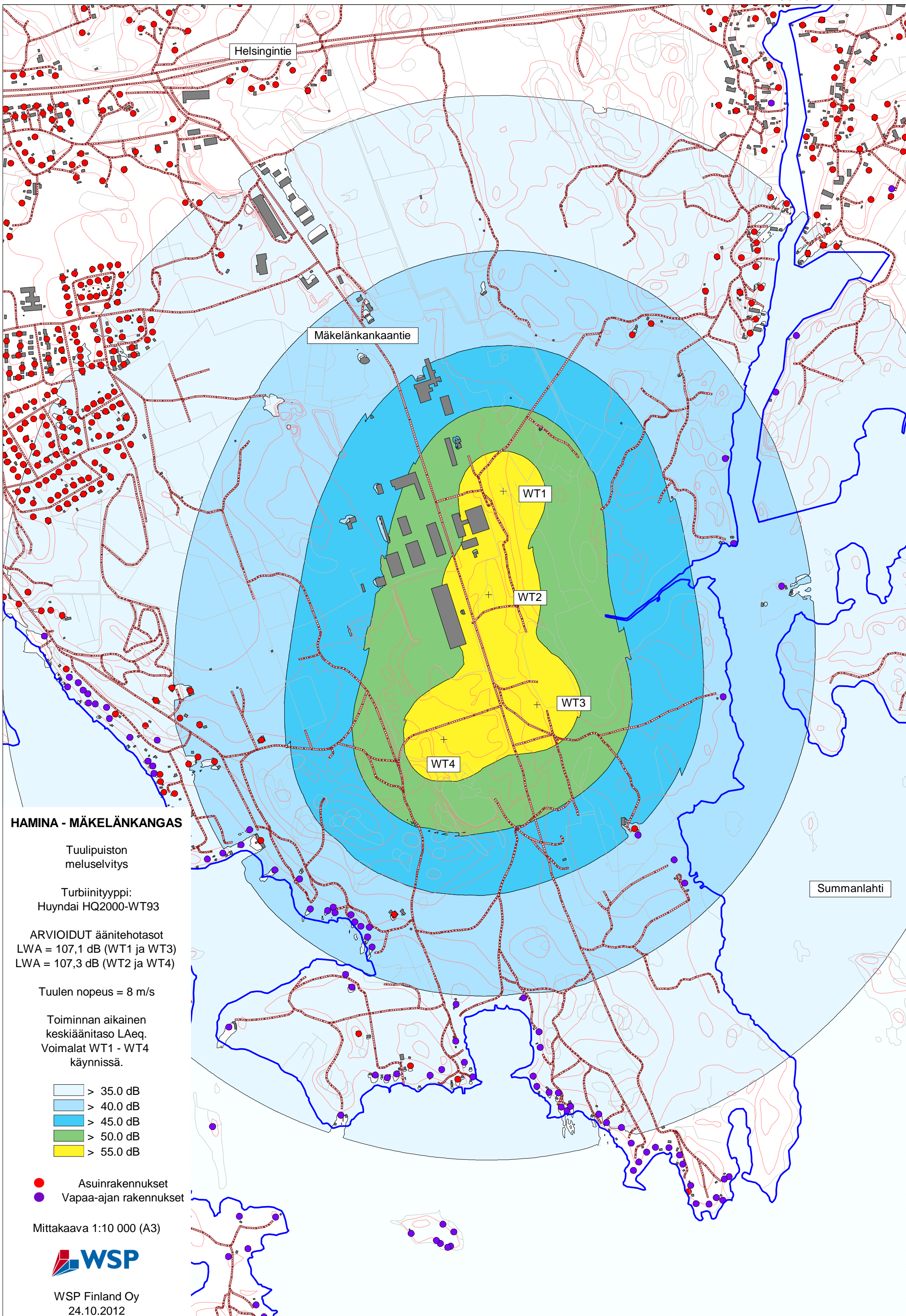
Hamina - Mäkelänkangas
 Tuulivoimamelun mittaukset 4.10.2012
 Taajuusjakauma - MP3

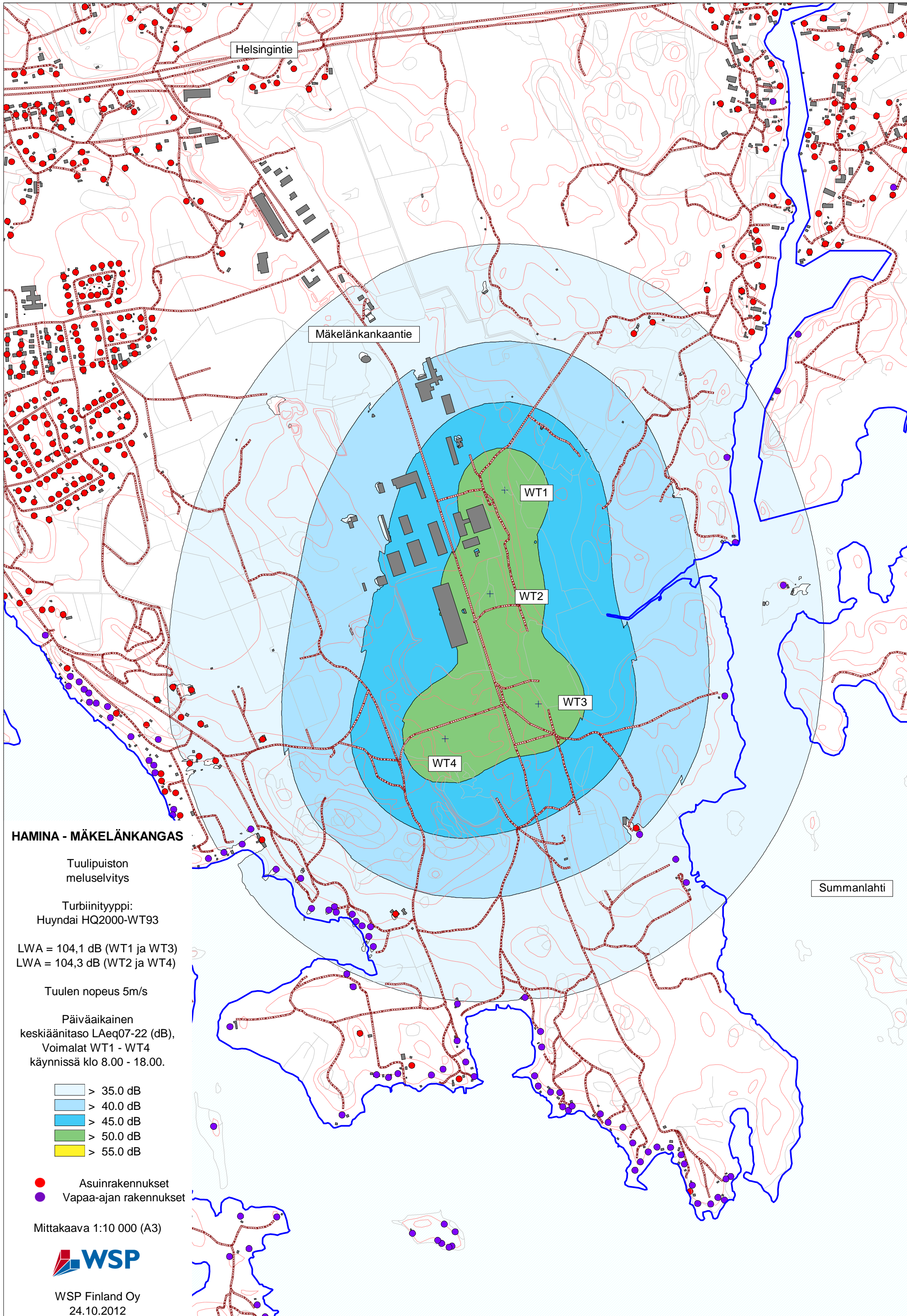


Hamina - Mäkelänkangas
 Tuulivoimamelun mittaukset 4.10.2012
 Taajuusjakauma - MP4









HAMINA - MÄKELÄNKANGAS

Tuulipuiston meluselvitys

Turbiinityppi:
Huyndai HQ2000-WT93

LWA = 104,1 dB (WT1 ja WT3)
LWA = 104,3 dB (WT2 ja WT4)

Tuulen nopeus 5m/s

Päiväaikainen keskiäänitaso LAeq07-22 (dB),
Voimalat WT1 - WT4
käynnissä klo 8.00 - 18.00.

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

- Asuinrakennukset
- Vapaa-ajan rakennukset

Mittakaava 1:10 000 (A3)



WSP Finland Oy
24.10.2012

Summanlahti

PM 10171696.01

Wind turbine noise assessment, Hamina

Acoustic noise measurements, in accordance with IEC 61400-11 Edition 2.1

Summary

Acoustic noise measurements have been performed for two out of a total of four wind turbines in a wind farm in Hamina, located in the south east of Finland. The aim for the measurement was to determine the sound power level for the turbines.

The wind turbines are produced by Hyundai and are of type HQ2000.

The measurements and evaluation thereof was done according to international standard IEC 61400-11, Edition 2.1, “Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques”.

Turbine 3 had a sound power level of 104,3 dBA for a wind speed of 5 m/s.

Turbine 4 had a sound power level of 104,1 dBA for a wind speed of 5 m/s.

Turbine 3 had a tonal audibility of 8,2 dB.

Turbine 4 had a tonal audibility of 2,7 dB.

Measurement objects

The wind turbines are all of type Hyundai HQ 2000, 2 MW. Nacelle height 100 m and rotor diameter 93,3 m. The turbines are numbered as shown in figure 1 below.



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

Surroundings

The wind turbines are located in Hamina, in the south east of Finland. The terrain surrounding the turbines is mostly made up of open fields with sparse vegetation.

The roughness length for this type of terrain is 0.05 m according to the standard (table 1, page 20).

The measurement was interrupted several times between 08:00 and 16:00 due to the constant loading of gravel on to trucks in the nearby situated gravel pit.

Measurement

The sound power measurements were performed on Thursday, the 4th of October by Hannes Furuholm, WSP Acoustics Sweden. In addition to this, several sound pressure (immission) measurements at nearby housings were performed by Ilkka Niskanen and Tuukka Lyly, WSP Acoustics Finland.

Method

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

Sound power measurements

Near-field measurements were performed in "Reference position 1" on 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 requirements regarding a "+ 6 dB position", i.e. the measured values are reduced by 6 dB to amend 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.

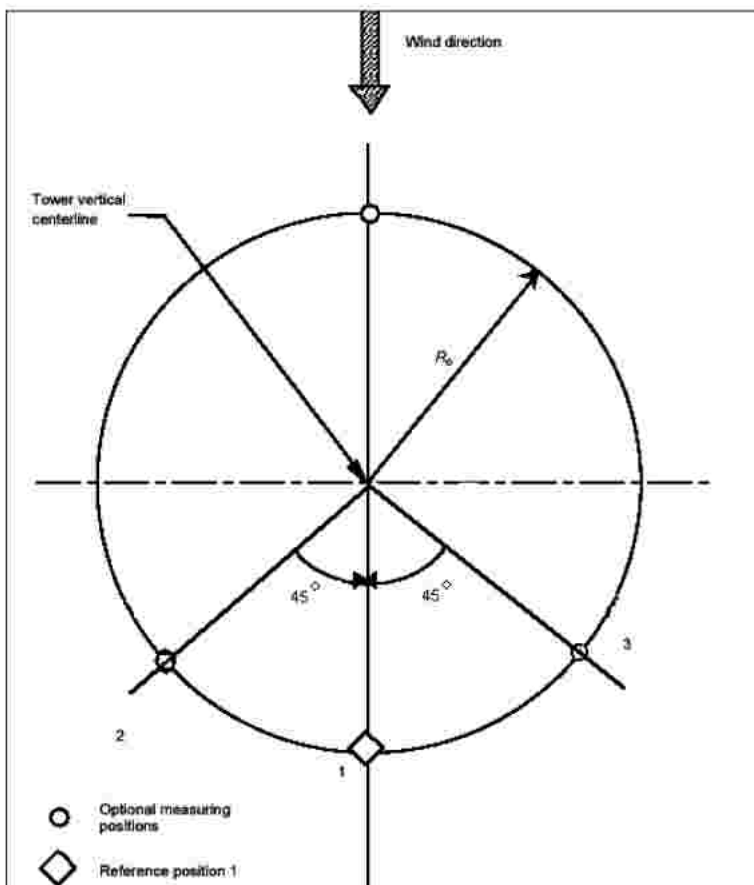


Figure 2: Measurement position, "Reference position 1"



Figure 3 - Measurement of turbine 4

Equipment

During the measurements, the following equipment was used:

Table 1: Measurement equipment

Type	Manufacturer	Type	Serial n:o
Sound level meter	Brüel & Kjaer	2270	2621780
Microphone calibrator	Brüel & Kjaer	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 requirements for measurement devices according to the international standard SS EN 61672.

Weather conditions

Table 2: Meteorological conditions at measurement site, Hamina, 2012-10-04

Wind speed @ 10 m height [m/s]	Average wind speed @ 10 m height [m/s]	Wind direction	Relative humidity [%]	Air pressure [kPa]	Temperature [°C]
2-6	3,2	S/SW	80-90	101,0	12

Wind measurement

All wind speeds during operation have been measured using the nacelle anemometer for each respective wind turbine. During the measurement of the background noise level, a 10 m high wind mast with a weather station has been used.

Since the location did not allow a placement of the wind mast according to standard, the mast was placed in a location which was assessed as representative for the average wind speed in the area. This was approximately 350 meters upwind from turbine 3.



Figure 4 - Placement of wind mast

Operating conditions and background noise

The wind turbines were operating one at a time during the sound measurements. During the background noise measurements all turbines were non-operating. A smaller wind turbine - approximately 2 km from the measurement site – was active during the entire day. It was assessed that this did not affect the total sound pressure level in the area.

Correction for background noise was made according to the standard by energy subtraction of the measured background noise from the measured sound pressure levels during operation. For the data used in the sound power determination, the background noise levels were approximately 15-20 dB lower than the sound pressure levels during WT operation.

Results

Mechanical noise, impulse sounds, uncertainty

A mechanical noise around 200-250 Hz was clearly present during the measurement of both turbines – a tonality assessment was performed to investigate this (see section “Tonality” below). Turbine 3 had a tonal audibility of 8,2 dB, whereas turbine 4 had a tonal audibility of 2,7 dB.

A tonal audibility greater than -3,0 dB shall be reported according to the standard.

No impulse noise was audible during the measurements.

The uncertainty of the calculated sound power levels are < 1,2 dB

Tonality

A tonality assessment was done for both turbines, the results are presented in the table and graph below. The data is based on two one minute recordings of the turbines with start 09:31 and 09:33 (Finnish time) for turbine 4 and 15:34 and 16:09 for turbine 3.

$\Delta L_{tn,j,5 \text{ m/s}}$ Tonality of the “jth” spectra at the measured wind speed (5 m/s)

$\Delta L_{5 \text{ m/s}}$ The $\Delta L_{tn,j,5 \text{ m/s}}$ energy averaged to one $\Delta L_{5 \text{ m/s}}$ at the measured wind speed

$\Delta L_{a,5 \text{ m/s}}$ The $\Delta L_{5 \text{ m/s}}$ corrected to compensate for the response of the human ear. A value of $\Delta L_{a,5 \text{ m/s}}$ greater than -3,0 dB shall be reported

Table 3: Spectrum tonality, $\Delta L_{tn,j,5 \text{ m/s}}$

$\Delta L_{tn,j,5 \text{ m/s}}$	Turbine 3, f=214 Hz, u=5m/s	Turbine 4, f=220 Hz, u=5m/s
j=1	8	1,4
j=2	7,5	2,1
j=3	7,6	3,7
j=4	8,7	1,9
j=5	8,4	0,6
j=6	8,3	-1,9
j=7	4,1	-0,9
j=8	3,4	-4,8
j=9	1,9	-0,7
j=10	1,6	0,0
j=11	2,6	0,5
j=12	2,5	0,7

Table 4: Energy averaged spectrum tonality $\Delta L_{5 \text{ m/s}}$, and corrected for human hearing $\Delta L_{a,5 \text{ m/s}}$

	Turbine 3, f=214 Hz, u=5m/s	Turbine 4, f=220 m/s, u=5m/s
$\Delta L_{5 \text{ m/s}}$	6,2	0,7
$\Delta L_{a,5 \text{ m/s}}$	8,2	2,7

In appendix A, typical 10 s energy averaged spectrums for both turbines are presented.

Sound power level

The A-weighted sound power level L_{WA} [dB re 10^{-12}] for the wind turbines was determined according to standard. Only data for 5 m/s were obtainable during the measurements, cases with insufficient data are noted with “ - “.

Table 5: Sound power levels for different wind speeds

Turbine:	3	4
L_{WA} @ 5 m/s	104,3	104,1
L_{WA} @ 6 m/s	-	-
L_{WA} @ 7 m/s	-	-
L_{WA} @ 8 m/s	-	-

Presented in table 6 below are the A-weighted sound power levels, for a wind speed of 5 m/s at 10 m height.

Table 6: Sound power levels in octave bands

Octave band [Hz]	Turbine 3, $L_{W,A}$ [dB re 10^{-12} W]	Turbine 4, $L_{W,A}$ [dB re 10^{-12} W]
31,5	67,2	69,8
63	79,7	82,9
125	90,4	92,5
250	101,8	100,8
500	96,4	97,6
1000	95,5	95,8
2000	93,4	92,8
4000	85,4	84,0
8000	-	-

Hannes Furuholm

WSP Acoustics, Gothenburg

+46 31 727 27 85

2012-10-16

Appendix A

