

TUULIVOIMAMELUN MITTAUS- JA MALLINNUSTULOSTEN VERTAILUA

Tuukka Lyly

WSP Finland Oy
Heikkiläntie 7
00210 Helsinki
tuukka.lyly@wspgroup.fi

Tiivistelmä

WSP Finland Oy on yhdessä WSP Akustik Göteborgin yksikön kanssa toteuttanut äänitehotaso- ja ympäristömelumittauksia kahdessa kotimaisessa tuulipuistossa vuoden 2012 aikana. Standardin IEC 61400-11 (ed. 2.1) mukaisesti mitattuja äänitehotasoja käytettiin ympäristömelutasojen laskennallisessa arvioinnissa, joka tehtiin CadnaA 4.2-ohjelmiston ISO 9613-2-laskentamallilla. Laskentamallilla arvioituja ympäristömelutasoja verrattiin päästömittausten yhteydessä tehtyjen ympäristömelumittausten tuloksiin. Tuulivoimaloiden aiheuttamat laskennallisesti arvioidut melutasot erosivat vain vähän ympäristössä mitatuista tuloksista.

Projektien yhteydessä laadittiin lisäksi vertailu eri laskentamalleilla saaduista tuloksista (NORD2000 - Nordic prediction method – ISO 9613-2). Tässä tekstissä on esitetty tuloksia toisen mitatun tuulipuiston osalta.

1 JOHDANTO

Tuulivoima on ympäristön kannalta hyvä tapa tuottaa energiaa. Tuulivoimalat tuottavat sähköä saasteettomasti ja vähentävät sähköntuotannon tarvetta hiilellä, öljyllä ja kaasulla. Suomessa tuulivoiman osuus sähköntuotannosta on kuitenkin vielä huomattavan pieni ja osuutta pyritäänkin nostamaan merkittävästi jo vuoteen 2020 mennessä [1].

Tuulivoimaloiden yhtenä haittapuolena on niiden synnyttämä melu, joka syntyy roottorin lapojen ja voimalan koneiston synnyttämistä äänistä. Lapojen pyörimisestä aiheutuva ääni on yleensä näistä merkittävämpi ja sen merkitys lisääntyy roottorin koon kasvaessa. Äänen ominaisuudet (voimakkuus, taajuus, ajallinen vaihtelu) riippuvat mm. voimaloiden lukumäärästä, etäisyydestä tarkastelupisteeseen sekä tuulen nopeudesta ja suunnasta [1].

Melun aiheuttamia haittoja pyritään hallitsemaan äänen syntyyn, äänen etenemiseen sekä melutasoon ja melualtistukseen kohdistuvilla vaatimuksilla ja toimenpiteillä. Tuulivoimamelun tapauksessa keskeisin käytettävä meluntorjuntakeino on riittävä etäisyys voimalan ja asutuksen välillä [1].

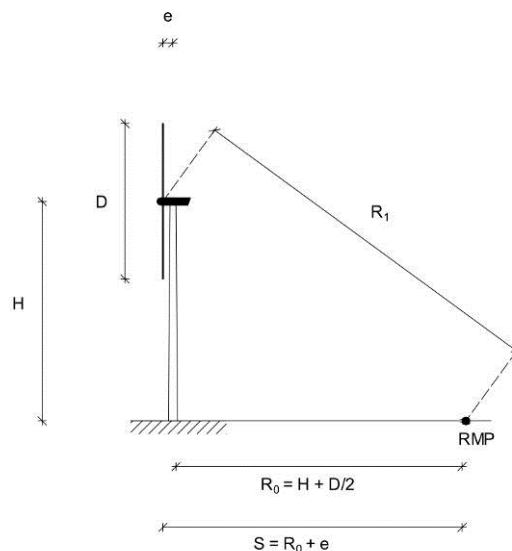
Valtioneuvoston päätös 993/1992 yleisistä melutason ohjearvoista ei suoraan sovellu tuulivoimamelun häiritsevyyden arviointiin, sillä kokemusten perusteella on todettu, että näiden ohjearvojen käyttäminen suunnittelussa johtaa liian suureen meluhäiriöön. Tuulivoimarakentamisen suunnittelussa suositellaankin käytettäväksi Ympäristöministeriön ohjeen 4/2012 ”*Tuulivoimarakentamisen suunnittelu*”-mukaisia ohjearvoja (taulukko 1), jotka perustuvat pääosin muiden maiden kokemuksiin tuulivoimaloiden tuottaman äänen häiriövaikutuksista ja muissa maissa käytössä oleviin tuulivoimalamelulle annettuihin ohjearvoihin [1].

Taulukko 1. Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason suunnitteluohjearvot [1].

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason suunnitteluohjearvot	$L_{Aeq07-22}$ [dB]	$L_{Aeq22-07}$ [dB]
Asumiseen käytettävät alueet, loma-asumiseen käytettävät alueet taajamissa, virkistysalueet	45	40
Loma-asumiseen käytettävät alueet taajamien ulkopuolella, leirintä-alueet, luonnonsuojelualueet	40	35
Muut alueet	ei sovelleta	ei sovelleta

2 TUULIVOIMALOIDEN ÄÄNITEHOTASON MITTAUS STANDARDIN IEC-61400-11 MUKAISESTI

Mittausprojektien yhteydessä tuulivoimaloiden äänitehotasot mitattiin standardin IEC-61400-1 (Edition 2.1) mukaisella menetelmällä. Mittauksessa tuulivoimalan aiheuttamaa melutasoa mitataan myötätuulen puolelta lähietäisyydeltä kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Mittauspaikan sijainti tuulivoimalan äänitehotasoa mitattaessa (kuva standardista IEC-61400-11 (Edition 2.1)).

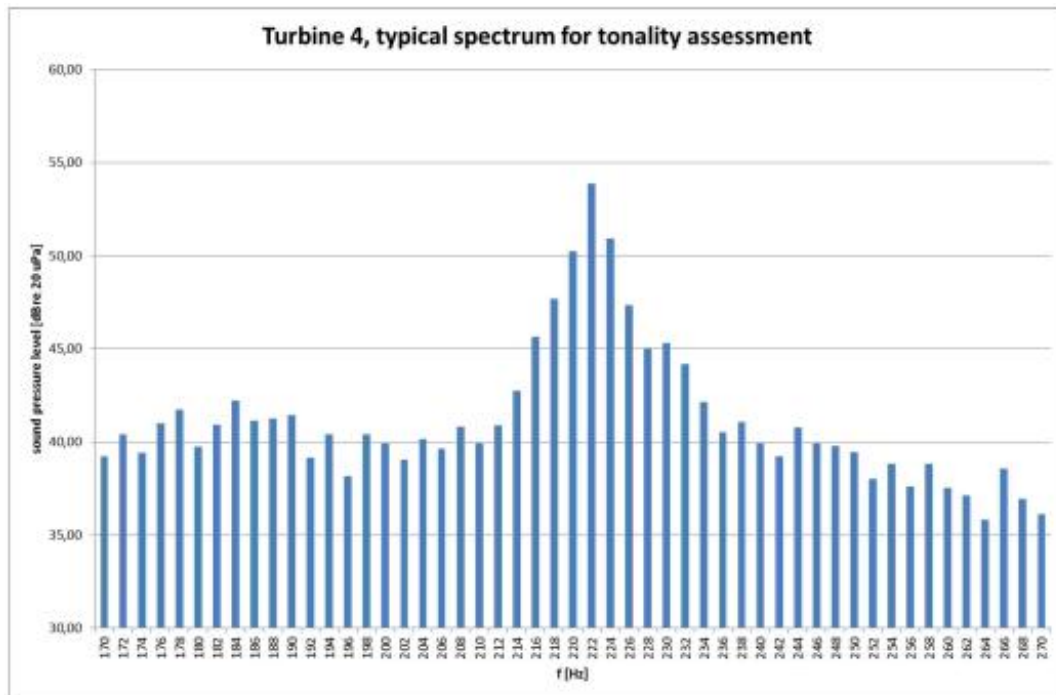
Äänitehotasoa mitattaessa mittaus tulokset tallennettiin mittarin muistiin 1 minuutin pituisina jaksoina 1/3-oktaavikaistoittain. Mittaukset tehtiin maanpinnalle sijoitetun vanerilevyn päältä tuulen nopeuden ollessa 6-10 m/s (tavoitenopeus). Standardin mukaan mitta-

uksen aikana tuulen suunnan tulee olla 15 asteen sektorissa tuulivoimalasta mittaustaikapaikan suuntaan. Mittausjakson aikaiset tiedot tuulen nopeudesta ja suunnasta rekisteröitiin siirrettävällä sääasemalla (10m korkeudesta) tai voimalan sääantureista 1 minuutin pituisina jaksoina. Näin mittaustuloksista voitiin erotella oikealla tuulen suunnalla ja tuulen eri nopeuksilla mitatut jaksot ja laskea keskimääräiset tulokset (äänitehotasot) standardin mukaisesti tuulen nopeusluokittain. Hyväksyttäviä mittaustuloksia tarvitaan vähintään 3 kpl minuutin pituisia jaksoa kutakin tuulen nopeutta kohti. Mittausten yhteydessä mitattiin alueilla vallitsevat taustamelutasot kaikkien voimaloiden ollessa pysähtyneinä.

Tuulivoimalan aiheuttamaa melun tonaalisuutta tutkittiin äänitallenteesta tehdyn tonaalisuusanalyysin perusteella. Äänitallenteet nauhoitettiin kuvan 1 mittaustaikapaikassa. Taulukossa 2 on esitetty tuulipuiston kahden voimalan synnyttämät äänitehotasot (tuulen nopeudella 5 m/s) ja kuvassa 2 on esitetty yhden voimalan tonaalisuusanalyysi.

Taulukko 2. Tuulipuiston kahden eri voimalan äänitehotasot (tuulen nopeus 5 m/s) [2].

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	-	-

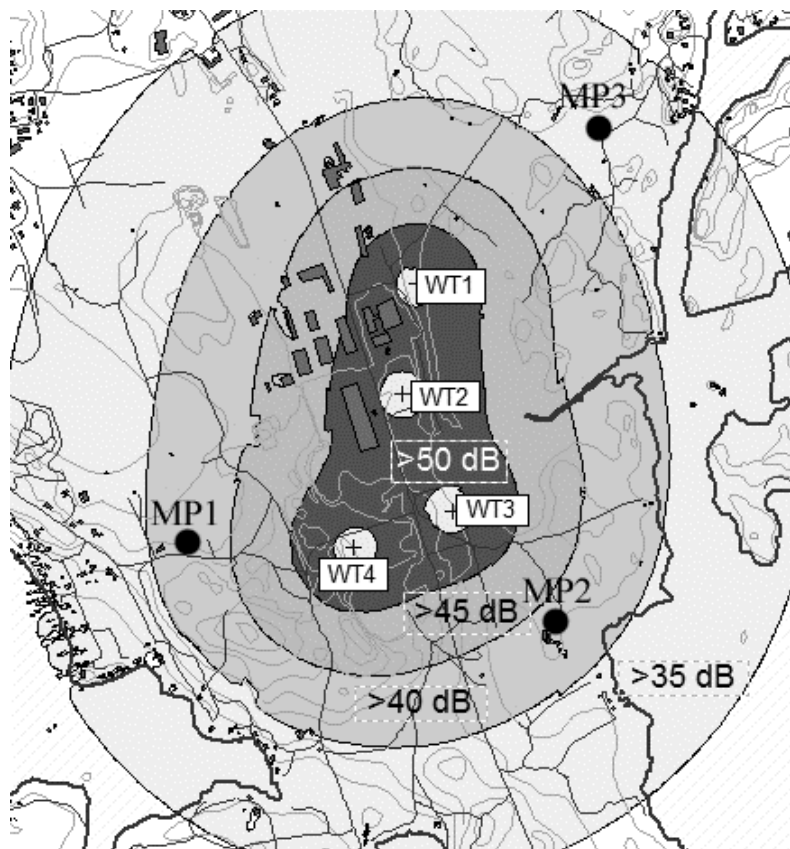


Kuva 2. Tuulivoimalan tonaalisuusanalyysi [2].

3 TUULIVOIMALOIDEN SYNNYTTÄMÄN MELUN LEVIÄMISEN LASKENNALLINEN ARVIOINTI

Laskennallisen arvioinnin lähtötietoina käytettiin tuulivoimaloille mitattuja äänitehotasoja ja kolmiulotteista maastomalliaineistoa. Voimalan synnyttämä melu mallinnettiin ympäristöleivänä pistelähteenä, joka sijoitettiin voimalan napakorkeuteen (hub height). Tulokset (ekvivalenttimelutaso, L_{Aeq}) laskettiin CadnaA 4.2-melulaskentaohjelmalla kahden metrin korkeudelle maan pinnasta. ISO 9613-2 laskentamalli on ns. myötätuulimalli, joka kuvaa tilannetta, jossa tarkastelupiste on melulähteeseen nähden myötätuulen puolella.

Kuvassa 3 on esitetty laskennallinen arviointi tuulipuiston (4 voimalaa) melun leviämisestä, kun voimaloiden äänitehotaso on ollut $L_{WA} = 104$ dB (tuulen nopeus 5 m/s).



Kuva 3. Tuulipuiston melun leviämisen laskennallinen arviointi. Melun tunnuslukuna käynnin aikainen keskiäänitaso L_{Aeq} , käynti.

3.1 Mittaustulosten ja laskennallisen arvioinnin vertailu

ISO 9613-2-laskentamallilla laaditun laskennallisen arvioinnin tuloksia verrattiin ympäristömelumittausten tuloksiin mittauspaikeilla 1-3. Tulokset on esitetty taulukossa 3. Taulukon arvoista nähdään, että laskennallisesti arvioidut ja mitatut tulokset ovat keskenään hämmästyttävän lähellä toisiaan.

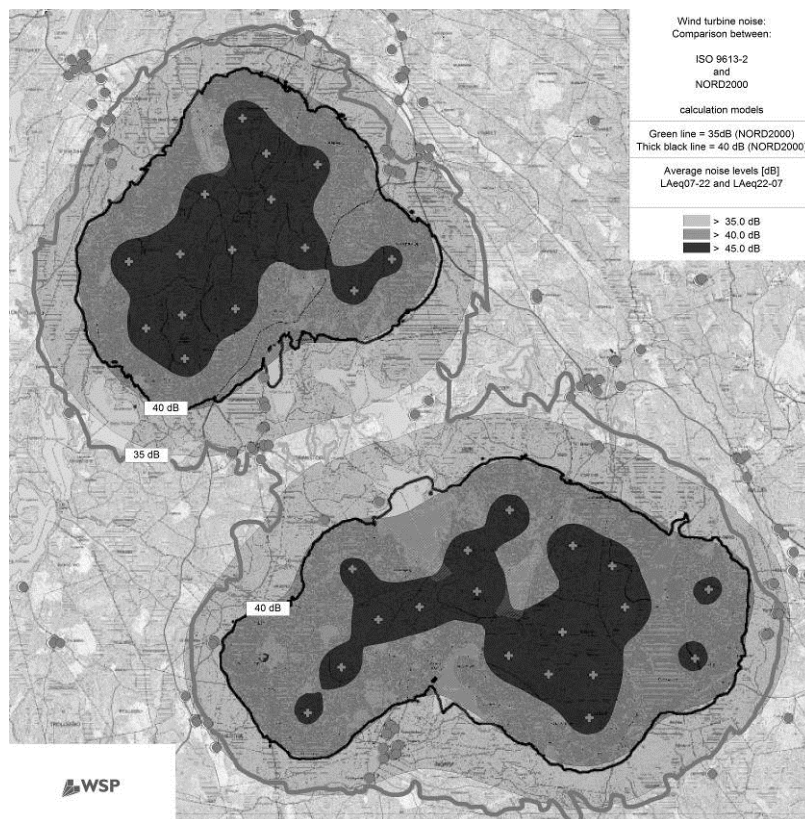
Taulukko 3. Laskennallisten ja mitattujen tulosten vertailu.

	Laskennallinen arvo, L_{Aeq} [dB]	Mitattu arvo, L_{Aeq} [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

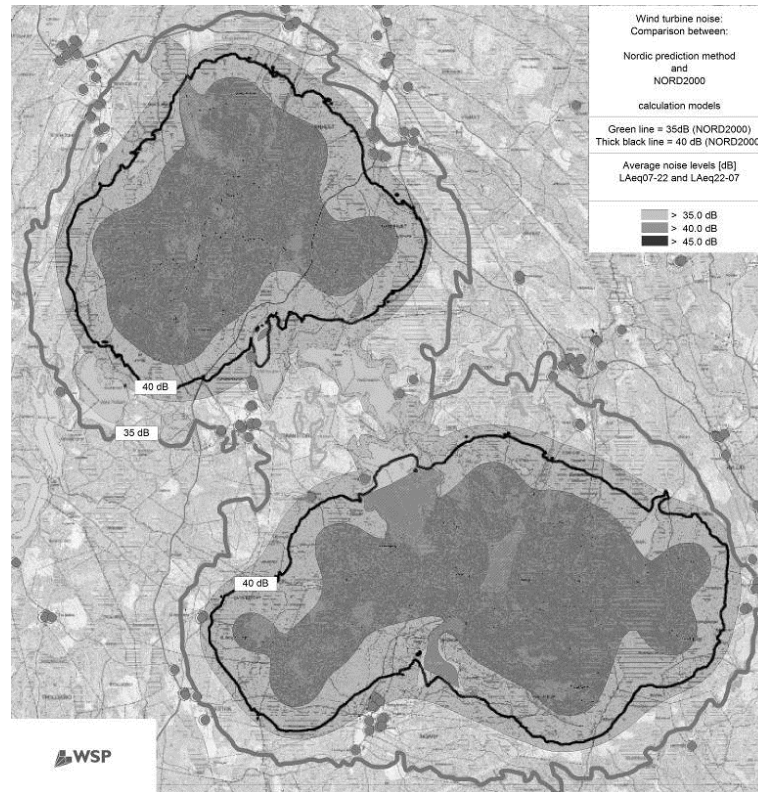
4 LASKENTAMALLIEN VERTAILU

Tuulivoimamelun mallinnuksessa yleisesti käytettyjä laskentamalleja ovat ISO 9613-2 lisäksi mm. Nord2000, Harmonoise ja pohjoismainen teollisuusmelumalli Nordic prediction method.

Erillisellä laskennalla verrattiin Nordic prediction method- ja ISO-9613-2-laskentamallien antamia tuloksia Ruotsissa (WSP Akustik Göteborg) NORD2000-mallilla tehtyyn laskennalliseen arvioon erään toisen tuulipuiston tapauksessa. Tulokset on esitetty kuvissa 4 ja 5.



Kuva 4. Laskentamallien vertailu NORD2000 (35 dB ja 40 dB viivat) vs. ISO 9613-2 (meluvyöhykkeet).



Kuva 5. Laskentamallien vertailu NORD2000 (35 dB ja 40 dB viivat) vs. Nordic prediction method (meluvyöhykkeet).

Kuvien tuloksista havaitaan, että ISO 9613-2 ja NORD2000 antamat tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan. Sen sijaan Nordic prediction method-laskentamallilla lasketut meluvyöhykkeet jäävät muita malleja pienemmiksi.

5 YHTEENVETO

Kun mitattuja ja laskennallisesti arvioituja tuloksia verrattiin keskenään, havaittiin, että ISO 9613-2-laskentamallilla arvioidut tulokset vastasivat hyvin mittauksista saatuja tuloksia. Laskentamallien vertailussa ISO 9613-2-mallin tulokset vastasivat hyvin NORD2000-laskentamallilla saatuja tuloksia. ISO 9613-2 tuntuisikin sopivalta laskentamallilta tuulivoimaloiden melun laskennalliseen arviointiin erityisesti maa-alueilla.

6 VIITTEET

[1] Ympäristöministeriö, Tuulivoimarakentamisen suunnittelu: Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012.

[2] Furuholm H, Scheuer J, PM 10171696.01 Acoustic noise measurements in accordance with IEC 61400-11 edition 2.1, WSP Akustik, Göteborg

International Standard, IEC 61400-11 edition 2.1, Wind turbine generator systems, part 11, Acoustic noise measurement techniques, IEC 2006-11

International Standard ISO 9613-2, 1st edition, Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors, part 2. General method of calculation, ISO 1996-12-15