

16X199888.10.Q860-002  
25.2.2015



## TUULIWATTI OY

Pori Peitto tuulivoimapuisto – sisätilan melumittaukset  
Porin Saaristotie 862

## **Yhteenveto**

Pöyry Finland Oy mittasi sisätilamelua yhden vuorokauden ajan osoitteessa Porin Saaristotie 862, Pori. Mittaukset suoritettiin kansallisten sisätilan mittaushjeiden mukaisesti kolmella mittarilla, joista kaksi sijaitsivat huoneen yleisissä tiloissa ja yksi huoneen 3D nurkassa. Mittaukset tehtiin, koska haluttiin selvittää Porin Peittoon tuulivoimapuiston sisätiloihin aiheuttama melua.

Mittausten perusteella tunnin painottomat Leq,1h energiakeskiarvot alittavat Asumisterveysohjeen ohjearvon selvästi. Tuulivoimaloiden melu on erotettavissa toisinaan ikkunan kohdalla, joka on äänieristyksen heikoin kohta tai kohta, jossa rakennuksen aksiaalinen ensimmäinen huonemoodi aiheuttaa kohouman tuloksiin. Rakennuksen vaipan alustava ilmaäänieristys ei poikkea merkittävästi Tanskan DSO:n mukaisesta käyrästä samoilla taajuuksilla.

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

# RAPORTTI

St1 Oy / TuuliWatti Oy  
Jari Suominen  
Purotie 1/PL 100  
00381 Helsinki

**Päiväys 25.2.2015**

**Viite 16X199888.10.Q860-002**  
Sivu 1 (13)  
Yhteyshö Carlo Di Napoli  
Teollisuusmeluselvitykset  
Puh. 040 5857 674  
S-posti: carlo.dinapoli@poyry.com

## Sisältö

### Yhteenveto

<b>1</b>	<b>YLEISTÄ</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>MITTAUSMENETELMÄT</b> .....	<b>2</b>
2.1	Mikrofonien sijoittelu.....	2
2.2	Teoreettiset huonemoodit .....	5
2.3	Mittauslaitteisto.....	5
<b>3</b>	<b>MITTAUSTULOKSET</b> .....	<b>6</b>
3.1	Voimaloiden tehotaso ja tuulen suunta.....	6
3.2	Melumittauksien tulokset .....	7
3.3	Ohjearvovertailu.....	8
3.4	Alustava äänieristys.....	9
<b>4</b>	<b>MITTAUSEPÄVARMUUS</b> .....	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>10</b>
	<b>VIITTEET</b> .....	<b>10</b>

### Liitteet

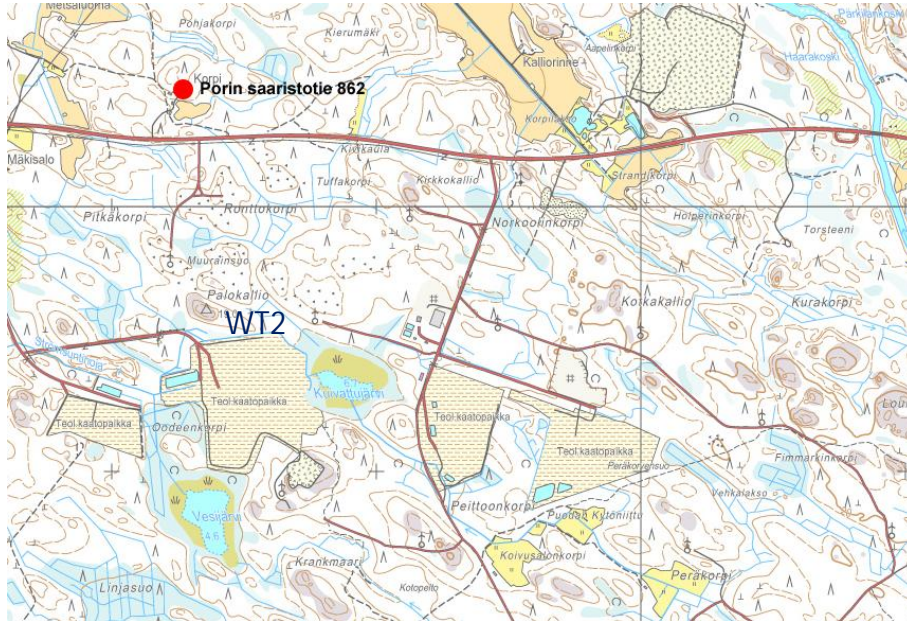
Liite 1	Yksityiskohtaiset tunnin Leq,1h energiakeskiarvon tulokset kolmesta mittarista [dB]
Liite 2	Laajennettu mittauksen epävarmuuslaskelma
Liite 3	Huonemoodit kalustamattomassa huoneessa

### Jakelu

(.pdf)	Tuuliwatti Oy
(1)	Pöyry/arkisto

## 1 YLEISTÄ

Pöyry Finland Oy mittasi yhden vuorokauden sisätilan meluja osoitteessa Porin Saaristotie 862, Pori kansallisten sisätilan melumittausohjeiden mukaan. Mittaukset tehtiin, koska haluttiin selvittää Porin Peittoon tuulivoimapuiston sisätiloihin aiheuttama melua. Tässä raportissa käydään läpi mittausjärjestely sekä esitetään yksityiskohtaiset tulokset.



**Kuva 1. Asuinrakennuksen ja WT2 sijainnit**

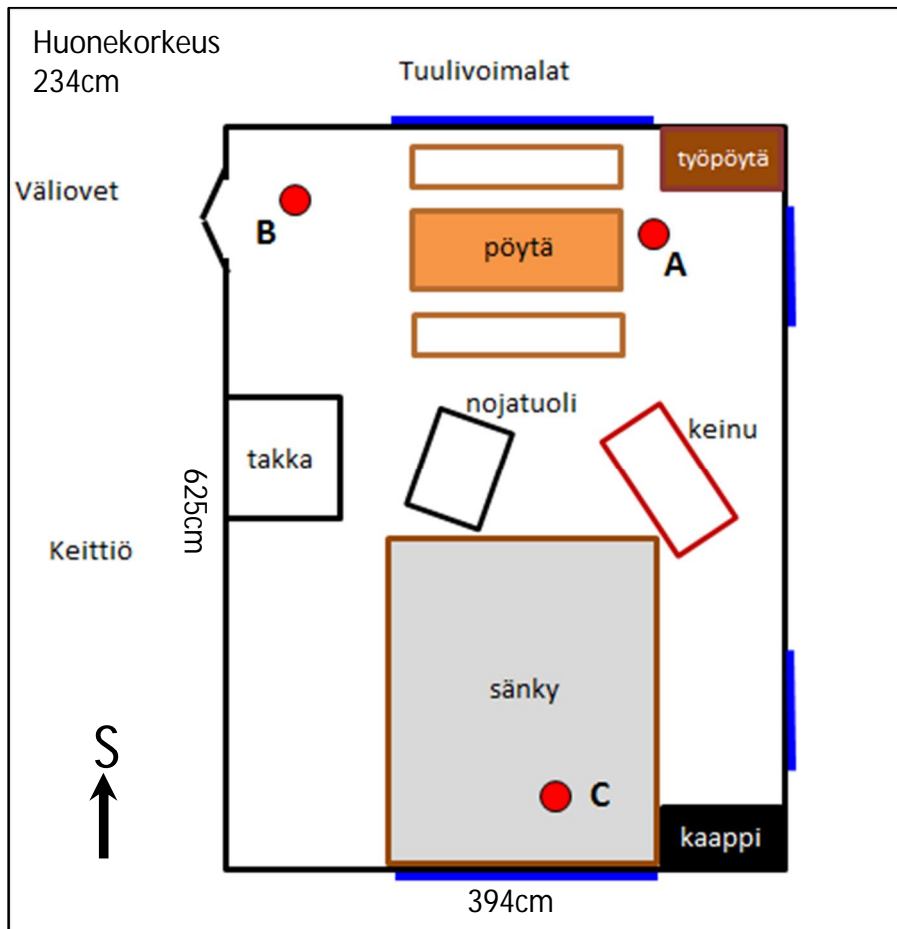
Pöyryltä mittaushankkeesta vastasi DI Carlo Di Napoli avustajinaan DI Panu Lehto (Pöyry Finland Oy) sekä Veli-Matti Yli-Katkä (Ramboll Finland Oy).

## 2 MITTAUSMENETELMÄT

### 2.1 Mikrofonien sijoittelu

Mittaukset toteutettiin Porin Saaristotie 862:ssa soveltaen sisätilan melumittausohjeita [1], [2] ja [3]. Pientaajuista melua mitattiin jatkuvatoimisesti 28. 1. klo 11 – 29.1.2015 klo 09 asunnon yhdistetyssä makuu- ja olohuoneessa.

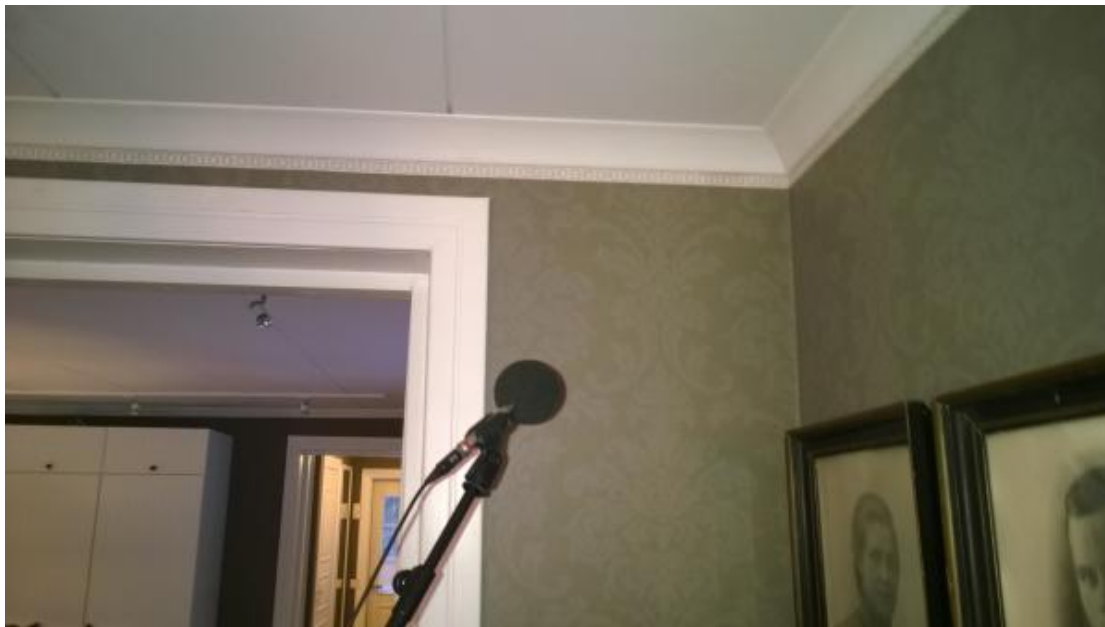
Voimaloiden puoleisessa päädyssä on pöytä ja tuoliryhmä ja vastakkaisessa päädyssä sänky. Mikrofonit oli sijoitettu huoneeseen kolmeen kohtaan, joista kaksi voimaloiden päähän ja yksi sängyn laidalle lähelle vastakkaisen puolen ikkunaa. Molemmissa päädyissä oli isot ikkunat ja päätyseinässä kaksi sitä pienempää ikkunaa. Keinu poistettiin huoneesta mittareiden tilantarpeen vuoksi.



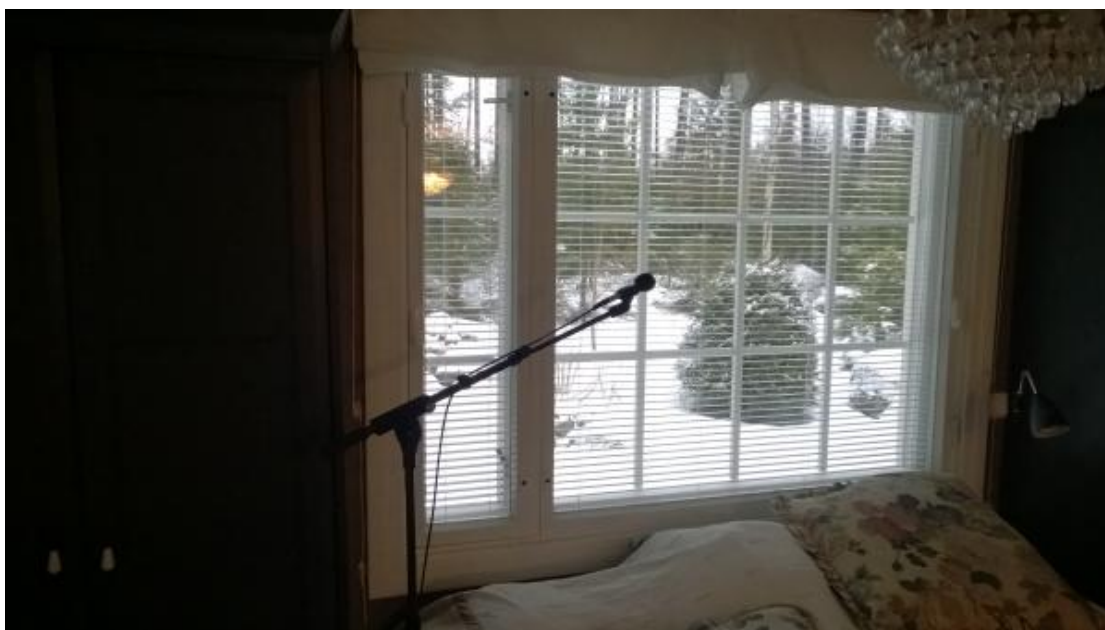
**Kuva 2. Mittauspisteiden sijainti huoneessa**

Mittari A oli sijoitettu pöytäryhmän viereen 1,5m korkeudelle lattiasta ja 70cm:n etäisyydelle pöydästä. Mittarilla B tehtiin 3D kulmamittaus vähintään 0,5m:n etäisyydellä kustakin heijastavasta pinnasta eli seinistä ja katosta. Mittari C oli sijoitettu sängyn päälle 1,5m:n korkeudelle ja vähintään 0,5m:n etäisyydelle heijastavista pinnoista sekä 80cm:n päähän sängystä.

Keittiön ja olohuoneen väliovet suljettiin mittauksen ajaksi keittiöstä kantautuvien häiriöäänien vuoksi (kylmälaitteet). Ennen mittauksen aloitusta tarkistettiin ikkunoiden kiinnitys ja siirrettiin seinäkello keittiöön.



**Kuva 3. Mittari B, 3D kulmamittaus.**



**Kuva 4. Mittari C sängyn päädystä**



**Kuva 5. Mittari B ja A tuulivoimaloiden puoleisessa päädysssä.**

## 2.2 Teoreettiset huonemoodit

Huonemoodit, jotka kuvastavat mahdollisia seisovia aaltoja kalustamattomassa huoneessa, laskettiin huoneen pituuksista. Pientaajuista melua ajatellen merkittävät moodit on lueteltu alla olevassa taulukossa.

**Taulukko 1. Merkittävimmät pientaajuisten melun moodit**

Aksiaalinen 001	Tangentiaalinen 110	Viisto 111
27,5 Hz	51,6 Hz	89,8 Hz

Yksityiskohtainen moodilaskentataulukko on esitetty liitteessä 3.

## 2.3 Mittauslaitteisto

Mittauksissa määritettiin kolmella tuulisuojatulla (kevyt/ohut suojaus) 1.luokan mittarilla melun kokonaistaso  $L_{Aeq}$ , muita kokonaistason ja statistiikan parametreja sekä 1/3 oktaavikaistoja. Lisäksi kaksi mittareista nauhoitti ääntä koko mittauksen ajan tallennusmoodilla 16 bit 44 kHz.

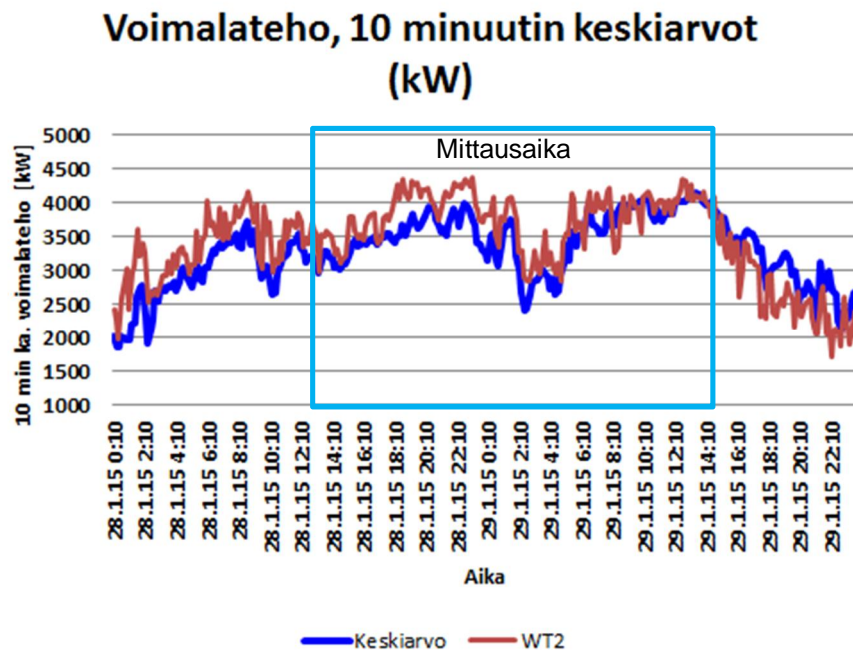
Mittarit kalibroitiin ennen ja jälkeen mittauksen luokan 1. äänitasokalibraattorilla (1kHz, 94 dB) jäljitettävästi. Myös aikaisignaali kalibroitiin vastaamaan Mikesin kansallista aikaa (mittareiden aikapoikkeama  $\pm 1s$  / [www.mikes.fi](http://www.mikes.fi)). Mittarit toimivat toisistaan riippumattomina omilla 12V:n akustoillaan irti sähköverkosta. Huoneiston lämpötila oli noin 20 °C ja ilmanpaine 993 hPa (B&K painemittari).

### 3 MITTAUSTULOKSET

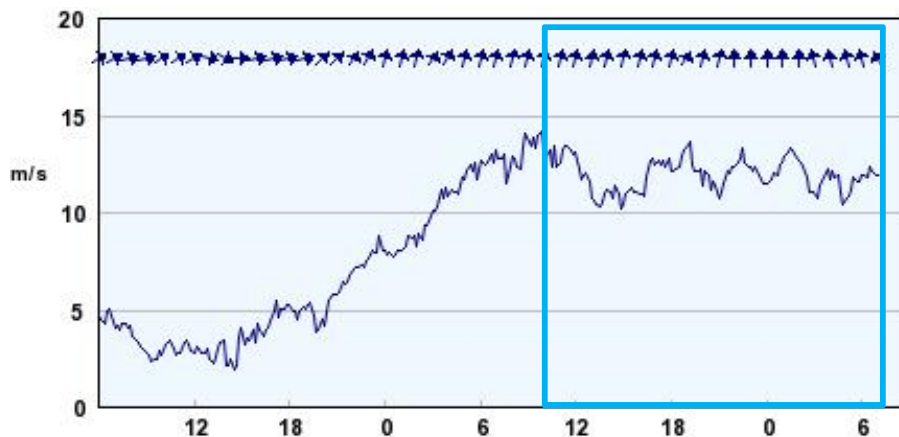
Mittaustulokset on esitetty tiivistetysti alla ja tätä yksityiskohtaisemmin liitteessä 1.-2.

#### 3.1 Voimaloiden tehotaso ja tuulen suunta

Voimalat toimivat mittausajan lähellä nimellistehoä tai nimellisteholla joidenkin tuntien ajan. Tuulipuisto on varsin laajalla alueella ja koko puistoa on vaikea tai mahdotonta saada täsmälleen myötätuulen puolelle siten, että kaikki voimalat toimisivat nimellisteholla. Alla on esitetty graafisesti sekä kaikkien voimaloiden että lähimmän voimalan WT2 tehon keskiarvo mittausaikana. Tuulensuunta oli sellainen, että asuinrakennus sijaitsi voimaloista katsottuna suoraan myötätuulen puolella.



Kuva 6. Voimalatehotaso mittauksen aikana, 10 minuutin keskiarvot kaikkien voimaloiden osalta (sininen käyrä) sekä WT2 (viininpunainen käyrä). Mittausaika vihreän ruudun sisällä.

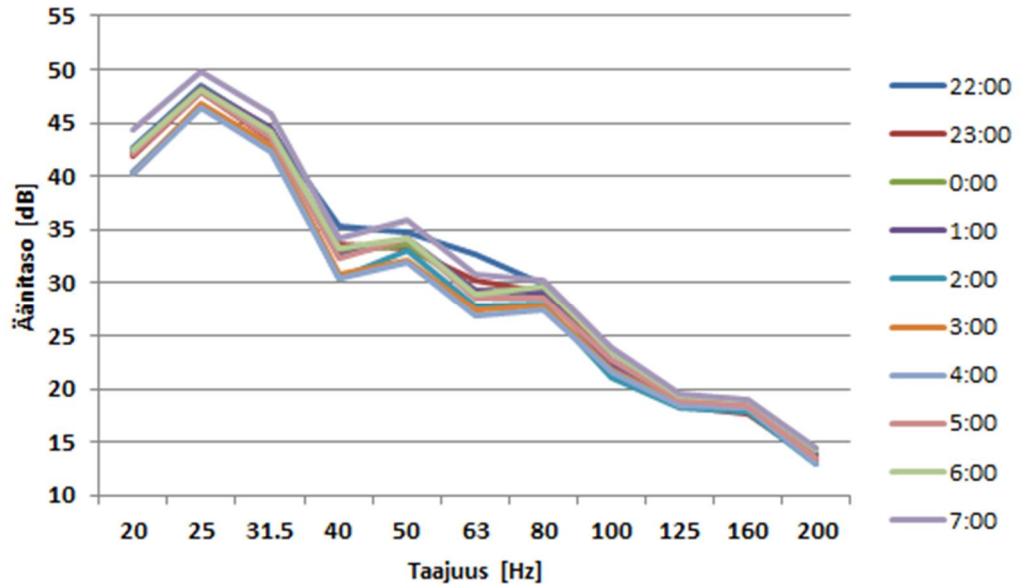


Kuva 7. Pori Tahkoluoto, tuulennopeus ja -suunta. FMI Tahkoluodon mittausasema 27.-29.1.2015. Mittausaika sinisen laatikon sisällä.



### 3.2 Melumittaustulokset

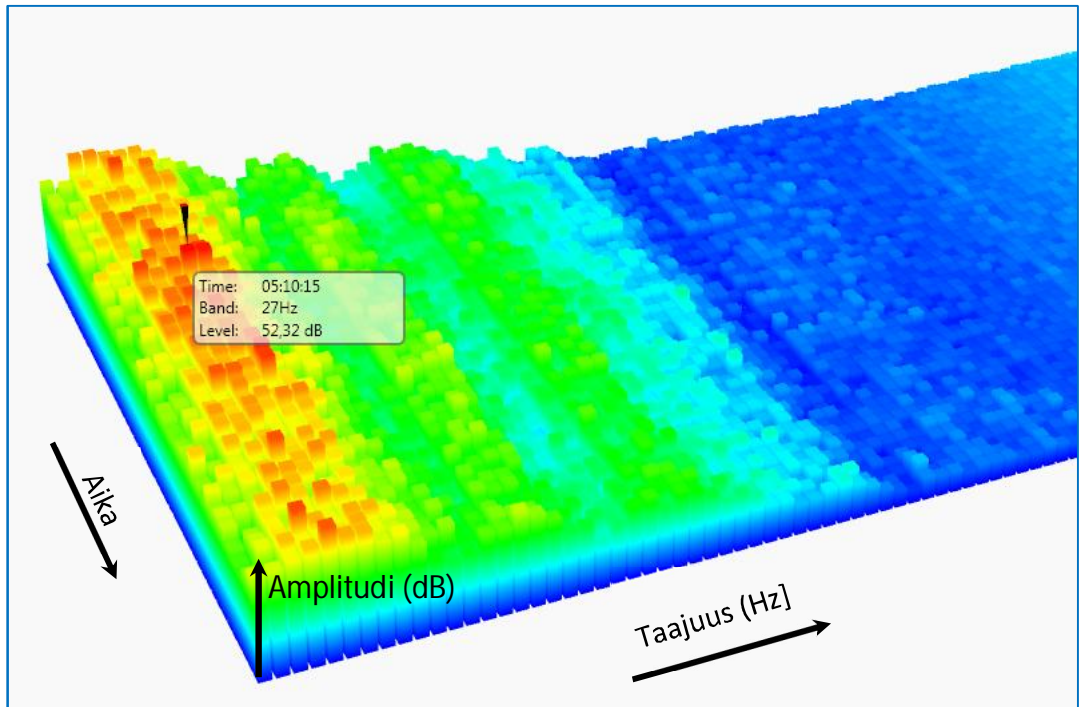
Melumittaustulokset on laskettu ohjeen YM OH 3/2014 [3] mukaisesti kolmen mittarin tulosten Leq energiakeskiarvona kunkin 20-200Hz 1/3 oktaavikaistan osalta.



**Kuva 8. Tunnin Leq energiakeskiarvot kolmen mittarin tuloksista taajuusvälillä 20-200Hz. Mittausten perusteella suurin tunnin Leq arvo havaittiin 29.1.2015 klo 07-08**

Mittaustulosten perusteella suurin äänitaso saavutettiin aamulla 29.1. klo 07-08 mittauksessa taajuuskaistalla 25 Hz arvolla 50 dB. Kaikki muut tulokset ovat tätä pienempiä. Mittauksiin sisältyy nyt kaikki melu huoneiston sisällä eikä tuloksista ole tehty taustamelun tai muun melun vähennyksiä lainkaan. Keskiäänitason LAeq kokonaistulokset olivat pääsääntöisesti alle 20 dB ja usein mitattavuuden rajoilla.

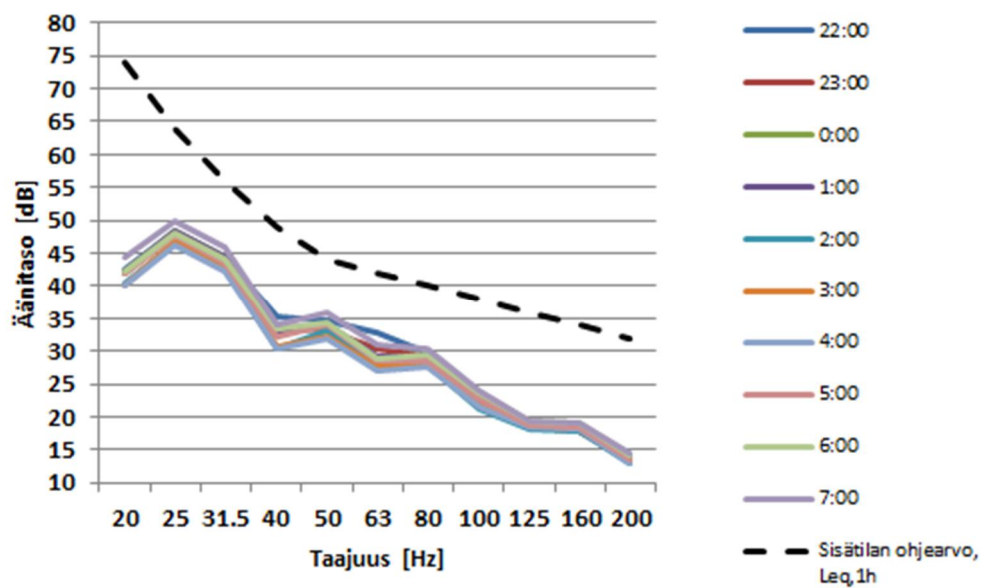
Voimaloista kantautuva sykintä kuului vaimeana etenkin ikkunoiden läpi ja oli havaittavissa ääninauhoitussignaalista 1-3 kertaa tunnissa. Suurin LAFmax hetkellisarvo oli tällöin 26 dB(A). Taajuudella 27 Hz hetkellistulos oli 52 dB klo 05:10:15. Tämän perusteella voidaan todeta että edes satunnaiset piikit ( $L_{LFmax,27Hz}$ ) eivät yltäneet taajuuden 25Hz osalta sisätilan tunnin ohjearvotasolle 64 dB.



**Kuva 9. Modulaationpiikin aiheuttama hetkellinen äänitason nousu mittarilla 2, 3D kulmamittaus. 1/12 oktaavikaista aikaresoluutiolla 2 s ja taajuusresoluutiolla 0,5 Hz.**

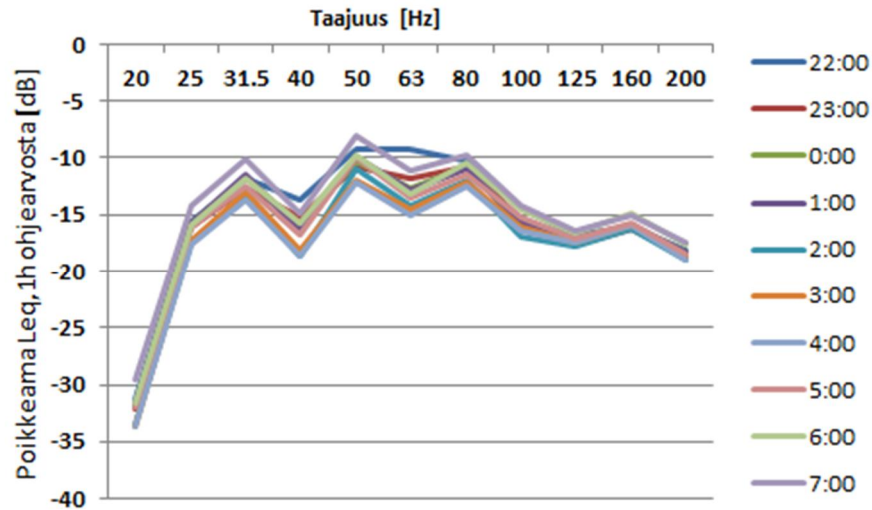
Satunnaiset tuulenpuuskat aiheuttivat selkeästi erottuvaa matalataajuisia huminaa osuessaan talon ulkorunkoon ja ikkunoihin. Yöllä havaitun sateen meluvaikutus ikkunoihin jäi vähäiseksi. Tallennettu ääniaineisto käytiin läpi merkittävien poikkeamien havaitsemiseksi.

### 3.3 Ohjearvovertailu



**Kuva 10. Leq,1h tulosten vertailu sisätilan ohjearvoon nähden**

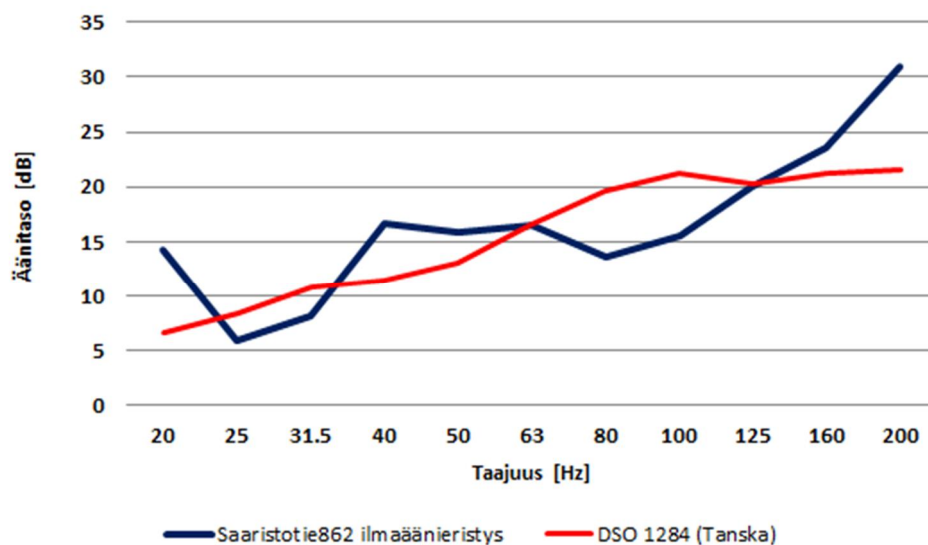
Yllä olevassa kuvassa on esitetty katkoviivalla Asumisterveysohjeen (2003) mukainen tunnin Leq,1 h ohjearvo pientaajuiselle melulle taajuusvälillä 20-200Hz. Vastaavasti alla olevassa kuvassa on tulosten ero suhteessa ohjearvoihin. Kuvista havaitaan että pienin erotus suhteessa ohjearvoon on 50 Hz:ssä arvolla -8 dB. Leq,1 h tulokset siis jäävät vähintään 8 dB alle ohjearvorajan. Mittauksen epävarmuus huomioiden maksimitulos on 5,6 dB alle ohjearvorajan (ks. kpl 4, mittausepävarmuus).



Kuva 11. Leq,1h tulosten vertailu (erotus) sisätilan ohjearvoon nähden

### 3.4 Alustava äänieristys

Sisätilan lisäksi mitattiin ulkomelua 1.luokan mittarilla samassa kohdassa, jossa varsinainen ulkomelumittaus tehtiin 23.-24.10.2014. Ulkomelumittauksen tuloksista on vähennetty geometrinen äänen leviämismuunnos 0,3 dB seinän eteen ja laskettu alustava seinämän ilmaäänieristys. Arvo on kuitenkin viitteellinen tässä vaiheessa kenttäolosuhteesta johtuen.



Kuva 12. Alustava seinämän ilmaäänieristys

Kuvasta nähdään että ilmaäänieristys ei poikkea merkittävästi Tanskan DSO:n vastaavista arvoista ja on pienimmillään tässä huoneessa 25 Hz:ssä arvolla 6 dB.

#### 4 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittausepävarmuus on laskettu Leq,1 h arvojen hajonnasta ja kolmen mittarin tarkkuudesta kussakin 1/3 oktaavikaistassa. Näiden perusteella arvioimme mittausepävarmuudeksi  $\pm 2,4$  dB. Yksityiskohtainen epävarmuustarkastelu on esitetty liitteessä 2.

#### 5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Pöyry Finland Oy mittasi sisätilamelua yhden vuorokauden ajan osoitteessa Porin Saaristotie 862, Pori. Mittaukset suoritettiin kansallisten sisätilan mittausohjeiden mukaisesti kolmella mittarilla, joista kaksi sijaitsivat huoneen yleisissä tiloissa ja yksi huoneen 3D nurkassa. Mittaukset tehtiin, koska haluttiin selvittää Porin Peittoon tuulivoimapuiston sisätiloihin aiheuttama melua.

Mittausten perusteella tunnin painottomat Leq,1h energiakeskiarvot alittavat Asumisterveysohjeen ohjearvon selvästi. Tuulivoimaloiden melu on erottavissa toisinaan ikkunan kohdalla, joka on äänieristyksen heikoin kohta tai kohta, jossa rakennuksen aksiaalinen ensimmäinen huonemoodi aiheuttaa kohouman tuloksiin. Rakennuksen vaipan alustava ilmaäänieristys ei poikkea merkittävästi Tanskan DSO:n mukaisesta käyrästä samoilla taajuuksilla.



Oili Tikka  
Johtaja, Mittauspalvelut  
Pöyry Finland Oy Energia



Carlo Di Napoli  
Johtava asiantuntija, meluselvitykset  
Pöyry Finland Oy Energia

#### VIITTEET

- [1] Asumisterveysohje, 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2003.
- [2] Ympäristömelun mittaaminen. Ohje 1/1995. Ympäristöministeriö, Helsinki 1995
- [3] YM OH 4/2014, Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

**Liite 1. Yksityiskohtaiset tunnin Leq,1h energiakeskiarvon tulokset kolmesta mittarista [dB]**

Tunti	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
22:00	42.70	48.48	44.28	35.38	34.71	32.78	29.82	23.57	19.20	17.96	13.84
23:00	41.88	47.97	43.35	33.71	33.26	30.28	29.21	22.58	18.37	17.74	13.41
0:00	42.20	48.28	44.38	32.96	33.68	29.30	29.20	21.96	18.91	18.03	13.68
1:00	42.28	48.26	44.49	32.58	34.14	29.23	29.08	22.23	18.99	18.04	13.75
2:00	40.46	46.64	42.86	30.45	33.10	27.78	27.98	21.12	18.27	17.77	13.05
3:00	40.29	46.81	42.94	30.82	32.08	27.51	27.86	21.85	18.65	18.18	13.35
4:00	40.27	46.37	42.36	30.37	31.86	26.94	27.51	21.66	18.48	18.18	13.06
5:00	42.07	47.88	43.51	32.32	34.17	28.48	28.61	22.73	18.92	18.34	13.50
6:00	42.39	48.19	44.14	33.35	34.28	28.87	29.62	23.55	19.43	19.05	14.35
7:00	44.36	49.89	45.84	34.12	35.95	30.85	30.29	23.90	19.55	18.99	14.51

**Liite 2. Laajennettu mittauksen epävarmuuslaskelma**

Paikka: <b>Peitto Saaristotie 862</b>												
Hz	Taajuus											
	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	
22-23	42.7	48.5	44.3	35.4	34.7	32.8	29.8	23.6	19.2	18.0	13.8	
23-00	41.9	48.0	43.4	33.7	33.3	30.3	29.2	22.6	18.4	17.7	13.4	
00-01	42.2	48.3	44.4	33.0	33.7	29.3	29.2	22.0	18.9	18.0	13.7	
01-02	42.3	48.3	44.5	32.6	34.1	29.2	29.1	22.2	19.0	18.0	13.8	
02-03	40.5	46.6	42.9	30.5	33.1	27.8	28.0	21.1	18.3	17.8	13.0	
03-04	40.3	46.8	42.9	30.8	32.1	27.5	27.9	21.9	18.6	18.2	13.4	
04-05	40.3	46.4	42.4	30.4	31.9	26.9	27.5	21.7	18.5	18.2	13.1	
05-06	42.1	47.9	43.5	32.3	34.2	28.5	28.6	22.7	18.9	18.3	13.5	
06-07	42.4	48.2	44.1	33.3	34.3	28.9	29.6	23.5	19.4	19.0	14.3	
07-08	44.4	49.9	45.8	34.1	35.9	30.8	30.3	23.9	19.6	19.0	14.5	
Mittausten lukumäärä:	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
ka [dB]:	<b>42.1</b>	<b>48.0</b>	<b>43.9</b>	<b>32.9</b>	<b>33.9</b>	<b>29.5</b>	<b>29.0</b>	<b>22.6</b>	<b>18.9</b>	<b>18.3</b>	<b>13.7</b>	
Poikkeamamittausten lkm:	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
Poikkeamakerroin:	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	
Mittauspoikkeama [dB]:	1.3	1.0	1.0	1.7	1.2	1.7	0.9	0.9	0.4	0.5	0.5	
Mittauksen epävarmuus [dB]:	0.7	0.0	0.5	0.9	0.6	0.9	0.5	0.5	0.2	0.2	0.3	
Etäisyyspoikkeama [dB]:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Etäisyys epävarmuus [dB]:	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mittari epävarmuus [dB]:	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Epävarmuuksien nelösomma [dB]:	5.7	5.2	5.5	6.0	5.6	6.1	5.5	5.5	5.3	5.3	5.3	
												k.a.
<b>MITTAUSEPÄVARMUUS [dB]:</b>	<b>2.4</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>

**Liite3. Huonemoodit kalustamattomassa huoneessa**

Lx	6.25	m		
Ly	3.94	m		
Lz	2.34	m		
c	344	m/s		<b>f [Hz]</b>
aksaalinen	1	0	0	27.5
aksaalinen	0	1	0	43.7
aksaalinen	0	0	1	73.5
aksaalinen	2	0	0	55.0
aksaalinen	0	2	0	87.3
aksaalinen	0	0	2	147.0
tangentiaalinen	1	1	0	51.6
tangentiaalinen	0	1	1	85.5
tangentiaalinen	1	0	1	78.5
viisto	1	1	1	89.8
viisto	2	1	1	101.7
viisto	1	2	1	117.4
viisto	1	1	2	155.8
viisto	2	2	1	126.7
viisto	2	1	2	162.9
viisto	1	2	2	173.2
viisto	2	2	2	179.6