

# Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittaamalla

Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk genom mätning

RAKENNETTU  
YMPÄRISTÖ





# Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittaamalla

**Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk  
genom mätning**

Helsinki 2014

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖHALLINNON OHJEITA 3 | 2014  
Ympäristöministeriö  
Rakennetun ympäristön osasto

Taitto: Marianne Laune  
Kansikuva: Feodor Gurvits / YHA-Kuvapankki

Julkaisu on saatavana vain internetistä:  
[www.ym.fi/julkaisut](http://www.ym.fi/julkaisut)

Helsinki 2014

ISBN 978-952-11-4276-5 (PDF)  
ISSN 1796-1653 (verkkokoj.)

## ESIPUHE

Ympäristöministeriö antaa seuraavan ohjeen tuulivoimaloiden melupäästön mittaamisesta. Ohje annetaan ympäristönsuojelulain (86/2000) 108 §:n ja 117 §:n nojalla. Ohje tulee voimaan 28.2.2014 ja on voimassa toistaiseksi.

Melu on ympäristönsuojelulain (86/2000) 3 §:ssä tarkoitettu ympäristön pilaantumista aiheuttava päästö. Lain 5 §:n mukaan toiminnan harjoittajan on oltava riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (*selvilläolovelvollisuus*). Lain 25 §:n mukaan kunnan on alueellaan huolehdittava paikallisten olojen edellyttämästä tarpeellisesta ympäristön tilan seurannasta.

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 5 §:n mukaan alueidenkäytön suunnittelun tavoitteena on edistää mm. turvallisen, terveellisen ja viihtyisän elin- ja toimintaympäristön luomista. Alueidenkäytössä, perustuen kaavojen sisältövaatimuksiin, on ehkäistävä melusta, tärinästä ja ilman epäpuhtauksista aiheutuvaa haittaa ja pyrittävä vähentämään jo olemassa olevia haittoja.

Tuulivoimaloiden melupäästön mittaushoje on tarkoitettu ohjeeksi arvioitaessa tuulivoimaloiden tuottamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa, sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä.

Ylijohtaja  
Helena Säteri

Ympäristöneuvos  
Ari Saarinen



# SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>I Johdanto</b> .....	7
<b>2 Sovellusala</b> .....	8
<b>3 Määritelmiä</b> .....	9
<b>4 Mittauslaitteisto</b> .....	13
4.1 Äänitekniset laitteet .....	13
4.2 Ympäristöoloja mittaavat laitteet .....	13
<b>5 Mittaaminen</b> .....	14
5.1 Äänenpainetasojen mittaukset .....	14
5.1.1 Mittauspisteen sijainti .....	14
5.1.2 Mikrofonin sijoitus .....	15
5.1.3 Mittausten suorittaminen .....	16
5.2 Tuulen nopeuden määrittäminen .....	16
5.3 Taustamelukorjaus .....	18
5.4 Äänitehotason määrittäminen .....	18
5.5 Melupäästön kapeakaistaisuuden ja tonaalisuuden määrittäminen .....	19
5.6 Melun impulssimaisuuden määrittäminen .....	20
5.7 Melun merkityksellisen sykinnän (amplitudimodulaatio) määrittäminen ...	20
5.8 Tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen .....	21
<b>6 Mittausten raportointi</b> .....	22
<b>Viitteet</b> .....	26

<b>Förord</b> .....	27
<b>1 Inledning</b> .....	28
<b>2 Tillämpningsområde</b> .....	29
<b>3 Definitioner</b> .....	30
<b>4 Mätapparatur</b> .....	34
4.1 Ljudtekniska apparater .....	34
4.2 Apparater som mäter miljöförhållanden.....	34
<b>5 Mätning</b> .....	35
5.1 Mätningar av ljudtrycksnivåer.....	35
5.1.1 Mätpunktens placering .....	35
5.1.2 Mikrofonens placering.....	36
5.1.3 Mätningarnas utförande .....	37
5.2 Bestämning av vindhastigheten .....	38
5.3 Korrigering för bakgrundsbuller .....	39
5.4 Bestämning av ljudeffektnivån.....	40
5.5 Bestämning av bullerutsläppets smalbandighet och tonalitet .....	40
5.6 Bestämning av bullrets impulsart.....	41
5.7 Bestämning av bullrets signifikanta pulserande (amplitudmodulering) .....	41
5.8 Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk i ett vindkraftsområde .....	42
<b>6 Rapportering av mätningarna</b> .....	43
<b>Hänvisningar</b> .....	47
<b>Kuvailulehti</b> .....	48
<b>Presentationsblad</b> .....	49
<b>Documentation page</b> .....	50



# 1 Johdanto

Tässä ohjeessa esitetään menettelytavat tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melupäästön (äänitehotason) mittaamiseksi ja arvioimiseksi.

Tuulivoimaloiden melun mittaaminen poikkeaa muun ympäristömelun mittaamisesta. Mittaukset tehdään tuulisissa olosuhteissa, joissa taustamelu vaikeuttaa tuulivoimalasta syntyvän melun mittaamista [1]. Tuulivoimalan teho ja melupäästö muuttuvat tuulen nopeuden vaihdellessa ja melu voi olla kapeakaistaista, impulssimaista ja merkityksellisesti sykkivää (amplitudimodulaatio). Tuulivoimaloiden tuottama ääni ja äänenvoimakkuus vaihtelevat merkittävästi ajallisesti. Voimala toimii nimellistehollaan, jolloin sen melupäästö on suurin, vain osan toiminta-ajastaan. Vertailukelpoisten tulosten mittaaminen edellyttää yksityiskohtaisesti määriteltyjä menettelytapoja.

Ohjeessa on annettu tietoja mittausten menetelmistä, mittauksissa käytettävistä laitteista ja tulosten esittämistavasta. Mittaukset voidaan tehdä kaikissa suunnissa tuulivoimalan (tai tuulivoimalaryhmän) ympärillä.

Tuulivoimaloiden melupäästön mittaaminen ja analysointi edellyttävät akustiikan erityisosaamista, jotta tulokset olisivat luotettavia, jäljitettäviä ja vertailukelpoisia.

## 2 Sovellusala

Mittausohjetta voidaan käyttää yksittäisen tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen samanlaisten tuulivoimaloiden melupäästön takuarvon (declared value) todentamiseen, sekä melumallinnuksessa käytettyjen lähtöarvojen mittaamiseen tai todentamiseen.

Mittausohjetta voidaan lisäksi käyttää melutason arviointiin niissä tapauksissa, missä melutasoa ei voida suoraan mitata viitteen [4] mukaisella menettelyllä. Tällöin tuulivoimaloiden melutaso määritetään laskemalla tarkastelupisteissä vallitsevat melutasot mitattuun melupäästöön ja ympäröivän maaston ominaisuuksiin perustuen. Koska menettelytapa (todentaminen) vastaa tai voi vastata melumallinnusta (mitoitus), tulosta ei ole mahdollista, ilman riittävää ääniteknistä tarkastelua, suoraan käyttää melun suunnittelu- ja tunnusarvojen (ohje ja raja-arvot) täyttymisen todentamiseen.

## 3 Määritelmiä

### Äänenpaine $p$ [Pa]

Ääneen liittyvä hetkellisen paineen ja staattisen ilmanpaineen ero, yleensä tehollisarvona.

### A-painotettu äänenpaine $p_A$ [Pa]

Äänenpaine määritettynä A-taajuuspainotusta käyttäen, yleensä tehollisarvona.

### Äänenpainetaso $L_p$ [dB]

Äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

### Äänitaso $L_{pA}$ [dB]

Hetkellisen A-painotetun äänenpaineen tehollisarvon ja vertailuäänepaineen suhteen neliön kymmenkertainen kymmenlogaritmi.

### Keskiäänitaso (ekvivalentti äänitaso, ekvivalenttitaso) $L_{Aeq}$ [dB]

A-painotetun äänenpaineen keskimääräistä tehollisarvoa määritetyllä aikavälillä ( $T$ ) vastaava äänitaso ( $L_{Aeq,T}$ ). Keskiäänitaso määritellään yhtälöllä

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{pA}(t)}{10}} dt \right) = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right),$$

missä

$t_1$  on määritellyn aikavälin  $T$  alkuhetki

$t_2$  on määritellyn aikavälin  $T$  loppuhetki

$L_{pA}(t)$  on tarkasteltavan äänen äänitason hetkellisarvo [dB]

$p_A(t)$  on tarkasteltavan äänen A-painotetun äänenpaineen hetkellisarvo [Pa]

$p_0$  on vertailuäänepaine 20  $\mu$ Pa.

### **Melutaso (meluimmissio) $L_{pA}$ [dB]**

Melulle altistuvan kohteen äänitaso.

### **Pienitaajuinen melu**

Pientaajuisella melulla tarkoitetaan tässä taajuusalueella 20 – 200 Hz esiintyvää melua. Alle 20 Hz taajuuksilla esiintyvää ääntä kutsutaan infraääneksi.

### **Taustamelu**

Muu kuin tuulivoimalan synnyttämä (mitattava) melu.

### **Signaali-kohinasuhde**

Signaali-kohina suhdetta käytetään kuvaamaan halutun signaalin (esimerkiksi tuulivoimalan äänen) erottuvuutta taustakohinasta (esimerkiksi virtauksen kasvustossa aiheuttama kohina). Mitä parempi signaali-kohinasuhde on, sitä vähemmän kohina häiritsee mittausta.

### **Suunnittelu- ja tunnusarvot**

Melun suunnittelu- ja tunnusarvoilla tarkoitetaan tässä ohjeessa melun raja- tai ohjearvoja, jotka perustuvat lainsäädäntöön, ympäristölupaan tai muuhun viranomaisohjeistukseen.

### **Melupäästö (meluemissio)**

Tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen samanlaisten tuulivoimaloiden äänitehotaso.

### **Melupäästön takuuarvo**

Valmistajan ilmoittama tuulivoimalan tuottaman melupäästön (äänitehotaso) takuuarvoa, jossa varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on noin 95 %. Melupäästöarvo on kaksiosainen muodostuen äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta.

### **Näennäinen äänitehotaso (apparent sound power level) $L_{WA,k}$ [dB]**

Taustamelukorjatuista äänenpainetasoista ( $L_{Aeq,c,k}$ ) määritetty näennäinen äänitehotaso, jota ei ole korjattu 10 m:n referenssikorkeuteen.  $L_{WA,k}$  edustaa näennäistä äänitehotasoa tuulivoimalan napakorkeuden tuulenopeusalueilla.

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \lg \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right]$$

missä

$L_{Aeq,c,k}$	on taustamelukorjattu A-painotettu äänenpainetaso
$R_1$	on lyhin etäisyys roottorin navasta mikrofoniin (m)
$S_0$	on referenssiala 1 m <sup>2</sup>
-6	korjauskertoimen -6 dB ottaa huomioon mittauksissa käytetyn levyn aiheuttaman äänen heijastuksesta syntyvän vahvistuksen

## **Näennäinen äänitehotaso (apparent sound power level) $L_{WA,10m,k}$ [dB]**

Referenssikorkeudella 10 m lasketulle tuulenopeudelle syntynvä näennäinen äänitehotaso.

### **Melun erityispiirteet**

Melun erityispiirteet ovat niitä äänen aika- tai taajuuskäyttäytymiseen liittyviä piirteitä, jotka lisäävät melun häiritsevyyttä melulle altistuvalla alueella. Melun erityispiirteitä ovat mm. kapeakaistaisuus, tonaalisuus, impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä.

### **Melun kapeakaistaisuus ja tonaalisuus**

Tonaalisuudella tarkoitetaan tässä yhden tai useamman äänoksen äänenpainetason ja peittoäänien tason erotusta kriittisellä kaistalla äänoksen (äänöksien) ympärillä.

Melu on kapeakaistaista tai tonaalista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänöksiä tai kapeakaistaisia komponentteja melulle altistuvalla alueella. Kapeakaistaisuus todetaan viitteen [2] mukaisella menettelyllä.

### **Äänes**

Yksittäisestä taajuudesta syntynyt ääni. Ääni, jonka äänenpaine vaihtelee sinimuotoisesti ajan funktiona.

### **Taajuuskaista, taajuusväli**

Kahden taajuuden suhde tai erotus.

### **Melun impulssimaisuus**

Melu on impulssimaista, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä lyhytkestoisia ääniä (transientteja) melulle altistuvalla alueella. Impulssimaisuus todetaan viitteen [13] mukaisella menettelyllä.

### **Melun merkityksellinen sykintä eli amplitudimodulaatio (excess amplitude modulation)**

Melu on merkityksellisesti sykkivää eli amplitudimoduloitunutta, jos siinä on kuulohavainnoin erotettavissa olevia melun haitallisuutta lisääviä äänenvoimakkuuden ajallisia jaksollisia vaihteluja melulle altistuvalla alueella. Merkityksellinen sykintä todetaan viitteen [10] mukaisella menettelyllä.

### **Sanktio**

Sanktiolla tarkoitetaan toimenpidettä, missä melun impulssimaisuuden, kapeakaistaisuuden tai merkityksellisen sykkinnän (äänenvoimakkuuden ajallinen vaihtelu, amplitudimodulaatio) vuoksi mittausta tai laskentatulokseen lisätään säädöksessä annettu lukuarvo (esimerkiksi 5 dB) ennen sen vertaamista suunnittelu- tai tunnusarvoon.

### **Tuulen nopeuden tavoitearvo**

Tuulen nopeus, jonka vallitessa äänenpainetaso halutaan mitata. Lukuarvo voidaan ilmoittaa joko tuulen nopeutena 10 m korkeudessa tai tuulivoimalan napakorkeudella. Tuulen nopeuden tavoitearvona tulee käyttää 10 m korkeudella vallitsevaa 8 m/s nopeutta, mikäli muita tuulennopeuksia ei ole mittauksissa perustellusti edellytetty ja arvio äänenpainetasosta 8 m/s nopeutta vastaavalla tavoitearvolla voidaan luotettavasti antaa.

Tuulen nopeuden tavoitearvo vastaa mittauksissa sitä tuulivoimalan napakorkeudella vallitsevaa tuulen nopeutta, joka tuottaa tuulivoimalan nimellisteholla enimmäismelupäästön.

### **Mittausten aikana vallitsevat sääolot**

Sääolot, joissa mittaukset tulee suorittaa. Tuulen nopeus vastaa tuulen nopeuden tavoitearvoa (mikäli tavoitearvo on käytössä) ja tuulen suunta tuulivoimalasta mittauspisteeseen päin on  $\pm 15^\circ$ .

### **Tuulivoima-alue**

Tuulivoima-alueella tarkoitetaan tässä ohjeessa vähintään kolmen samanlaisen tuulivoimalan muodostamaa kokonaisuutta.

## 4 Mittauslaitteisto

### 4.1

#### Äänitekniset laitteet

Äänitekni­sen mit­taus­lait­teis­ton (mukaan lukien mah­dollisesti käytettävät vaihtoeh­toiset laiteis­tot ja lisälaitteet, esimerkiksi tallennus­laitteet) tulee täyttää stan­dardin IEC 61672-1 [6] vaatimukset tarkkuus­luo­kan 1 äänitasomittareille. Oktaavi- tai terssikaistoittain tehtäviin mit­tauksiin käytettävien laiteis­tojen tulee täyttää stan­dardin IEC 61260 [7] vaatimukset.

Mittauksissa käytettävän mikrofonin halkaisija saa olla enintään 13 mm.

Mittaus­laitteiden toiminta tulee tarkistaa ja tarvittavat säädöt tehdä ulkoista kalibrointi­äänilähdettä käyttäen. Kalibrointi­äänilähteen tulee täyttää stan­dardin IEC 60942 [8] vaatimukset. Kalibrointi tulee tehdä ennen jokaista mit­taussarjaa ja mit­taussarjan jälkeen. Poikkeama ennen mit­tauksia ja mit­tausten jälkeen tehtyjen kalibrointi­en välillä ei saa ylittää 0,2 dB. Mikäli kalibrointi­arvojen ero ennen mit­tauksia ja mit­tausten jälkeen on suurempi kuin 0,2 dB, mit­tauks­et tulee uus­ia. Kalibroinnissa koko mit­taus- ja tallennus­laitteis­to­ketju on kalibroitava. Esimerkiksi mikrofonin jat­kokaapelin vaikutus on otettava huomioon. Kalibroinnin tulee tapahtua valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kalibraattori on tarkistettava vähintään kahden vuoden välein ja tulosten on oltava jäljitettäviä.

Mikäli tulostus­laitteisto on osa mit­taustuloksiin vaikuttavaa ketjua, myös tulostus­laitteisto kuuluu kalibroinnin piiriin.

Mittauksissa ja mit­tausten analysoinnissa käytettävät laitteet, myös oktaavi- ja terssisuo­dattimet kuvataan mit­tausraportissa. Kuvaus sisältää mm. laitetyy­pit ja kalibroinnit (luku 6). Laitteita on käytettävä valmistajan ohjeiden mukaisesti.

### 4.2

#### Ympäristöoloja mit­taavat laitteet

Tuulen nopeuden mit­taamiseen käytetään laitteita, joiden tarkkuus on vähintään  $\pm 0,2$  m/s alueella 4 m/s – 12 m/s. Laitteilla tulee voida mitata samanaikaisesti keskimääräistä tuulen nopeutta synkronoituna äänitason mit­taamisen kanssa.

Tuulen suunnan mit­tauks­een käytettävien laitteiden tarkkuuden tulee olla vähintään  $\pm 5^\circ$  ja lämpötilan mit­tauks­een vähintään  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Suhteellisen kosteuden mit­taamisen käytettävien laitteiden tarkkuuden tulee olla vähintään  $\pm 2\%$  ja ilmanpaineen mit­taamiseen vähintään  $\pm 1$  kPa.

## 5 Mittaaminen

Tuulivoimalan melupäästö (äänitehotaso  $L_{WA}$  1/3-oktaavikaistoittain) määritetään voimalan tuottaman sähkötehon eri arvoilla tuulen alapuolella sijaitsevassa pisteessä tehdyistä äänenpainetasomittausten tuloksista.

Koska tuulivoimalan tuottama äänitaso muuttuu tuulen nopeuden muuttuessa, äänenpainetason mittaamisen lisäksi määritetään samanaikaisesti tuulen nopeus.

### 5.1

#### Äänenpainetasojen mittaukset

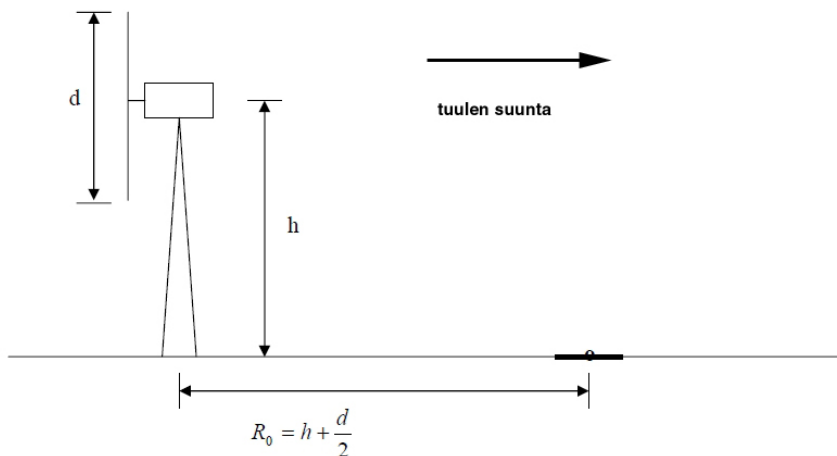
Äänitehotason määrittäminen perustuu ohjeen mukaisesti sijoitetussa mittauspisteessä mitattuihin äänenpainetasoihin.

#### 5.1.1

##### Mittauspisteen sijainti

Mittaukset tehdään etäisyydellä  $R$  tuulivoimalan perustasta. Etäisyys  $R$  ei saa poiketa enempää kuin  $\pm 20\%$  tai  $\pm 30$  m kuvan 1 mukaisesta etäisyydestä  $R_0$ . Etäisyys  $R_0 = h + d/2$ , missä  $h$  on tuulivoimalan napakorkeus ja  $d$  on roottorin halkaisija.

Mikrofoni sijoitetaan siten, että tuulivoimalan ja mikrofonin välinen suunta ei poikkea enempää kuin  $\pm 15^\circ$  tuulen suunnasta.



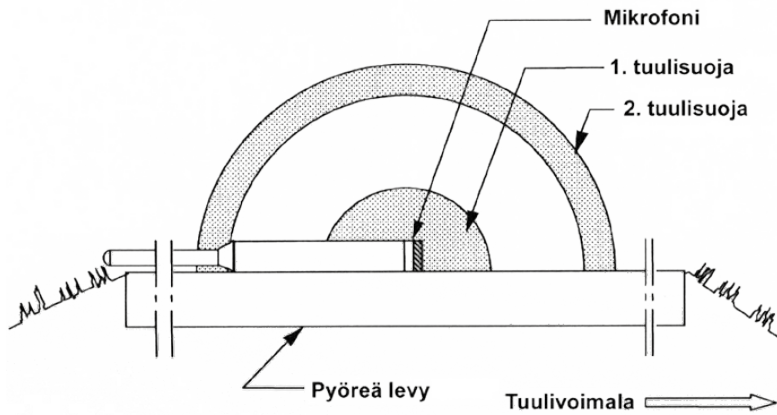
Kuva 1. Mittauspisteen sijainti ja etäisyys.



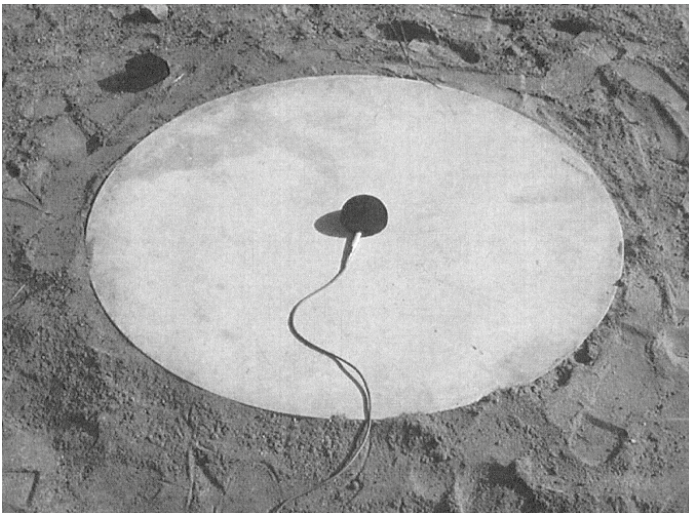
## 5.1.2

### Mikrofonin sijoitus

Mikrofoni sijoitetaan maan pinnalle asetetun akustisesti kovasta materiaalista tehdyn levyn päälle kuvien 2 ja 3 mukaisesti. Levyn tulee olla ensisijaisesti ympyränmuotoinen ja sen halkaisijan tulee olla vähintään 1,0 m. Mikrofonin sijoitetaan mahdollisimman lähelle levyn pintaa. Mikrofonin ympärille sijoitetaan tuulisuoja (1. tuulisuoja) kuvan 2 mukaisesti ja tarvittaessa käytetään lisäksi toista tuulisuojaa (2. tuulisuoja). Käytettäessä sekundaarista tuulisuojaa, mittaustulokset tulee korjata ottamalla tuulisuojan aiheuttama vaimennus huomioon 1/3-oktaaveittain.



Kuva 2. Pyöreä levy, jolle on asetettu mikrofonin tuulisuojiin [2].



Kuva 3. Mikrofonin sijoitus pyöreän levyn päällä [2].

### 5.1.3

## Mittausten suorittaminen

Mittauksilla on tarkoitus määrittää tuulivoimalan melupäästö (meluemissio, äänitehotaso) tuulen nopeuden tavoitearvolla, joka on ensisijaisesti 8 m/s (tuulen nopeus 10 m korkeudella ja maanpinnan karheuden arvolla 0,05 m). Vaihtoehtoisesti mittaukset voidaan tehdä tuulen nopeuksilla 6, 7, 9 ja 10 m/s.

Äänenpainetason mittaukset tehdään A-painotettuna 1/3-oktaaveittain vähintään keskitajuuksilla 20 Hz – 10 000 Hz. Mittauksia tehdään vähintään 10 kpl kutakin tuulen nopeusalueita kohden. Yhden mittauksen kesto on 10 sekuntia. Samaan aikaan vastaava tuulivoimalan tuotama keskimääräinen sähköteho sekä tuulen nopeus tallennetaan. Mikäli tieto keskimääräisestä sähkötehosta ei ole käytettävissä mittauksen aikana, selvitetään se viimeistään raportoinnin yhteydessä.

Mittaukset tehdään esisijaisesti siten, että kaikki mittaussignaalit tallennetaan (äänimittaus ja tuulen nopeuden mittaus), jolloin analysointi voidaan tehdä myöhemmin.

Vastaavalla tavalla tehdään mittaukset taustamelun arvioimiseksi tuulivoimalan ollessa pysähtyneenä ja äänenpainetason mittaustulokset korjataan ottamalla taustamelun vaikutus huomioon.

Mikäli mittaukset tehdään useilla tuulen nopeuksilla, mittaustulokset jaetaan esisijaisesti kokonaisluvulla ilmoitettuihin tuulen nopeusalueisiin ("bin"). Kunkin alueeseen, esimerkiksi tuulen nopeusalueet 6, 7, 8, 9, 10 m/s, liitetään kokonaisluvulla ilmoitettua nopeusalueita vastaavat mittaustulokset (esimerkiksi nopeusalue 8 sisältää tulokset väliltä 7,5 m/s – 8,5 m/s).

## 5.2

## Tuulen nopeuden määrittäminen

Tuulen nopeus voidaan mitata tuulivoimalan napakorkeudelle sijoitetulla anemometrillä tai vähintään 10 m:n korkeudella lähellä tuulivoimalaa paikassa, jossa tuulivoimala tai muu kohde ei vaikuta tuuleen.

Kun tuulivoimalan tuottama keskimääräinen sähköteho on vähemmän kuin 0,95 kertaa sen nimellisteho, napakorkeudella vallitseva tuulen nopeus  $v_h$  voidaan määrittää tuulivoimalan tehokäyrän avulla. Tuulen nopeus  $v_{ref}$  korkeudella 10 m voidaan määrittää kaavan 5.2.1 avulla.

Kun tuulivoimalan tuottama sähköteho on tätä suurempi, tuulen nopeus  $v_h$  napakorkeudella määritetään käyttämällä tuulivoimalan napakorkeudelle sijoitettua anemometriä ja tuulen nopeus  $v_{ref}$  korkeudella 10 m määritetään käyttämällä kaavaa 5.2.1.

$$v_{ref} = v_h \cdot \frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_{0ref}}}{\ln \frac{h}{z_{0ref}}} \quad (5.2.1)$$

missä

- $h$  on tuulivoimalan napakorkeus (m)  
 $z_{0ref}$  on maan karheuden referenssiarvo 0,05 m  
 $z_{ref}$  on referenssikorkeus 10 m  
 $v_h$  on tuulen nopeus napakorkeudella.

Jos tuulivoimalan tehokäyrää ei tunneta tai jos tuulivoimala on pysäytetty taustamelun mittaamisen ajaksi, tuulen nopeus  $v_z$  määritetään käyttämällä vähintään 10 m korkeudella sijoitettua anemometriä. Tuulen nopeus  $v_{ref}$  määritetään käyttämällä kaavaa 5.2.2.

$$v_{ref} = v_z \cdot \frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_{0ref}} \cdot \ln \frac{h}{z_0}}{\ln \frac{h}{z_{0ref}} \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad (5.2.2)$$

missä

- $v_z$  on tuulen nopeus  
 $z$  on anemometrin korkeus maanpinnasta (m)  
 $z_0$  on maan karheuden arvo mittauspisteen kohdalla, taulukko 1  
 $h$  on tuulivoimalan napakorkeus (m)  
 $z_{0ref}$  on maan karheuden referenssiarvo 0,05 m  
 $z_{ref}$  on referenssikorkeus 10 m.

Taulukko 1. Erityyppisten maanpintojen karheus (rosoisuus).

Maanpinnan tyyppi	Karheus $z_0$ (m)
Vesi, lumi, hiekka	0,0001
Avoin tasainen maa, paljas maanpinta, leikattu nurmi	0,01
Viljelysmaa, jossa hieman kasvillisuutta	0,05
Asuinalue, pienet kaupungit, alueet, joilla on tiheää korkeaa puustoa	0,3

## Taustamelukorjaus

Taustamelutaso mitataan tuulivoimalan ollessa pysäytettynä käyttämällä samoja mittausaikoja, mitattavien spektrien määriä ja tuulen nopeusalueita kuin tuulivoimalan käynnissä ollessa tehtävissä mittauksissa. Tuulen nopeus mitataan vähintään 10 m korkeuteen sijoitetulla anemometrillä ja tuulen nopeus  $v_{\text{ref}}$  lasketaan käyttämällä kaavaa 5.2.2.

Mitatun taustamelutason energiakeskiarvot määritetään tuulen eri nopeuksilla. Laskettuja lukuarvoja käytetään tuulivoimalan mitattujen äänenpainetasojen  $L_{A,\text{ref}}$  korjaamiseen kullakin 1/3-oktaavikaistalla kaavan 5.3.1 mukaisesti.

$$L_{A,\text{ref},k} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{A,\text{ref}}}{10}} - 10^{\frac{L_{A,b}}{10}} \right) \quad (5.3.1)$$

missä

- $L_{A,\text{ref},k}$  on korjattu referenssiäänepainetaso 1/3-oktaaveittain
- $L_{A,b}$  on keskimääräisen taustamelun äänenpainetaso kullakin 1/3-oktaavikaistalla.
- $L_{A,\text{ref}}$  on tuulivoimalan mitattu äänenpainetaso

Taustamelun A-painotettu keskiäänitaso ( $L_{\text{Aeq}}$ ) tulee olla vähintään 6 dB pienempi kuin tuulivoimalan tuottama A-painotettu keskiäänitaso ( $L_{\text{Aeq}}$ ). Mikäli näin ei ole, mittaus tulee uusia taustamelun ollessa pienempi.

## Äänitehotason määrittäminen

Tuulivoimalan näennäinen äänitehotaso  $L_{WA,k}$  määritetään 1/3-oktaaveittain ( $i$ ) taustamelukorjattujen äänenpainetasojen  $L_{Aeq,c,i,k}$  (tuulen nopeuden tavoitearvolla 8 m/s tai tuulen nopeuksilla 6, 7, 9 ja 10 m/s) perusteella seuraavasti:

$$L_{WA,i,k} = L_{Aeq,c,i,k} - 6 + 10 \lg \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (4.4.1)$$

missä

- $L_{Aeq,c,i,k}$  on taustamelukorjattu A-painotettu äänenpainetaso 1/3-oktaavikaistalla  $i$ , tuulen nopeusalueella  $k$  (6, 7, 8, 9 ja 10 m/s) ja referenssioloissa
- $R_1$  on lyhin etäisyys tuulivoimalan roottorin navasta mikrofonisiin (m)
- $S_0$  on referenssiuala 1 m<sup>2</sup>
- 6 dB on levyn pinnalla mittauksesta aiheutuva korjaus.

## Melupäästön kapeakaistaisuuden ja tonaalisuuden määrittäminen

Melupäästön kapeakaistaisuuden ja tonaalisuuden määrittäminen tehdään samoilla tuulen nopeusalueilla kuin äänitehotason määrittäminen. Kutakin nopeusaluetta kohden analysoidaan kaksi minuutin kestävää jaksoa, jotka ovat lähinnä tuulen kokonaisluvulla ilmaistuja nopeuksia 6, 7, 8, 9 ja 10 m/s. Nämä kaksi minuutin kestävää jaksoa jaetaan kahteentoista 10 sekuntia kestävään jaksoon, joista määritetään 12 energiakeskiarvotettua kapeakaistaista spektriä käyttämällä Hanning-ikkunointia. Taajuusresoluution tulee olla taulukon 2 mukainen.

Taulukko 2. Taajuusresoluutio eri taajuusalueilla.

Taajuus (Hz)	< 2000	2000 - 5000
Taajuusresoluutio	2 – 5 Hz	2 – 12,5 Hz

Kullekin 10 sekuntia kestäväälle spektrille ( $j = 1 \dots 12$ ) kullakin tuulen nopeusalueella ( $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ) määritetään

- äänneksen (äänneksien) äänenpainetaso  $L_{pt,j,k}$
- äänneksen ympärillä olevan kriittisen kaistanleveyden peiteäänä äänenpainetaso  $L_{pn,j,k}$
- tonaalisuus  $\Delta L_{tn,j,k}$  määritetään äänneksen äänenpainetason ja peiteäänä äänenpainetason erotuksena.

Kokonaistonaalisuus  $\Delta L_k$  määritetään kahdentoista yksittäisen  $\Delta L_{tn,j,k}$ -arvon energiakeskiarvona.

Standardissa IEC 61400 – 11 [2] on annettu lisäohjeita mahdollisten äänneksien toteamiseksi, kuten esimerkiksi kriittisen kaistanleveyden määrittämiseksi äänneksen ympärillä.

Melun kapeakaistaisuus/tonaalisuus raportoidaan, mikä mahdollistaa tiedon hyödyntämisen tuulivoimaloiden melun mallintamisessa tai melutason mittaamisessa melulle altistuvalla alueella. Sanktiota voidaan soveltaa suojaetäisyyden mitoituksessa (mallinnuksen melupäästön lähtöarvot) vain siinä tapauksessa, että melupäästömittauksissa havaittu kapeakaistaisuus/tonaalisuus voidaan todeta joko melutasomittauksin tai laskennallisoin keinoin kapeakaistaiseksi/tonaaliseksi myös melulle altistuvalla alueella.

## Melun impulssimaisuuden määrittäminen

Melun impulssimaisuus ja merkittävyys määritetään Nordtest menetelmän NT ACOU 112 mukaisesti [9]. Melu on impulssimaista, jos arvioitu korjaus  $K_i$  on suurempi kuin 3 dB. Melun impulssimaisuus määritetään tallennetuista ja edustavista ääninäytteistä.

Melun impulssimaisuus raportoidaan, mikä mahdollistaa tiedon hyödyntämisen tuulivoimaloiden melun mallintamisessa tai melutason mittaamisessa melulle altistuvalla alueella. Sanktiota voidaan soveltaa suojaetäisyyden mitoituksessa (mallinnuksen melupäästön lähtöarvot) vain siinä tapauksessa, että melupäästömittauksissa havaittu impulssimaisuus voidaan todeta joko melutasomittauksin tai laskennallisin keinoin impulssimaiseksi myös melulle altistuvalla alueella.

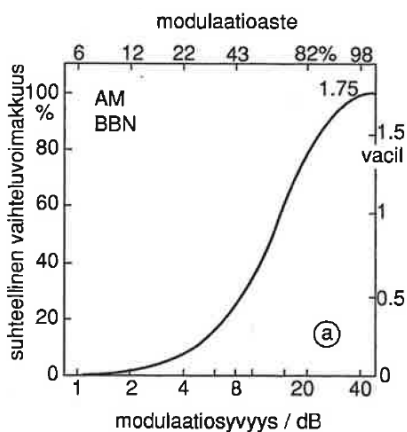
## Melun merkityksellisen sykinnän (amplitudimodulaatio) määrittäminen

Melun merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio) ja sen aste määritetään mittausten aikana tallennetuista signaaleista.

Tuulivoimalan amplitudimodulaation määrittämiseen ei tällä hetkellä ole käytettävissä standardoitua menetelmää tai vertailuarvoa merkityksellisen sykinnän (excess amplitude modulation) todentamiseksi.

Tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden tuottaman melutason merkityksellisen sykinnän aste voidaan kuitenkin määrittää viitteen [10] mukaisella menettelyllä (Modulaatioiden ja alukkeiden havaitseminen).

Tuulivoimalan tuottaman melutason merkityksellisen sykinnän asteen ja sen häiritsevyyden välillä ei ole tiedeyhteisön yleisesti hyväksymää arviointiasteikkoa. Amplitudimodulaatio on selvästi kuultavissa äänisignaaleissa, jos äänisignaalin modulaatioaste on yli 20 % (modulaatio-syvyyden on tällöin yli 3 dB) vaihtelutaajuuden ollessa välillä 0,5 - 30 Hz. Kuultavuus edellyttää, että äänisignaalin kokonaistaso on riittävän korkea.



Kuva 4. Modulaatioaste [10].

Varovaisuusperiaate huomioiden voidaan arvioida, että tuulivoimalan tuottaman äänen modulaatiosyvyyden ollessa yli 3 dB ja modulaation vaihtelutaajuuden ollessa välillä 0,5 – 30 Hz, melu on luonteeltaan merkityksellisesti sykkivää (amplitudimoduloitunutta) ja sanktio on tarkoituksenmukaista huomioida melupäästön mittaustuloksessa verrattaessa tulosta valmistajan antamaan melupäästön takuuarvoon (declared value) tai kun melupäästön mittaustulosta käytetään melumallinnuksen lähtöarvoina.

Melun merkityksellinen sykintä raportoidaan, mikä mahdollistaa tiedon hyödyntämisen tuulivoimaloiden melun mallintamisessa tai melutason mittaamisessa melulle altistuvalla alueella. Sanktiota voidaan soveltaa suojaetäisyyden mitoituksessa (mallinnuksen melupäästön lähtöarvot) vain siinä tapauksessa, että melupäästömittauksissa havaittu merkityksellinen sykintä voidaan todeta joko melutasomittauksin tai laskennallisin keinoin merkitykselliseksi sykkiväksi myös melulle altistuvalla alueella.

## 5.8

### **Tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen**

Vähintään kolmen satunnaisesti valitun samantyyppisen tuulivoimalan äänitehotasot  $L_{WA, ref}$  määritetään 1/3-oktaaveittain.

Mikäli tuulen nopeus mitataan paikassa, joka on myötätuulen puolella suhteessa johonkin toiseen tuulivoimalaan, mittauksissa käytettävän anemometrin etäisyyden siitä tulee olla vähintään 10 kertaa tuulivoimalan roottorin halkaisija.

Mikäli jokaisen mitatun tuulivoimalan äänitehotasot kullakin 1/3-oktaavikaistalla ovat enintään valmistajan ilmoittaman melupäästön takuuarvon suuruisia, kaikkien tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden katsotaan olevan valmistajan ilmoittaman takuuarvon mukaisia. Kaikille tuulivoima-alueen samantyyppisille tuulivoimaloille voidaan esimerkiksi mahdollisessa (lisä)melumallinnuksessa käyttää mitatun kolmen (tai useamman) tuulivoimalan 1/3-oktaavikaistoittain määritettyä äänitehotason energiakeskiarvoa.

## 6 Mittausten raportointi

Mittaukseen liittyvät tiedot kuvataan mahdollisimman tarkasti. Seuraavat tiedot raportoidaan:

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mittausraportin numero/tunniste:				* tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot:				Mittausajankohta: klo:			
VASTUUHENKILÖT				Raportin hyväksyntäpäivämäärä:			
Mittaaja:				Tarkastaja/hyväksyjä:			
MITTAUKSISSA KÄYTETYT LAITTEET							
Valmistajan nimi:				Mittarin tyyppi:			
Mittarin sarjanumero:							
Laitteiston kalibroitipäivämäärä ja kalibroija*:							
Mikrofonin sijoituslevyn tiedot (kuva*):							
Sekundäärisen tuulisuojan tiedot*:							
Tuulen nopeuden määrittämisen menettely ja laitteisto:							
Anemometrien ja tuulensuunnan mittareiden sijoitukset*:							
TUULIVOIMALAN TIEDOT*							
Tuulivoimalan valmistaja:				Tyyppi:		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho:		Napakorkeus:		Roottorin halkaisija:		Tornin tyyppi:	
Maastotiedot mittauspisteen ja voimalan ympäristössä*:							
TUULIVOIMALAN SIJAINTI X,Y (koordinaatisto)*:							
Voimala 1:	Voimala 2:	Voimala 3:	Voimala 4:	Voimala 5:	Voimala 6:	Voimala 7:	Voimala 8:
X:	X:	X:	X:	X:	X:	X:	X:
Y:	Y:	Y:	Y:	Y:	Y:	Y:	Y:



MAANPINNAN TYYPPI:							
Voimala 1:	Voimala 2:	Voimala 3:	Voimala 4:	Voimala 5:	Voimala 6:	Voimala 7:	Voimala 8:
MAHDOLLISUUS VAIKuttaa TUULIVOIMALAN MELUPÄÄSTÖÖN KÄYTÖN AIKANA JA VAIKUTUS MELUUN:							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB				dB
Ei		Ei					dB
MITTAUSPAIKAN SIJAINTI*							
MITTAUSPISTEEN SIJAINTI X,Y (koordinaatisto)*:							
Mittauspiste 1:		Mittauspiste 2:		Mittauspiste 3:		Mittauspiste 4:	
Mikrofonin korkeus:		Mikrofonin korkeus:		Mikrofonin korkeus:		Mikrofonin korkeus:	
MAANPINNAN TYYPPI (mittauspisteen lähiympäristö, sekä mittauspisteen ja voimalan ja voimalan välinen alue):							
Maanpinnan tyyppi	Karheus $z_0$ [m]	Arvioitu prosentti-osuus alueella [%]		Maanpinnan karheus tuulenopeuden mittauspaikalla			
Vesi, lumi, hiekka	0,0001	MP 1: MP 2:					
Avoin tasainen maa, paljas maanpinta, leikattu nurmi	0,01	MP 1: MP 2:					
Viljelysmaa, jossa hieman kasvillisuutta	0,05	MP 1: MP 2:					
Asuinalue, alueet, joilla on tiheää korkeaa puustoa	0,3	MP 1: MP 2:					
TAUSTAMELUN MELULÄHDETYYPIT JA SIJAINTI*:							
Mittauspiste 1:		Mittauspiste 2:		Mittauspiste 3:		Mittauspiste 4:	
MERKITTÄVIEN HEIJASTAVIEN PINTOJEN SIJAINTI*:							
Mittauspiste 1:		Mittauspiste 2:		Mittauspiste 3:		Mittauspiste 4:	
SÄÄTIEDOT*							
Suhteellinen kosteus:				Lämpötila:			
Ilmanpaine:				Pilvipeite x/8:			
Turbulenssi:				Auringon korkeus:			
Tuulen nopeus ja suunta:				Normalisoitu tuulen nopeus:			
10 m:	m:	m:	m:	m:	m:	m:	m:

MITTAUS JA MITTAUSTULOKSET							
Mittausmenetelmä:							
Mittauslaitteen kalibroitulokset ennen mittausta:							
Mittauspiste 1:		Mittauspiste 2:		Mittauspiste 3:		Mittauspiste 4:	
Mittauslaitteen kalibroitulokset mittauksen jälkeen:							
Mittauspiste 1:		Mittauspiste 2:		Mittauspiste 3:		Mittauspiste 4:	
Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus / Tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio)		Muu, mikä:	
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei
Taustamelun voimakkuus ja sen vaikutus tulokseen:							
Mittauspiste 1:		Mittauspiste 2:		Mittauspiste 3:		Mittauspiste 4:	
TUULIVOIMALOIDEN MELUPÄÄSTÖN TODENTAMINEN MITTAAMALLA							
Tuulivoimalan näennäinen ääniteho $L_{WA,k}$ tuulen kullakin nopeusalueella (bin)							
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s		
Tuulivoimalan näennäinen ääniteho $LWA,10m,k$ tuulen kullakin nopeusalueella (bin) vastaten 10 m korkeutta;							
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s		

#### MUUT LIITTEET:

- 1) Äänenpainetaso mittauksia vastaavat tuulivoimalan keskimääräiset sähkötehot ja tuulen nopeudet
- 2) Tuulivoimalan tehokäyrä
- 3) Tuulivoima-alueen karttapohja, josta voi erottaa maaston muodot, maanpinnan tyyppin, tuulivoimaloiden ja mittauspisteiden sijainnin sekä altistuvien kohteiden sijainnin, sekä mahdollisten taustamelua aiheuttavien toimintojen sijainnit
- 4) Alueen kaavakartta
- 5) Kuvat mittauspaikasta, laitteistoista jne.

MITTAUSTULOKSET 1/3-OKTAAVEITTAIN							
Hz	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4			
20							
25							
31,5							
40							
50							
63							
80							
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							
4000							
5000							
6300							
8000							
10000							

## VIITTEET

1. Tuulivoimamelun mittaustieteen kehittäminen. Tutkimusraportti VTT-R-04680-13.
2. IEC 61400-11 Edition 3.0 2012-11- Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques.
3. Statutory Order on Noise from Wind Turbines. Translation of Statutory Order no. 1284 of 15 December 2011.
4. Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2014.
5. IEC TS 61400-14. Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. Technical specification. International Electrotechnical Commission.
6. IEC 61672-1:2002. Electroacoustics - Sound Level meters - Part 1: Specifications. 85 s.
7. IEC 61260. Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave band filters.
8. IEC 60942. Electroacoustics - Sound calibrators. 177 s.
9. NT ACOU 211. Acoustics: Prominence of impulsive sounds and for adjustment of  $L_{Aeq}$ . Approved 2002-05. Nordtest.
10. Karjalainen, M. Kommunikaatioakustiikka. Espoo 2009. Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos. 255 s.

## FÖRORD

Miljöministeriet ger följande anvisning för mätning av bullerutsläpp från vindkraftverk. Anvisningen ges med stöd av 108 § och 117 § i miljöskyddslagen (86/2000). Anvisningen träder i kraft den 28 februari 2014 och gäller tills vidare.

Buller är enligt 3 § i miljöskyddslagen (86/2000) utsläpp som orsakar förorening av miljön. Enligt lagens 5 § ska verksamhetsutövaren tillräckligt väl känna till verksamhetens konsekvenser och risker för miljön samt möjligheterna att minska verksamhetens negativa miljöpåverkan (*skyldighet att vara konsekvensmedveten*). Enligt lagens 25 § ska kommunen inom sitt område i nödvändig omfattning följa miljöns tillstånd, på det sätt som de lokala förhållandena kräver.

Enligt 5 § i markanvändnings- och bygglagen (132/1999) är syftet med områdesplaneringen att främja bland annat skapandet av en trygg, hälsosam och trivsamt livsmiljö och omgivning. I områdesanvändningen måste man enligt kraven på planernas innehåll motverka olägenheter orsakade av buller, skakning och luftföroreningar samt sträva efter att minska de olägenheter som redan förekommer.

Anvisningen för mätning av bullerutsläpp från vindkraftverk är avsedd som anvisning när man bedömer den bullerbelastning som alstras av vindkraftverk i verkställandet och tillämpningen av miljöskyddslagen samt i förfaranden enligt markanvändnings- och bygglagen.

Överdirektör  
Helena Säteri

Miljöråd  
Ari Saarinen

# 1 Inledning

I den här anvisningen ges metoder för att mäta och bedöma bullerutsläppet (ljudeffektnivån) från ett vindkraftverk eller från flera vindkraftverk i ett vindkraftsområde.

Mätningen av bullret från vindkraftverk avviker från mätningen av annat omgivningsbuller. Mätningarna utförs under blåsiga förhållanden, där bakgrundsbullret försvårar mätningen av det buller som alstras av vindkraftverket [1]. Vindkraftverkets effekt och bullerutsläpp förändras med fluktuationerna i vindhastighet och bullret kan vara smalbandigt, impulsartat och signifikant pulserande (amplitudmodulering). Det ljud och den ljudstyrka som vindkraftverken alstrar varierar betydligt temporalt. Ett kraftverk arbetar endast under en del av drifttiden vid sin nominella effekt, då bullerutsläppet (emissionen) är som störst. En förutsättning för att mätningen ska ge jämförbara resultat är att det finns detaljerat fastställda metoder.

I anvisningen finns uppgifter om mätmetoder, den apparatur som ska användas och hur resultaten ska presenteras. Mätningar kan göras i alla riktningar kring ett vindkraftverk (eller en grupp vindkraftverk).

Mätning och analys av bullerutsläppet från vindkraftverk kräver specialkunnande i akustik för att resultaten ska vara tillförlitliga, spårbara och jämförbara.

## 2 Tillämpningsområde

Mätanvisningen kan användas för att verifiera garantivärdet för bullerutsläppet från ett enskilt vindkraftverk eller från likadana kraftverk i ett vindkraftsområde och för mätning eller verifiering av de utgångsvärden som använts i bullermodelleringen.

Mätanvisningen kan dessutom användas för bedömning av bullernivån i de fall där bullernivån inte kan mätas direkt med metoden i hänvisning [4]. Då bestäms vindkraftverkens bullernivå genom att man räknar ut de bullernivåer som råder i observationspunkterna utifrån det uppmätta bullerutsläppet och egenskaperna i den omgivande terrängen. Eftersom metoden (verifieringen) motsvarar eller kan motsvara en bullermodellering (kalkylering), är det inte möjligt att, utan tillräcklig ljudteknisk undersökning, använda resultatet direkt för att verifiera att de planerade och karaktäristiska värdena (rikt- och gränsvärden) uppfylls.

## 3 Definitioner

### Ljudtryck $p$ [Pa]

Skillnaden mellan ett ljuds momentana tryck och det statiska lufttrycket, i allmänhet som effektivvärde.

### A-vägt ljudtryck $p_A$ [Pa]

Ljudtrycket definierat med användning av A-frekvensvägning, i allmänhet som effektivvärde.

### Ljudtrycksnivå $L_p$ [dB]

Den tiodubbla tiologaritmen av kvadraten på förhållandet mellan ljudtryckets effektivvärde och referensljudtrycket.

### Ljudnivå $L_{pA}$ [dB]

Den tiodubbla logaritmen av kvadraten på förhållandet mellan effektivvärdet för det momentana A-vägda ljudtrycket och referensljudtrycket.

### Medelljudnivå (ekvivalentljudnivå, ekvivalentnivå) $L_{Aeq}$ [dB]

Den ljudnivå ( $L_{Aeq,T}$ ) som motsvarar det A-vägda ljudtryckets genomsnittliga effektivvärde under en definierad tidsperiod ( $T$ ). Medelljudnivån bestäms med ekvationen

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{pA}(t)}{10}} dt \right) = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right),$$

där

$t_1$  är startpunkten för den definierade tidsperioden  $T$

$t_2$  är slutpunkten för den definierade tidsperioden  $T$

$L_{pA}(t)$  är momentanvärdet [dB] för det undersökta ljudets ljudnivå

$p_A(t)$  är momentanvärdet [Pa] för det undersökta ljudets A-vägda ljudtryck.

$p_0$  är referensljudtrycket 20  $\mu$ Pa.



### **Bullernivå (bullerimmission) $L_{pA}$ [dB]**

Ljudnivån i det objekt som är utsatt för buller.

### **Lågfrekvent buller**

Med lågfrekvent buller avses här buller i frekvensområdet 20–200 hertz [Hz]. Ljud med frekvenser lägre än 20 Hz kallas infraljud.

### **Bakgrundsbuller**

Annat än det (mätbara) buller som alstras av vindkraftverk

### **Signal/brusförhållande**

Förhållandet signal/brus används för att beskriva hur en önskad signal (t.ex. ljudet från ett vindkraftverk) urskiljs från bakgrundsbruset (t.ex. suset som orsakas av strömning i vegetationen). Ju bättre signal/brusförhållande desto mindre störs mätningen av brus.

### **Planerade och karaktäristiska värden**

Med planerade och karaktäristiska värden för buller avses här de gräns- eller riktvärden för buller som baserar sig på lagstiftning, miljötillstånd eller myndighetsanvisningar.

### **Bullerutsläpp (bulleremission)**

Ljudeffektnivån hos ett vindkraftverk eller likadana vindkraftverk i ett vindkraftsområde.

### **Garantivärdet för bullerutsläpp**

Det garantivärde för bullerutsläppet (ljudeffektnivån) från ett vindkraftverk som tillverkaren uppger och i vilket säkerheten i en eventuell verifiering av bullerutsläppet är ca 95 procent. Bullerutsläppsvärdet är tvådelat och består av medeltalet för ljudeffektnivåerna och säkerhetsvärdet.

### **Skenbar ljudeffektnivå (apparent sound power level) $L_{WA,k}$ [dB]**

Den skenbara ljudeffektnivå som bestämts utifrån de bakgrundsbullerkorrigerade ljudeffektnivåerna ( $L_{Aeq,c,k}$ ) och som inte korrigerats till 10 meters referenshöjd.  $L_{WA,k}$  representerar den skenbara ljudeffektnivån i vindhastighetsområden vid vindkraftverkets navhöjd.

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \lg \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right]$$

där

$L_{Aeq,c,k}$  är den bakgrundsbullerkorrigerade A-vägda ljudtrycksnivån

$R_1$  är det kortaste avståndet från rotnas nav till mikrofonen (m)

$S_0$  är referensytan 1 m<sup>2</sup>.

-6 korrigeringsfaktorn -6 dB beaktar den förstärkning som uppstår av ljudreflektionen som orsakas av skivan som används i mätningarna.

### **Skenbar ljudeffektnivå (apparent sound power level) $L_{WA,k,10m,k}$ [dB]**

Den skenbara ljudeffektnivå som uppstår för en vindhastighet som beräknats på referenshöjden 10m.

### **Bullrets särdrag**

Särdragen hos buller är de egenskaper som har att göra med ljudets tids- och frekvensbeteende och som ökar bullrets störande verkan i ett område som utsätts för buller. Särdragen är bland annat smalbandighet, tonalitet, impulsart och signifikant pulserande.

### **Bullrets smalbandighet och tonalitet**

Med tonalitet avses här att ljudtrycksnivån hos en eller flera rena toner urskiljs från nivån hos ett maskerande ljud på ett kritiskt band kring den rena tonen (tonerna).

Bullret är smalbandigt eller tonalt om där finns rena toner som ökar bullerolägenheten, och som man kan urskilja genom hörselintryck, eller smalbandiga komponenter i ett område som utsätts för buller. Smalbandigheten konstateras genom metoden i hänvisning [2].

### **Ren ton**

En ton som innehåller en enkel frekvens En ton vars ljudtryck varierar sinusformat som en funktion av tiden.

### **Frekvensband, frekvensintervall**

Förhållandet eller skillnaden mellan två frekvenser.

### **Bullrets impulsart**

Bullret är impulsartat om där finns kortvariga (transienta) toner som ökar bullerolägenheten, och som man kan urskilja genom hörselintryck, i ett område som utsätts för buller. Impulsarten konstateras genom metoden i hänvisning [13].

### **Bullrets signifikanta pulserande, amplitudmodulering (excess amplitude modulation)**

Bullret är signifikant pulserande, eller amplitudmodifierat, om där finns periodiska fluktuationer i ljudstyrkan som man kan urskilja genom hörselintryck och som ökar bullerolägenheten i ett område som utsätts för buller. Det signifikanta pulserandet konstateras genom metoden i hänvisning [10].

### **Sanktion**

Med sanktion avses en åtgärd där man på grund av bullrets impulsart, smalbandighet eller signifikanta pulserande (tidsmässig fluktuation i ljudstyrkan, amplitudmodulering) i mät- eller räkneresultatet lägger till ett siffervärde som ges i författningen (t.ex. 5 dB) innan man jämför det med det planerade eller det karaktäristiska värdet.

### **Målvärde för vindhastigheten**

Den vindhastighet vid vilken man vill mäta ljudtrycksnivån. Siffervärdet kan anges antingen som vindhastigheten på 10 m höjd eller på vindkraftverkets navhöjd. Som målvärde för vindhastigheten ska man använda 8 m/s som råder på 10 m höjd, ifall andra vindhastigheter inte på goda grunder förutsatts i mätningarna och en tillförlitlig uppskattning av ljudtrycksnivån med ett målvärde som motsvarar hastigheten 8 m/s kan ges.

Målvärdet för vindhastigheten motsvarar i mätningarna den rådande vindhastighet på vindkraftverkets navhöjd som alstrar maximalt bullerutsläpp vid kraftverkets nominella effekt.

### **Rådande väderförhållanden under mätningarna**

Väderförhållanden under vilka mätningarna ska utföras. Vindhastigheten motsvarar målvärdet för vindhastigheten (ifall målvärdet används) och vindriktningen från kraftverket till mätpunkten är  $\pm 15^\circ$ .

### **Vindkraftsområde**

Med vindkraftsområde avses här en helhet av minst tre likadana vindkraftverk.

## 4 Mätapparatur

### 4.1

#### Ljudtekniska apparater

Den ljudtekniska mätapparaturen (medräknat eventuella alternativa apparater och hjälpanordningar, exempelvis registreringsapparater) ska uppfylla kraven för ljudnivåmätare i noggrannhetsklass 1 i standarden IEC 61672-1 [6]. Apparatur som används för mätningar per oktav- eller tersband ska uppfylla kraven i standarden IEC 61260 [7]

Diametern i den mikrofon som används i mätningarna får vara högst 13 mm.

Mätanordningarnas funktion ska granskas och nödvändiga justeringar ska göras med hjälp av en extern kalibreringsljudkälla. Kalibreringsljudkällan ska uppfylla kraven i standarden IEC 60942 [8]. Kalibreringen ska göras före och efter varje mätserie. Differensen mellan de kalibreringar som gjorts före respektive efter mätningarna får inte överskrida 0,2 dB. Ifall skillnaden i kalibreringsvärde före respektive efter en mätning är större än 0,2 dB måste nya mätningarna göras. I kalibreringen ska hela kedjan av mät- och registreringsapparater kalibreras. Exempelvis måste man beakta inverkan av mikrofonens förlängningskabel. Kalibreringen ska göras enligt tillverkarens anvisningar. Kalibratören ska kontrolleras med minst två års intervaller och resultaten ska vara spårbara.

Ifall utskrivningsapparaturen ingår i en kedja som påverkar mätresultaten ska också den kalibreras.

De apparater som används i mätningarna och i analysen av mätningarna, också oktav- och tersfiltren, ska beskrivas i mätrapporten. Beskrivningen ska omfatta bland annat apparattyper och kalibreringar (kap. 6). Apparaterna ska användas enligt tillverkarens anvisningar.

### 4.2

#### Apparater som mäter miljöförhållanden

För mätning av vindhastigheten används apparater vars precision är  $\pm 0,2$  m/s i området 4 m/s–12 m/s. Man ska samtidigt kunna mäta den genomsnittliga vindhastigheten synkroniserad med mätningen av ljudnivån.

Precisionen hos de apparater som används för att mäta vindriktningen ska vara  $\pm 5^\circ$  och hos dem som mäter temperaturen  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Precisionen hos de apparater som används för att mäta den relativa fuktigheten ska vara  $\pm 2\%$  och hos dem som mäter lufttrycket  $\pm 1$  kPa.

## 5 Mätning

Bullerutsläppet från ett vindkraftverk (ljudeffektnivå  $L_{\text{WAF}}$  per 1/3-oktavband) bestäms utifrån de resultat från mätningarna av ljudtrycksnivå som gjorts i en punkt nedanför vinden, med olika värden på den elektriska effekt som kraftverket producerar.

Eftersom den ljudnivå som vindkraftverket alstrar förändras med vindhastigheten ska man när man mäter ljudtrycksnivån samtidigt bestämma vindhastigheten.

### 5.1

#### Mätningar av ljudtrycksnivåer

Bestämningen av ljudeffektnivån baserar sig på ljudtrycksnivåer som mätts i en mät punkt som placerats enligt anvisningen.

#### 5.1.1

##### Mätpunktens placering

Mätningarna görs på avståndet  $R$  från vindkraftverkets fundament. Avståndet  $R$  får inte avvika mer än  $\pm 20\%$  eller  $\pm 30$  m från avståndet  $R_0$  enligt bild 1. Avståndet  $R_0 = h + d/2$ , där  $h$  är vindkraftverkets navhöjd och  $d$  rotorns diameter

Mikrofonen placeras så att riktningen mellan vindkraftverket och mikrofonen inte avviker mer än  $\pm 15^\circ$  från vindriktningen.

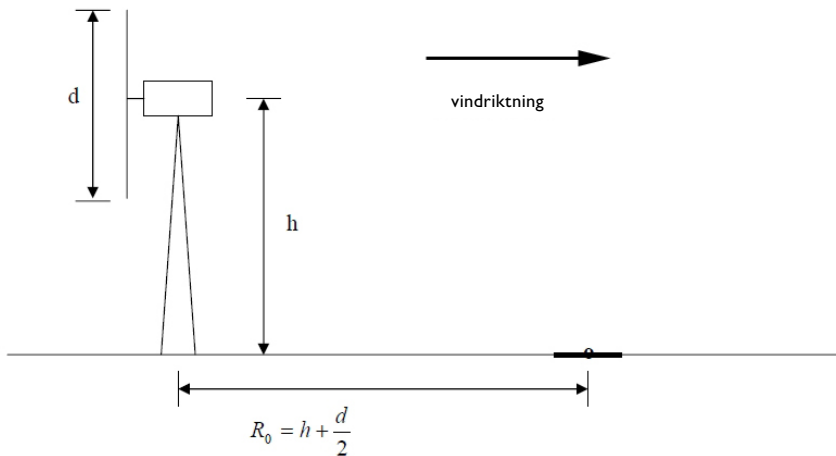


Bild 1. Mätpunktens placering och avstånd.

### 5.1.2

#### Mikrofonens placering

Mikrofonen placeras på en skiva tillverkad av akustiskt hårt material som lagts på marken enligt bild 2 och 3. Skivan ska i främsta hand vara cirkelformad och diametern ska vara minst 1,0 m. Mikrofonen placeras så nära skivytan som möjligt. Kring mikrofonen placeras ett vindskydd (vindskydd 1) enligt bild 2 och vid behov ytterligare ett vindskydd (vindskydd 2). När man använder ett sekundärt vindskydd ska mätresultaten korrigeras genom att man beaktar vindskyddets dämpning per 1/3 oktav.

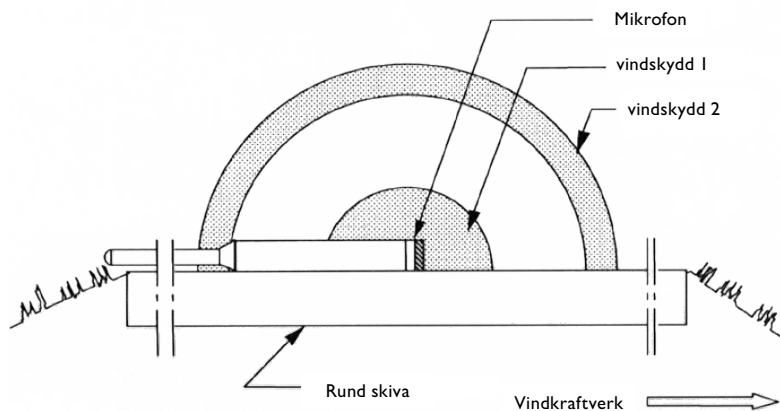


Bild 2. En rund skiva, på vilken en mikrofon med vindskydd placerats [2].

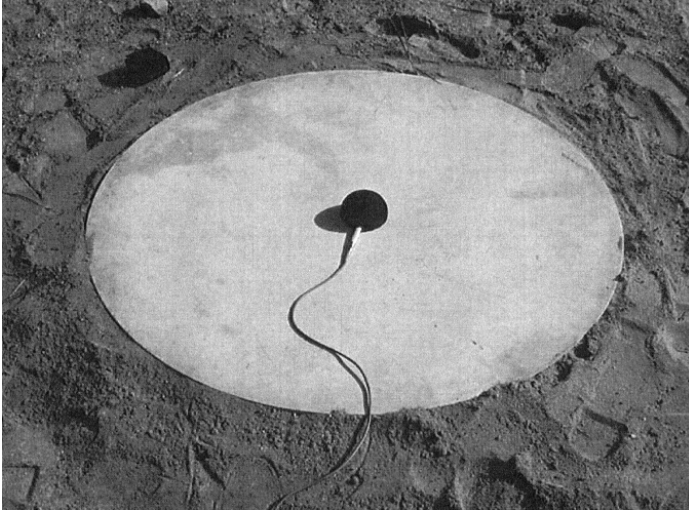


Bild 3. Mikrofonens placering på den runda skivan [2].

### 5.1.3

#### Mätningarnas utförande

Avsikten med mätningarna är att bestämma bullerutsläppet (bulleremissionen, ljudeffektnivån) från ett vindkraftverk vid målvärdet för vindhastigheten, i första hand 8 m/s (vindhastighet på 10 m höjd och med värdet 0,05 m för markytans grovlek). Alternativt kan mätningarna göras vid vindhastigheterna 6, 7, 9 och 10 m/s.

Mätningar av ljudtrycksnivå görs A-vägt per 1/3 oktav åtminstone på medelfrekvenserna 20 Hz – 10 000 Hz. Minst 10 mätningar ska göras för varje vindhastighetsområde. En mätning tar 10 sekunder. Samtidigt registrerar man den motsvarande genomsnittliga eleffekt som vindkraftverket producerar och vindhastigheten. Ifall man inte har tillgång till uppgifter om den genomsnittliga eleffekten under mätningarna ska man ta reda på den senast i samband med rapporten.

Mätningarna utförs i första hand så att alla mätsignaler registreras (ljudmätningen och vindhastighetsmätningen), och analyserna görs senare.

På motsvarande sätt görs mätningar för att bedöma bakgrundsbullret när vindkraftverket står stilla och resultaten av mätningarna av ljudtrycksnivån korrigeras genom att man beaktar bakgrundsbullrets inverkan.

Ifall mätningarna görs vid olika vindhastigheter ska mätresultaten i första hand delas upp i vindhastighetsområden angivna med heltal ("bin"). Till varje område, exempelvis vindhastighetsområdena 6, 7, 8, 9, 10 m/s, läggs de mätresultat som motsvarar hastighetsområdet angivet i heltal (exempelvis innehåller hastighetsområdet 8 resultaten mellan 7,5 m/s och 8,5 m/s).

## Bestämning av vindhastigheten

Vindhastigheten kan mätas med en anemometer som placeras på kraftverkets navhöjd eller på minst 10 meters höjd nära vindkraftverket på en plats där kraftverket eller något annat objekt inte påverkar vinden.

När den genomsnittliga eleffekten som produceras av vindkraftverket är mindre än 0,95 gånger den nominella effekten kan man bestämma vindhastigheten på navhöjd  $v_h$  med hjälp av vindkraftverkets effektkurva. Vindhastigheten  $v_{ref}$  på höjden 10 m kan bestämmas med hjälp av formeln 5.2.1.

När eleffekten är större bestäms vindhastigheten på navhöjd  $v_h$  med hjälp av en anemometer placerad på navhöjd och vindhastigheten  $v_{ref}$  på höjden 10 m bestäms med hjälp av formeln 5.2.1.

$$v_{ref} = v_h \cdot \frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_{0ref}}}{\ln \frac{h}{z_{0ref}}} \quad (5.2.1)$$

där

- $h$  är vindkraftverkets navhöjd (m)
- $z_{0ref}$  är referensvärdet för markgrovleken 0,05 m
- $z_{ref}$  är referenshöjden 10 m
- $v_h$  är vindhastigheten på navhöjd.

Ifall vindkraftverkets effektkurva inte är känd eller om vindkraftverket har stoppats för mätning av bakgrundsbuller bestäms vindhastigheten  $v_z$  med hjälp av en anemometer på minst 10 meters höjd. Vindhastigheten  $v_{ref}$  bestäms med hjälp av formeln 5.2.2.

$$v_{ref} = v_z \cdot \frac{\ln \frac{z_{ref}}{z_{0ref}} \cdot \ln \frac{h}{z_0}}{\ln \frac{h}{z_{0ref}} \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \quad (5.2.2)$$

där

- $v_z$  är vindhastigheten
- $z$  är anemometerens höjd från markytan (m)
- $z_0$  är värdet för markgrovleken vid mätpunkten, tabell 1
- $h$  är vindkraftverkets navhöjd (m)
- $z_{0ref}$  är referensvärdet för markgrovleken 0,05 m
- $z_{ref}$  är referenshöjden 10 m



Tabell 1. Grovleken hos olika typer av markytor (skrovlighet)

Typ av markyta	Grovlek $z_0$ (m)
Vatten, snö, sand	0,0001
Öppen slät mark, bar markyta, klippt gräs	0,01
Odlingsmark med lite växtlighet	0,05
Bostadsområde, små städer, områden med tätvuxna höga träd	0,3

### 5.3

## Korrigerig för bakgrundsbuller

Bakgrundsbullernivån mäts när vindkraftverket står stilla (avstängt) genom att man använder samma mättider, antal mätspektrum och vindhastighetsområden som vid mätningar under drift. Vindhastigheten mäts med en anemometer som placeras på minst 10 meters höjd och vindhastigheten  $v_{ref}$  räknas ut med formeln 5.2.2.

Energimedelvärdena hos den mätta bakgrundsbullernivån bestäms vid olika vindhastigheter. De beräknade siffervärdena används för att korrigera vindkraftverkets uppmätta ljudtrycksnivåer  $L_{A,ref}$  i varje 1/3-oktavband enligt formeln 5.3.1.

$$L_{A,ref,k} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{A,ref}}{10}} - 10^{\frac{L_{A,b}}{10}} \right) \quad (5.3.1)$$

där

$L_{A,ref,k}$  är den korrigerade referensljudtrycksnivån per 1/3 oktav

$L_{A,b}$  är det genomsnittliga bakgrundsbullrets ljudtrycksnivå i varje 1/3-oktavband.

$L_{A,ref}$  är vindkraftverkets uppmätta ljudtrycksnivå

Bakgrundsbullrets A-vägda medelljudnivå ( $L_{Aeq}$ ) ska vara minst 6 dB mindre än den A-vägda medelljudnivå ( $L_{Aeq}$ ) som vindkraftverket alstrar. I annat fall måste mätningen upprepas när bakgrundsbullret är mindre.

## 5.4

**Bestämning av ljudeffektnivån**

Vindkraftverkets skenbara ljudeffektnivå  $L_{WA,k}$  bestäms per 1/3 oktav ( $i$ ) på basis av de bakgrundskorrigerade ljudtrycksnivåerna  $L_{Aeq,c,i,k}$  (med målvärdet för vindhastigheten 8 m/s eller vindhastigheterna 6, 7, 9 och 10 m/s):

$$L_{WA,i,k} = L_{Aeq,c,i,k} - 6 + 10 \lg \left[ \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \right] \quad (4.4.1)$$

där

$L_{Aeq,c,i,k}$  är den bakgrundskorrigerade A-vägda ljudtrycksnivån i 1/3-oktavbandet  $i$ , i vindhastighetsområdet  $k$  (6, 7, 8, 9 och 10 m/s) och under referensförhållanden

$R_1$  är det kortaste avståndet från rotornavet till mikrofonen (m)

$S_0$  är referensytan 1 m<sup>2</sup>

6 dB är en korrigering som orsakas av mätningen på skivytan.

## 5.5

**Bestämning av bullerutsläppets smalbandighet och tonalitet**

Bestämningen av bullerutsläppets smalbandighet och tonalitet görs i samma vindhastighetsområden som ljudeffektnivån bestäms i. För varje hastighetsområde analyseras två perioder på en minut, som är närmast de heltalsuttryckta vindhastigheterna 6, 7, 8, 9 och 10 m/s. De här två minutlånga perioderna delas in i tolv perioder på 10 sekunder, av vilka 12 energimedelvärdesbildade smalbandiga spektrum bestäms genom avgränsning med ett Hanningfönster. Frekvensupplösningen ska vara enligt tabell 2.

Tabell 2. Frekvensupplösning i olika frekvensområden.

Frekvens (Hz)	< 2000	2 000–5 000
Frekvensupplösning	2–5 Hz	2–12,5 Hz

För varje 10 sekunders spektrum ( $j = 1 \dots 12$ ) vid varje vindhastighet ( $k = 6, 7, 8, 9, 10$ ) bestäms

- ljudtrycksnivån hos den rena tonen (tonerna)  $L_{pt,j,k}$
- ljudtrycksnivån hos det maskerande ljudet i den kritiska bandbredden kring den rena tonen  $L_{pn,j,k}$
- tonaliteten  $\Delta L_{tn,j,k}$  bestäms som skillnaden i ljudtrycksnivå mellan den rena tonen och det maskerande ljudet.

Helhetstonaliteten  $\Delta L_k$  bestäms som ett energimedelvärde av de tolv individuella värdena  $\Delta L_{tn,j,k}$ .

I standarden IEC 61400 – 11 [2] finns ytterligare anvisningar för hur man konstaterar eventuella rena toner, som exempelvis bestämning av den kritiska bandbredden kring en ren ton.

Bullrets smalbandighet/tonalitet ska rapporteras, vilket gör det möjligt att utnyttja informationen i modelleringen av buller från vindkraftverk eller i mätningen av bullernivån i ett bullerutsatt område. Sanktion kan tillämpas i dimensioneringen av skyddsavstånd (utgångsvärden för bullerutsläppet i modelleringen) endast i det fall att en smalbandighet/tonalitet som observeras i mätningar av bullerutsläppet antingen genom mätningar av bullernivån eller genom beräkning kan konstateras vara smalbandigt/tonalt också i det bullerutsatta området.

## 5.6

### Bestämning av bullrets impulsart

Bullrets impulsart och signifikans bestäms enligt Nordtestmetoden NT ACOU 112 [9]. Bullret är impulsartat om den uppskattade korrigeringen  $K_i$  är större än 3 dB. Bullrets impulsart bestäms av registrerade och representativa ljudprov.

Bullrets impulsart ska rapporteras, vilket gör det möjligt att utnyttja informationen i modelleringen av buller från vindkraftverk eller i mätningen av bullernivån i ett bullerutsatt område. Sanktion kan tillämpas i dimensioneringen av skyddsavstånd (utgångsvärden för bullerutsläppet i modelleringen) endast i det fall att en impulsart som observeras i mätningar av bullerutsläppet antingen genom mätningar av bullernivån eller genom beräkning kan konstateras vara impulsartat också i det bullerutsatta området.

## 5.7

### Bestämning av bullrets signifikanta pulserande (amplitudmodulering)

Bullrets signifikanta pulserande (amplitudmodulering) och graden av det bestäms av de signaler som registrerats under mätningarna.

Det finns inte för närvarande någon standardiserad metod för bestämning av amplitudmoduleringen i ett vindkraftverk eller referensvärde för att verifiera signifikant pulserande (excess amplitude modulation).

Graden av signifikant pulserande i den bullernivån som ett vindkraftverk eller flera vindkraftverk i ett vindkraftsområde alstrar kan emellertid bestämmas enligt metoden i hänvisning [10] (Modulaatioiden ja alukkeiden havaitsemisen – Observation av moduleringar och ansatser).

Det finns ingen av vetenskapssamfundet allmänt godkänd bedömningsskala mellan graden av signifikant pulserande i bullernivån och hur störande det är. Man kan tydligt höra amplitudmoduleringen i en ljudsignal om dess moduleringsgrad överstiger 20 % (modulationsdjupet är då över 3 dB) och fluktuationsfrekvensen ligger mellan 0,5 och 30 Hz. Hörbarheten förutsätter att ljudsignalens totalnivå är tillräckligt hög.

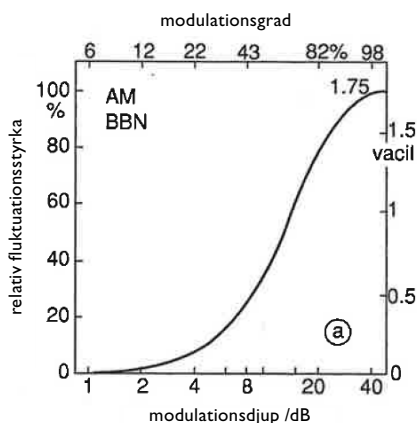


Bild 4. Moduleringsgrad [10].

Med beaktande av försiktighetsprincipen kan man uppskatta att bullret till sin natur är signifikant pulserande (amplitudmodulerat) när ljudet från ett vindkraftverk har ett modulationsdjup som överstiger 3 dB och moduleringsens fluktuationsfrekvens ligger mellan 0,5 och 30 Hz. Det är då ändamålsenligt att beakta sanktionen i mätresultatet för bullerutsläppet när man jämför resultatet med det garantivärde (declared value) som tillverkaren uppger eller när mätresultatet för bullerutsläppet används som utgångsvärde för bullermodellering.

Bullrets signifikanta pulserande ska rapporteras, vilket gör det möjligt att utnyttja informationen i modelleringen av buller från vindkraftverk eller i mätningen av bullernivån i ett bullerutsatt område. Sanktion kan tillämpas i dimensioneringen av skyddsavstånd (utgångsvärden för bullerutsläppet i modelleringen) endast i det fall att ett signifikant pulserande som observeras i mätningar av bullerutsläppet antingen genom mätningar av bullernivån eller genom beräkning kan konstateras vara signifikant pulserande också i det bullerutsatta området.

## 5.8

### Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk i ett vindkraftsområde

Ljudeffektnivåerna  $L_{WA,ref}$  i minst tre slumpmässigt valda vindkraftverk av samma typ bestäms per 1/3 oktav.

Ifall vindhastigheten mäts på en plats som ligger i lä om ett annat vindkraftverk ska den anemometer som man använder för mätningarna ha ett avstånd på minst 10 gånger rotordiametern till det.

Ifall ljudeffektnivåerna i varje 1/3-oktavband för varje vindkraftverk som mätts är högst lika höga som det garantivärde tillverkaren uppger anses alla vindkraftverk i vindkraftsområdet följa tillverkarens garantivärde. För alla vindkraftverk av samma typ i ett vindkraftsområde kan man exempelvis i en eventuell (extra) bullermodellering använda det energimedelvärde för ljudeffektnivån hos tre (eller flera) uppmätta vindkraftverk som bestämts per 1/3-oktavband.

## 6 Rapportering av mätningarna

Uppgifterna om mätningarna ska beskrivas så noggrant som möjligt. Följande uppgifter ska rapporteras:

UPPGIFTER OM RAPPORTEN OCH OM RAPPORTÖREN		*preciserande uppgifter kan ges på en karta eller i andra bilagor					
Mätningsrapportens nummer/identifierare:		Mättidpunkt: kl.:					
Upphovsman/organisation, kontaktuppgifter		Datum för godkännande av rapporten:					
ANSVARIGA							
Mätare:		Granskad av/godkänd av:					
APPARATER SOM ANVÄNTS FÖR MÄTNINGARNA							
Tillverkarens namn:		Mätartyp:					
Mätarens serienummer:							
Datum för kalibrering av apparaturens och kalibrerare*:							
Uppgifter om mikrofonens placeringsskiva (bild*):							
Uppgifter om det sekundära vindskyddet*:							
Metod och apparatur för bestämning av vindhastigheten:							
Placering av anemometern och vindriktningsmätarna*:							
UPPGIFTER OM VINDKRAFTVERKET*							
Tillverkare:		Typ:		Serienummer:			
Nominell effekt:	Navhöjd:	Rotordiameter:		Torntyp:			
Uppgifter om terrängen kring mätpunkten och kraftverket*:							
VINDKRAFTVERKETS POSITION X,Y (koordinatsystem)*:							
Kraftverk 1:	Kraftverk 2:	Kraftverk 3:	Kraftverk 4:	Kraftverk 5:	Kraftverk 6:	Kraftverk 7:	Kraftverk 8:
X:	X:	X:	X:	X:	X:	X:	X:
Y:	Y:	Y:	Y:	Y:	Y:	Y:	Y:

TYP AV MARKYTA:							
Kraftverk 1:	Kraftverk 2:	Kraftverk 3:	Kraftverk 4:	Kraftverk 5:	Kraftverk 6:	Kraftverk 7:	Kraftverk 8:
MÖJLIGHET ATT PÅVERKA VINDKRAFTVERKETS BULLERUTSLÄPP UNDER DRIFT OCH ÅTGÄRDENS INVERKAN PÅ BULLRET:							
Reglering av bladvinkeln		Rotationshastighet		Annat, vad			
Ja	dB	Ja	dB				dB
Nej		Nej					dB
MÄTPLATSENS POSITION*							
MÄTPUNKTENS POSITION X,Y (koordinatsystem)*:							
Mät punkt 1:		Mät punkt 2:		Mät punkt 3:		Mät punkt 4:	
Mikrofonens höjd:		Mikrofonens höjd:		Mikrofonens höjd:		Mikrofonens höjd:	
TYP AV MARKYTA (mät punktens näromgivning och området mellan mät punkten och kraftverket):							
Typ av markyta		Grovlek $z_0$ [m]	Uppskattad procentandel i området [%]		Markytans grovlek på platsen där vindhastigheten mäts		
Vatten, snö, sand		0,0001	MP 1: MP 2:				
Öppen slät mark, bar markyta, klippt gräs		0,01	MP 1: MP 2:				
Odlingsmark med lite växtlighet		0,05	MP 1: MP 2:				
Bostadsområde, områden med tätvuxna höga träd		0,3	MP 1: MP 2:				
TYPER AV BULLERKÄLLOR OCH POSITION FÖR BAKGRUNDSBULLRET							
Mät punkt 1:		Mät punkt 2:		Mät punkt 3:		Mät punkt 4:	
POSITION FÖR BETYDANDE REFLEKTERANDE YTOR*:							
Mät punkt 1:		Mät punkt 2:		Mät punkt 3:		Mät punkt 4:	
VÄDERUPPGIFTER*							
Relativ fuktighet:				Temperatur:			
Luftryck:				Molntäcke x/8:			
Turbulens:				Solstånd:			
Vindhastighet och -riktning:				Normaliserad vindhastighet:			
10 m:	m:	m:	m:	m:	m:	m:	m:

MÄTNING OCH MÄTRESULTAT							
Mätmetod:							
Kalibreringsresultat för mätanordningen före mätning:							
Mätpunkt 1:		Mätpunkt 2:		Mätpunkt 3:		Mätpunkt 4:	
Kalibreringsresultat för mätanordningen efter mätning:							
Mätpunkt 1:		Mätpunkt 2:		Mätpunkt 3:		Mätpunkt 4:	
Mätning och observation av särdrag i buller:							
Smalbandighet/Tonalitet		Impulsart		Signifikant pulserande (amplitudmodulering)		Annat, vad	
ja	nej	ja	nej	ja	nej	ja	nej
Bakgrundsbullrets styrka och inverkan på resultatet:							
Mätpunkt 1:		Mätpunkt 2:		Mätpunkt 3:		Mätpunkt 4:	
VERIFIERING AV BULLERUTSLÄPP FRÅN VINDKRAFTVERK GENOM MÄTNING							
Vindkraftverkets skenbara ljudeffekt LWA,k i varje vindhastighetsområde (bin)							
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s		
Vindkraftverkets skenbara ljudeffekt LWA, 10m, k i varje vindhastighetsområde (bin) motsvarande 10 m höjd;							
	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s		

#### ÖVRIGA BILAGOR:

- 1) Genomsnittliga eleffekter hos vindkraftverket och vindhastigheter som motsvarar mätningarna av ljudtrycksnivån
- 2) Vindkraftverkets effektkurva
- 3) Kartunderlag för vindkraftsområdet på vilket man kan urskilja terrängformationerna, markytetyper, kraftverkens och mätpunkternas position, positionen för de utsatta objekten samt positionen för eventuella funktioner som ger upphov till bakgrundsbuller
- 4) Plankarta över området
- 5) Bilder av mätplatsen, apparaturen osv.

MÄTRESULTAT PER 1/3 OKTAV							
Hz	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4			
20							
25							
31,5							
40							
50							
63							
80							
100							
125							
160							
200							
250							
315							
400							
500							
630							
800							
1000							
1250							
1600							
2000							
2500							
3150							
4000							
5000							
6300							
8000							
10000							



## HÄNVISNINGAR

1. Tuulivoimamelun mittausmetodiikan kehittäminen. (Utveckling av mätmetodiken för vindkraftsbuller) Forskningsrapport VTT-R-04680-13.
2. IEC 61400-11 Edition 3.0 2012-11- Wind turbines – Part 11: Acoustic noise measurement techniques.
3. Statutory Order on Noise from Wind Turbines. Translation of Statutory Order no. 1284 of 15 December 2011.
4. Mätning av bullernivån från vindkraftverk vid objekt som utsätts. Miljöförvaltningens anvisningar 4/2014.
5. IEC TS 61400-14. Wind turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. Technical specification. International Electrotechnical Commission.
6. IEC 61672-1:2002. Electroacoustics - Sound Level meters - Part 1: Specifications. 85 s.
7. IEC 61260. Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave band filters.
8. IEC 60942. Electroacoustics - Sound calibrators. 177 s.
9. NT ACOU 211. Acoustics: Prominence of impulsive sounds and for adjustment of  $L_{Aeq}$ . Approved 2002-05. Nordtest.
10. Karjalainen, M. Kommunikaatioakustiikka. Esbo 2009. Aalto-universitetet, Institutionen för signalbehandling och akustik. 255 s.

## KUVAILULEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Rakennetun ympäristön osasto	Julkaisu-aika	Helmikuu 2014	
Tekijä(t)	Ympäristöministeriö			
Julkaisun nimi	<b>Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittaamalla</b> Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk genom mätning			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöhallinnon ohjeita 3   2014			
Julkaisun teema	Rakennettu ympäristö			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Tuulivoimaloiden melu poikkeaa muusta ympäristömelusta. Voimaloiden ääni voi sisältää erityispiirteitä, mitkä lisäävät melun häiritsevyyttä. Voimat toimivat vain osan ajastaan nimellistehollaan, jolloin niiden melupäästö on suurin. Tuulivoimalan ääni syntyy korkealla, mikä vaikuttaa äänen vaimenemiseen sen edetessä etäälle voimalasta. Ääni ja äänenvoimakkuus vaihtelevat merkittävästi sääoloista riippuen melulle altistuvassa kohteessa.</p> <p>Ohjeessa esitetään menettelytavat tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melupäästön (äänitehotason) mittaamiseksi ja arvioimiseksi.</p> <p>Ohjeessa on annettu tietoja mittausmenettelyistä, mittauksissa käytettävistä laitteista ja tulosten esittämistä vasta. Mittaukset voidaan tehdä kaikissa suunnissa tuulivoimalan (tai tuulivoimalaryhmän) ympärillä.</p> <p>Ohjeen menettelytavat mahdollistavat äänitekniikan suunnittelun liittämisen tuulivoima-alueiden muuhun suunnitteluprosessiin ja hyväksymismenettelyyn.</p>			
Asiasanat	Melu, tuulivoimalat, ympäristömelu, mallintaminen, tuulivoimarakentaminen			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö			
	978-952-11-4276-5 ISBN (PDF)	1796-1653 ISSN (verkkoj.)		
	Sivuja 50	Kieli Suomi/Ruotsi	Luottamuksellisuus julkinen	
Julkaisun myynti/ jakaja	Julkaisu on saatavana vain internetistä: <a href="http://www.ym.fi/julkaisut">www.ym.fi/julkaisut</a>			
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö			
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2014			

## PRESENTATIONSBLAD

<i>Utgivare</i>	Miljöministeriet Avdelningen för den byggda miljön	<i>Datum</i> Februari 2014
<i>Författare</i>	Miljöministeriet	
<i>Publikationens titel</i>	<b>Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mitaamalla</b> Verifiering av bullerutsläpp från vindkraftverk genom mätning	
<i>Publikationsserie och nummer</i>	Miljöförvaltningens anvisningar 3   2014	
<i>Publikationens tema</i>	Byggd miljö	
<i>Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt</i>		
<i>Sammandrag</i>	<p>Bullret från vindkraftverk avviker från annat omgivningsbuller. Ljudet från vindkraftverken kan innehålla särdrag som ökar bullrets störande verkan. Ett kraftverk arbetar endast under en del av drifttiden vid sin nominella effekt, då bullerutsläppet (emissionen) är som störst. Ljudet från ett vindkraftverk uppstår på hög höjd, vilket påverkar hur ljudet dämpas när det fortplantar sig längre bort från kraftverket. Det ljud och den ljudstyrka som vindkraftverken alstrar varierar betydligt temporalt beroende på väderförhållandena.</p> <p>Anvisningen ger metoder för att mäta och bedöma bullerutsläppet (ljudeffektnivån) från ett vindkraftverk eller från flera vindkraftverk i ett vindkraftsområde.</p> <p>I anvisningen finns uppgifter om mätmetoder, den apparatur som ska användas och hur resultaten ska presenteras. Mätningar kan göras i alla riktningar kring ett vindkraftverk (eller en grupp vindkraftverk).</p> <p>Metoderna i anvisningen gör det möjligt att koppla ljudteknisk planering till den övriga planeringsprocessen och godkännandeförfarandet för vindkraftsområden.</p>	
<i>Nyckelord</i>	Buller, vindkraftverk, omgivningsbuller, modellering, vindkraftsutbyggnad	
<i>Finansiär/ uppdragsgivare</i>	Miljöministeriet	
	978-952-11-4276-5 ISBN (PDF)	1796-1653 ISSN (online)
	<i>Sidantal</i> 50	<i>Språk</i> Finska/ Svenska
		<i>Offentlighet</i> Offentlig
<i>Beställningar/ distribution</i>	Publikationen finns tillgänglig endast på internet: <a href="http://www.ym.fi/julkaisut">www.ym.fi/julkaisut</a>	
<i>Förläggare</i>	Miljöministeriet	
<i>Tryckeri/tryckningsort och -år</i>	Helsingfors 2014	

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Built Environment	<i>Date</i> February 2014
<i>Author(s)</i>	Ministry of the Environment	
<i>Title of publication</i>	<b>Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittamalla</b> (Using measurements to verify noise emissions from wind turbines)	
<i>Publication series and number</i>	Environmental Administration Guidelines 3   2014	
<i>Theme of publication</i>	Built environment	
<i>Parts of publication/ other project publications</i>		
<i>Abstract</i>	<p>Noise from wind turbines differs from other environmental noise. The sound from wind turbines may include special characteristics that make the noise more annoying. Wind turbines are operated for only a part of their operational life at the rated power where noise emissions are at the maximum. The noise from wind turbines is produced high up, which will have an effect on the sound attenuation when the sound propagation occurs farther away from the wind turbines. Sound and sound levels fluctuate substantially in areas exposed to noise, depending on weather conditions.</p> <p>The guidelines provide procedures for measuring and assessing noise emissions (sound power level) from wind turbines or wind farms.</p> <p>Additionally, the guidelines include information about measurement procedures, equipment used in measurements, and how the results will be presented. Measurements can be taken from each direction around the wind turbine (or a group of wind turbines).</p> <p>The procedures in the guidelines make it possible to link acoustic planning to other planning processes and approval procedures for wind turbine farms.</p>	
<i>Keywords</i>	Noise, wind turbines, environmental noise, modelling, construction of wind turbines	
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment	
	978-952-11-4276-5 ISBN (PDF)	1796-1653 ISSN (online)
	<i>No. of pages</i> 50	<i>Language</i> Finnish/Swedish
		<i>Restrictions</i> For public use
<i>For sale at/ distributor</i>	The publication is available only on the internet: <a href="http://www.ym.fi/julkaisut">www.ym.fi/julkaisut</a>	
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment	
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2014	



Ohjeessa esitetään menettelytavat tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen tuulivoimaloiden melupäästön mittaamiseksi ja arvioimiseksi. Ohjeessa on annettu tietoja mittausten menettelyistä, mittauksissa käytettävistä laitteista ja tulosten esittämistavasta.

Mittausohjetta voidaan käyttää yksittäisen tuulivoimalan tai tuulivoima-alueen samanlaisten tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon (declared value) todentamiseen, sekä melumallinnuksessa käytettyjen lähtöarvojen mittaamiseen tai todentamiseen. Mittausohjetta voidaan lisäksi käyttää melutason arviointiin niissä tapauksissa, missä melutasoa ei voida suoraan mitata Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa -mittausohjeen mukaisella menettelyllä.

Mittausohjetta voidaan hyödyntää alueidenkäytön ja rakentamisen suunnittelussa tai ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä melun vaikutusten ja melulle mahdollisesti altistuvien arvioinnissa.



Ympäristöministeriö  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4276-5 (PDF)  
ISSN 1796-1653 (verkkokj.)