

## TUULIVOIMAMELUN IMMISSIOMITTAUSOHJE. KOKEMUKSIA JA KEHITYSEHDOTUKSIA

Denis Siponen<sup>1</sup>, Hannu Nykänen<sup>2</sup>, Vesa Viljanen<sup>3</sup>, Tapio Lahti<sup>4</sup>

<sup>1</sup> AkustiikkaSiponen  
Kivirannantie 19  
40270 PALOKKA  
denis.siponen@akustiikkasiponen.fi

<sup>2</sup> Rantamäentie 14  
37550 LEMPÄÄLÄ  
hannu.j.nykanen@outlook.com

<sup>3</sup> Noisere/Noisecontrol  
Betanankatu 1 B  
20810 TURKU  
vesa.viljanen@noisecontrol.fi

<sup>4</sup> TL Akustiikka  
Hiomotie 19  
00380 HELSINKI  
tapio.lahti@tlakustiikka.fi

### Tiivistelmä

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2014 ohjeet tuulivoimamelun mittaamiseksi ja mallintamiseksi. Melumittauksia tekevät konsultit ovat soveltaneet immissiomittausohjetta useilla Suomen tuulivoimala-alueilla. Runsaan kolmen vuoden kokemusten perusteella voidaan arvioida mittausohjeen käyttökelpoisuutta hyvine ja huonoine puolineen sekä puutteineen ja virheineen. Lisäksi voidaan arvioida, miten ohjetta on sovellettu.

Mittausraporteista ilmenee, että ohjeen menetelmää B ei ole käytetty lainkaan. Joissakin mittauksissa tuulen suuntaa ja nopeutta ei ole mitattu, ja immissiopisteen kannalta lähimmät tuulivoimalat eivät ole toimineet nimellistehollaan. Lisäksi tuulen aiheuttama taustamelutaso on häirinnyt mittauksia. Kokemukset viittaavat vahvasti siihen, että mittausohje tulisi mitä pikimmin päivittää. Menetelmien määrää tulisi vähentää niitä yhdistämällä. Ohjeen päivittämisessä tulisi keskittyä yksinkertaisuuteen ja käytännöllisyyteen.

Mittausmenetelmien tulisi perustua siihen, että mitataan tilanteissa, joissa melun häiritsevyys on suurin. Kokemus on osoittanut, että sellaisia ovat ilta ja yö, jolloin voimala toimii nimellistehollaan, tuuli puhaltaa voimalalta immissiopisteeseen päin, mutta tuulen nopeus kohteessa on mahdollisimman pieni. Lisäksi mittaukset tulisi tehdä maanpinnan tasolla mittauslevyä käyttäen.

### 1 JOHDANTO

Ympäristöministeriö julkaisi helmikuussa 2014 ohjeet tuulivoimamelun mittaamiseksi ja mallintamiseksi. Tuulivoimamelun immission mittaamista koski ohje ”Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa” (Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2014 [1]). Ohjeen julkaisemisen jälkeen melumittauksia tekevät konsultit ovat soveltaneet ohjetta useiden Suomen tuulivoima-alueiden melun mittauksiin. Runsaan kolmen vuoden kokemuksen perusteella voidaan arvioida ohjeen käyttökelpoisuutta hyvine ja huonoine puolineen sekä puutteineen ja virheineen. Lisäksi voidaan arvioida sitä, miten konsultit ovat ohjetta soveltaneet.

## 2 IMMISSIOMITTAUSOHJEEN KOLME MENETELMÄÄ

Immissiomittausohjeessa on esitetty yleiset mittaus- ja olosuhdevaatimukset sekä kolme menettelyä itse mittausten tekemiseen. Seuraavassa nämä vaatimukset ja menettelyt käydään lyhyesti läpi.

### 2.1 Yleiset vaatimukset

Mittausohjeessa on mittausten onnistumisen kannalta olennaisia yleisiä vaatimuksia. Ne poikkeavat toisistaan siitä riippuen, onko mittauksissa tavoitteena verrata mittaustuloksia mallinnettuihin melutasoihin vai arvioida meluhaittaa altistuvassa kohteessa.

Kun mittaustuloksia verrataan mallinnettuihin melutasoihin, mittaukset tehdään seuraavissa sääoloissa:

- Joissakin mittausmenettelyissä mittaus tapahtuu tuulen suhteen voimalan melupäästön tavoitearvolla, eli kun tuulivoimala toimii nimellistehollaan.
- Tuulen suunta on lähimmästä tuulivoimalasta ja mahdollisimman monesta muusta tuulivoima-alueen voimalasta mittauspisteeseen päin  $\leq \pm 45^\circ$ .
- Pystysuora lämpötilagradientti  $dT/dz$  on välillä  $-0,05 \dots 0,05$  °C/m. Vaatimus täyttyy yleensä, kun mittaukset tehdään:  
yöllä (tunti auringonlaskun jälkeen ja tunti ennen auringonnousua);  
päivällä (tunti auringonnousun jälkeen ja tunti ennen auringonlaskua), kun pilvisyys  $> 4/8$  (selkeästä puolipilviseen).

Muissa kuin vertailutapauksissa melumittaus pyritään tekemään niissä sääoloissa, joissa melu saattaa aiheuttaa häiriötä altistuvassa kohteessa.

### 2.1 Menettely A: Tuulivoimalan melutason mittaaminen

Menettelyssä A Tuulivoimalan ja taustamelun melutaso mitataan eri tuulen nopeuksilla. Melutaso ja tuulen nopeus mitataan samanaikaisesti mittauspisteessä. Melutasot mitataan sekä tuulivoimalan ollessa toiminnassa että pysäytettynä.

Menettelyä A käytetään, kun halutaan verrata tuulivoimalan melutasoa suunnittelu- tai tunnusarvoon.

### 2.2 Menettely B: Tuulivoimalan ja taustamelun yhdessä tuottaman melutason mittaaminen tuulen nopeuden tavoitearvolla

Menettelyssä B mitataan voimalan ja taustamelun yhdessä tuottama melutaso. Tuulen nopeus mitataan voimalan kohdalla joko 10 m korkeudella tai tuulivoimalan napakorkeudella. Melutaso mitataan eri tuulen nopeuksilla ja mittaustulokset esitetään pisteittäin korjatun tuulen nopeuden funktiona. Melutasot approksimoidaan suoralla viivalla ja tuulen tavoitearvolla vallitseva melutaso luetaan viivalta.

Menettelyllä saatua lukuarvoa voidaan pitää tuulivoimalan tuottaman melutason ylärajana tuulen nopeuden tavoitearvolla. Mittaustuloksella voidaan osoittaa, alittaako tuulivoi-

malan tuottaman melutaso suunnittelu- tai tunnusarvon, mutta sitä ei voida käyttää ylitymisen todentamiseen.

### 2.3 Menettely C: Tuulivoimalan tuulen nopeuden tavoitearvolla tuottaman melutason mittaaminen

Menettely C on samankaltainen kuin B, mutta siinä mitataan tuulen nopeus tuulivoimalan kohdalla lisäksi myös mittauspisteessä. Näin saadaan tuulivoimalan itse tuottamat korjatut melutasot viivalla approksimoiden, kun mittaustulokset esitetään pisteittäin korjatun tuulen nopeuden funktiona.

Menettelyllä saatua lukuarvoa voidaan käyttää, kun verrataan tuulivoimalan tuottamaa melutasoa esimerkiksi suunnittelu- tai tunnusarvoon myös tilanteessa, jossa melutaso on määritetty suhteessa tuulivoimalan lähellä vallitsevaan tuulen nopeuteen.

## 3 SUOMESSA TEHDYT TUULIVOIMAMELUN IMMISSIOMITTAUKSET

Tuulivoimamelun immissiomittausohjeen julkaisun jälkeen Suomessa on tehty useita mittauksia. Lyhyt yhteenveto ja analyysi eräistä mittauksista on esitetty alla.

### 3.1 Latamäki, Luhanka 11.6.-10.7.2015

Luhangassa Latamäen tuulivoimala-alueella mitattiin melua 11.6.–10.7.2015 (29 mittauspäivää) kolmessa mittauspisteessä [2]. Ne sijaitsivat asuinrakennusten läheisyydessä piha-alueilla. Etäisyydet lähimpiin tuulivoimaloihin olivat 820 m, 1100 m ja 1900 m. Mittaaja ilmoitti, että mittaukset tehtiin ohjeen menetelmän A mukaisesti. Tuulivoimalat pysäytettiin jokaisena yönä kaksi kertaa taustamelutason määrittämistä varten.

Kun mittauksia tarkastellaan lähemmin ja verrataan ohjeeseen, havaitaan, että useat ohjeen vaatimukset eivät täyttyneet:

- Tuulen nopeutta ja suuntaa ei mitattu. Ei tiedetä, täytyivätkö ehdot tuulen suunnalle ( $\pm 45^\circ$  voimalasta mittauspisteeseen) ja nopeudelle (voimalan toimittava nimellisteholla) mittausten aikana.
- Voimalat toimivat mittausten aikana nimellisteholla vain 1–2 % mitausajasta. Keskimäärin voimalat toimivat vain n. 0,8 MW teholla (27 % nimellistehosta 3 MW).

Epäkohdat ovat erittäin oleellisia, sillä niistä näkyy, kuinka monta päivää kokonaismittausajasta olivat valideja. Kun tarkastellaan lähemmin Ilmatieteen laitoksen tietoja mitausajankohdan tuulesta mahdollisimman lähellä mittausaluetta, havaitaan, että tuulen suunnan mittausehto on toteutunut ainoastaan kuutena päivänä 29:stä. Voimalan nimellistehon vaatimus on toteutunut kolmena päivänä kaikista mittauspäivistä [2].

### 3.2 Vartinoja, Siikajoki 21.12.2016-21.1.2017

Siikajoella Vartinoja I -tuulivoimala-alueella mitattiin melua 20.12.2016 – 21.1.2017 (34 mittauspäivää) kolmessa eri mittauspäikässä [3]. Kaksi mittauspistettä oli asuinrakennusten piha-alueiden läheisyydessä, etäisyydet lähimpiin tuulivoimaloihin olivat 750 m, 1300 m ja 1400 m. Mittaaja ilmoitti tehneensä mittaukset Ympäristöministeriön

ohjeen menetelmän C mukaisesti. Tuulivoimalat pysäytettiin jokaisena yönä kaksi kertaa taustamelutason määrittämistä varten.

Kun mittauksia tarkastellaan lähemmin mittausohjeen kannalta, nähdään seuraavat epäkohdat:

- Menettelyn C ehdot eivät täyty riittävän monella mittauskerralla. Tuulen suunnan ja tavoitearvon tulee toteutua vähintään 10:n mittausjakson aikana, mutta ne eivät toteutuneet.
- Melun kapeakaistaisuutta ei selvitetty ohjeen edellyttämällä tavalla, vaan kuulohavaintoon perustuen.

Epäkohdat ovat oleellisia, koska ehtojen perusteella arvioidaan, voidaanko mittausten perusteella todeta suunnittelu- tai tunnusarvon ylityksiä.

### 3.2 Peitto, Pori 23–25.10.2014

Porin Peittoon tuulivoimala-alueella mitattiin 12:sta voimalasta (4,5 MW) koostuvan alueen melua viidessä mittauspisteessä 1–2 vuorokauden ajan syksyn 2014 ja kevään 2015 aikana [4]. Mittauspisteet olivat noin 600–1300 m etäisyydellä lähimmistä voimaloista. Mittausten aikana sovellettiin Ympäristöministeriön ohjetta, mutta kuitenkin siten, että taustalevyllä mitattaessa ei käytetty 6 dB korjausta. Jostakin syystä taustamelua ei mitattu kaikissa kohteissa, vaan se arvioitiin muuten, mikä heikentää tulosten luotettavuutta.

### 3.2 Kopsa, Raahе 7.4.–11.9.2014

Raahen Kopsa I -tuulivoimala-alueella mitattiin seitsemästä voimalasta (3 MW) koostuvan alueen melua yhdessä mittauspisteessä [5]. Piste sijaitti asuintalon pihalla ja sisällä, etäisyys lähimpään voimalaan oli noin 1500 m. Mittauksissa ei noudatettu Ympäristöministeriön ohjeistusta.

### 3.2 Öje, Vaasa 10–11.12.2013

Vaasan Öjessä mitattiin yhden tuulivoimalan melua yhdessä pisteessä 10–11.12.2013 [6]. Piste sijaitti noin 1200 m etäisyydellä voimalasta. Mittaukset tehtiin Ympäristöministeriön ohjeen (joka oli silloin vielä luonnosvaiheessa) menetelmällä C. Tuulen suunta ja nopeus mitattiin sekä mittauspisteessä että voimalan luona.

Ministeriön ohjeesta poiketen tuulen tavoitearvo määritettiin tuulivoimalan luona eikä mittauspisteessä mitatuista tuulitiedoista. On huomattava, että emissio- ja immissiopisteissä 10 m korkeudella mitatut tuulitiedot eivät yleensä juurikaan korreloi keskenään. Lisäksi melusta analysointiin ainoastaan ne ajanjaksot, joiden aikana mittauspisteen tuulen nopeus oli enintään 5 m/s. Näin tuulen aiheuttama taustamelu saatiin minimoiduksi ja mahdolliset inversiotilanteet mukaan mittaustuloksiin.

## 4 MELUMITTAUSTEN POHDINTAA

Kun tarkastellaan edellisissä kappaleissa esitettyjä tuulivoimamelun immissiomittauksia, havaitaan, että ohjeistuksen menetelmää B ei ole käytetty. Tämä on hyvin loogista, sillä kyseistä menetelmää ei voida käyttää suunnittelu- tai ohjearvon ylittymisen todentamiseen. Melurajojen mahdollinen ylittyminen on kuitenkin käytännössä ainoa syy, miksi tuulivoimamelun immissiomittauksia tehdään.

Toinen tärkeä havainto liittyy tuulen nopeuteen mittauspaijalla ja sen vaikutukseen taustameluun. Menetelmässä C ohjeistetaan mittaamaan tuulen nopeus sekä tuulivoimalan luona että mittauspisteessä. Ohjeessa ei kuitenkaan oteta kantaa siihen, kumpaa tuulen nopeutta on käytettävä mittausten analysoinnissa. Tämä aiheuttaa sekaannusta tulkinnassa, sillä tuulen nopeus mittauspaijalla ei monesti korreloi (esimerkiksi inversiotilanteessa) tuulen nopeuteen tuulivoimalan luona, puhumattakaan tuulivoimalan napakorkeudella. Tällöin saatetaan 10 m korkeudella mitatun tuulen nopeudella perusteella päätyä virheelliseen oletamaan, että voimala toimisi nimellistehollaan.

Kolmas seikka on suoraan yhteydessä toiseen havaintoon ja koskee mittauspisteen taustamelua ja edelleen myös tuulen nopeutta. Kun pyritään mittaamaan mittauspisteessä vallitsevalla tuulen tavoitenopeudella, on taustamelu vääjäämättä varsin voimakasta. Kokemus on osoittanut, että nämä tilanteet eivät kuitenkaan vastaa suurinta melun häiritsevyyttä. Suurin meluhäiriö esiintyy päinvastoin silloin, kun taustamelu (mm. tuulen nopeus immiisipisteessä) on mahdollisimman pieni, mutta tuulivoimalat silti toimivat nimellistehollaan. Tämä on tilanne, jossa ohjeen menettely C ei toimi.

## 5 MITTAUSOHJEISTUKSEN KEHITYSEHDOTUKSIA

Pohdittaessa nykyisen mittaushjeistuksen kehittämistä, tulisi aloittaa toteamalla, että käytännössä tuulivoimamelun immiisimittausten tavoitteena on todeta mahdollisimman luotettavasti, ylittääkö tuulivoimamelu käytössä olevat ohje- tai raja-arvot. Tällöin nousee esiin kysymys, onko tarvetta erillisille ohjeille, kun halutaan verrata mittaustuloksia mallinnustuloksiin tai mitata melun kannalta häiritsevintä tilannetta. Molemmat tilanteet ovat käytännössä suunnilleen samanlaisia. Olisikin luonnollista käyttää vain yhtä menetelmää.

Edellä esitetyt näkökohdat johtavat seuraaviin reunaehtoihin:

- Ohjeiden tulisi olla yksinkertaisia, jotta virhetulkinnoilta voitaisi välttyä.
- Melua tulisi mitata tuulivoimalan tai voimala-alueen lähimpien tuulivoimaloiden toimiessa nimellistehollaan.
- Tuulen nopeutena käytetään tuulivoimatoimijalta saatavaa, tuulivoimalan napakorkeudella esiintyvää nopeutta.
- Tuulen nopeus mittauspisteessä saa olla enintään 5 m/s, mutta mielellään mahdollisimman pieni.
- Säätilan on oltava melun etenemiselle suotuisa; käytännössä tulisi mitata välillä tunti ennen auringonlaskua – tunti auringonnousun jälkeen.
- Signaali-kohinasuhteen maksimoimiseksi mittauksissa käytetään aina mitauslevyä ja käytetään normaalia maanpintamittausten –3 dB korjausta.

Kun tarkastellaan nykyistä ohjeistusta ylläolevien ehtojen näkökulmasta, todetaan, että käytännön ja yksinkertaisuuden näkökulmasta nykyisissä ohjeissa on liian monta menetelmää. Menetelmälle B ei ole juuri käyttöä Suomen tuulivoimamelun ohjearvojen kannalta eikä sitä myöskään ole käytetty kertaakaan mittaushjeiden julkaisemisen jälkeen. Menetelmä C kaipaa uudistamista, ja pitäisi pohtia vakavasti, tulisiko C-menetelmästä ottaa osia ja yhdistää menetelmät A ja C yhdeksi yhtenäiseksi menetelmäksi. Menetelmän C suurin heikkous on inversiotilanteessa tehtyjen melun regressiokäyrien huomattava eroavaisuus normaalitilanteissa tehtyihin regressiokäyriin. Normaalitilanteen regressiokäyrän perusteella ei saisi tehdä mitään johtopäätöksiä melun ylittymisen suhteen.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ympäristöministeriön ohje ”Tuulivoimamelun mittaus altistuvassa kohteessa” koskee mittauksia immissiosteessa, kun halutaan verrata mittaustuloksia mallinnustuloksiin tai mitata melun kannalta häiritsevintä tilannetta. Runsaan kolmen vuoden käyttökokemus kuitenkin paljastaa, että mittausohje tulisi mitä pikaisimmin päivittää. Mittausohjeiden eri menetelmien määrää tulisi pienentää ja menetelmiä yhdistää. Ohjeiden päivittämisessä tulisi keskittyä yksinkertaisuuteen ja käytännöllisyyteen.

Itse mittausmenetelmän tulisi perustua siihen, että mitataan tilanteissa, jossa melun häiritsevyys on suurin. Käytännön kokemus on osoittanut, että tällaisia tilanteita ovat ilta- ja yö silloin, kun tuuli puhaltaa tuulivoimalasta immissiosteeseen päin, voimala toimii nimellistehollaan, mutta tuulen nopeus immissiosteessa on mahdollisimman pieni. Lisäksi mittaukset tulisi tehdä maanpinnan tasossa mittauslevyä käyttäen.

### VIITTEET

- [1] Ympäristöministeriö. Helsinki 2014. Tuulivoimaloiden melun mittaaminen altistuvassa kohteessa. Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2014.
- [2] WSP Finland Oy: Latamäen tuulivoimalapuiston ympäristömelumittaukset 2015. 3.9.2015. Projektinnumero 306890.
- [3] WSP Finland Oy: Vartinoja I tuulivoimapuiston (Siikajoki) melumittaukset talvella 2016-2017, 31.3.2017.
- [4] Pöyry Finland Oy: Pori Peitto tuulivoimapuisto – ympäristömelumittaukset viidessä-asuinkohteessa. 14.4.2015. projektinnumero 16X199888.10.Q860-001.
- [5] Työterveyslaitos: Melututkimus 7.4. – 11.9.2014. Raportti AR23-2014-252562.
- [6] VTT Oy. Mervento 3.6-118 –tuulivoimalan aiheuttaman melun immissiomitaukset. VTT-CR-01064-14. 2014.