

30.10.2014



## METSÄHALLITUS LAATUMAA

Piiparinmäen tuulivoimapuiston osayleiskaavan meluselvitys

16UEC0146

## YHTEENVETO

Osayleiskaavaluonnoksen mukaisen tuulivoimapuiston melun leviämisyöhykkeet on mallinnettu yhdelle voimalatyypille digitaalikarttaan noudattaen tuulivoimamelun mallinnusohjeita YM OH 2/2012 /2/.

Ylärajatarkastelun tulosten mukaan yhden voimalamallin (Vestas V126, 3,3MW) takuuarvoilla laskettu 40 dB(A) keskiäänitaso asuinrakennuksille ei ylitä suunnitelman vaihtoehdossa. Myöskään 35 dB(A) meluvyöhyke ei ulotu lähimmälle loma-asunnolle, missä laskentatuloksena on alle 33 dB(A). Meluvaikutuksia voidaan edelleen lieventää valitsemalla toteutukseen voimala, jonka lähtömelutaso on laskennassa käytettyä pienempi.

Pientaajuinen melu voi kuulua ulkotiloissa alkaen taajuudesta  $\approx 45$  Hz ja ulkona A-painotetun keskiäänitason  $L_{Aeq,20-200Hz}$  taso on 30 dB. Ilmaäänieristyksen on oltava vain noin 3-5 dB taajuusvälillä 50–125 Hz, jotta asumisterveysohjeen sisämeluarvot alittuvat. Mittausten perusteella ko. ilmaäänieristävyys voidaan saavuttaa jo varsin kevyellä seinärakenteella.

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttua alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita melulle altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja itäosissa.

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

**Sisältö**

<b>YHTEENVETO</b>	<b>2</b>
<b>1 HANKEKUVAUS</b>	<b>4</b>
<b>2 MELUN OMINAISPIIRTEET</b>	<b>4</b>
2.1 Ympäristömelu	4
2.2 Tuulivoimamelu	5
<b>3 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT</b>	<b>6</b>
3.1 Digitaalikärttä	6
3.2 Mallinnetut turbiinit	6
3.3 Mallinnus- ja laskentaparametrit	7
3.4 Vertailuohjeet	7
<b>4 LASKENTATULOKSET</b>	<b>8</b>
4.1 Ylärajatarkastelu	8
4.2 Pientaajuinen melu	9
<b>5 MELUVAIKUTUKSET</b>	<b>10</b>
5.1 Vaikutukset alueen äänimaisemaan	10
5.2 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	11
5.3 Vaikutusten seuranta	11
<b>6 YHTEENVETO</b>	<b>11</b>
<b>VIITTEET</b>	<b>12</b>

**Liitteet**

Liite 1 Melumallinnuskartta, Piiparinmäen tuulivoimapuisto

**Lyhenteet**

$L_{Aeq}$	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso [dB]
$L_{WA}$	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso [dB]
$L_{WAd}$	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotason tunnusarvo [dB]
$\Delta L_a$	Kapeakaistaisen melun toonin kuuluvuus [dB]

## 1 HANKEKUVAUS

Raportti koskee Piiparinmäen tuulivoimapuiston osayleiskaava-aluetta, joka käsittää pohjoisen osan YVA-menettelyllä tutkitusta Piiparinmäen-Lammaslamminkankaan alueesta. Hankealueen keskiosa (Lammaslamminkangas) on jätetty pois jatko-suunnittelusta YVAn seurauksena. Alue on jakautunut kahteen osaan, joilla etäisyyttä toisiinsa on noin 10 km. Pohjoinen osa (Piiparinmäen alue) sijoittuu Pyhännän ja Kajaanin alueille ja eteläinen osa (Murtomäen alue) Kajaanin ja Vieremän alueille.

Hankkeen nimeksi on muutettu Piiparinmäen-Murtomäen tuulivoimapuistohanke. Siihen kuuluu yhteensä 81 tuulivoimalaa, joista Piiparinmäen alueella on 43 voimalaa ja Murtomäen alueella 38 voimalaa. Piiparinmäen voimaloista 32 sijoittuu Pyhännän kunnan ja 11 Kajaanin kaupungin alueelle. Voimaloiden sijoittelussa on huomioitu YVA:n vaikutusarvioinnit ja kaavoituksen yhteydessä laaditut selvitykset.

Hankkeiden välisestä etäisyydestä johtuen Piiparinmäen ja Murtomäen tuulipuistoilla ei ole melusta aiheutuvia yhteisvaikutuksia. Tämän vuoksi Murtomäen hankkeen tulokset esitetään omassa erillisessä raportissaan. Suunnittelussa käytetty tuulivoimaloiden yksikköteho on noin 3 MW, tornikorkeus enintään 160 m ja roottorin lavan pituus enintään 70 m.

Tuulivoimapuisto toteutuu todennäköisesti vaiheittain. Tämä raportti käsittelee osayleiskaava-alueen mukaisen tuulivoimapuistosuunnitelman aiheuttaman melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Vertailuarvoina käytetään ympäristöministeriön tuulivoiman suunnitteluoppaan ohjeita./2/

## 2 MELUN OMINAISPIIRTEET

### 2.1 Ympäristömelu

Ääni on aaltoliikettä, joka välittyy väliaineessa ja jonka etenemisnopeus riippuu väliaineen ominaisuuksista. Ilmassa äänennopeus riippuu lämpötilasta.

Melu on subjektiivinen käsite, jolla ymmärretään äänen negatiivisia vaikutuksia, ei-toivottua ääntä, josta on haittaa ja jossa kuulijan omat tuntemukset ja äänenerotuskyky ratkaisevat. Normaali ympäristömelu sisältää useista kohteista tulevaa yhtäaikaista ääntä, jossa taajuudet ja aallonpituudet muuttuvat jatkuvasti.

Äänen (melun) voimakkuutta mitataan logaritmisella desibeliasteikolla (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle ilmassa) käytetään referenssipainetta 20  $\mu$ Pa ilmalle sekä 1  $\mu$ Pa muille aineille. Tällöin 1 Pa paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä.

Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin muuttuvat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin painotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen ja ilmaistaan usein A-kirjaimella dimension perässä, esimerkiksi dB(A).

Melun ekvivalenttitaso (symboli  $L_{eq}$ ) tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian vaihteleva taso. Koska ääni käsitellään logaritmisena suureena, hetkellisesti korkeammat äänitasot vaikuttavat suhteellisen paljon ekvivalenttiseen

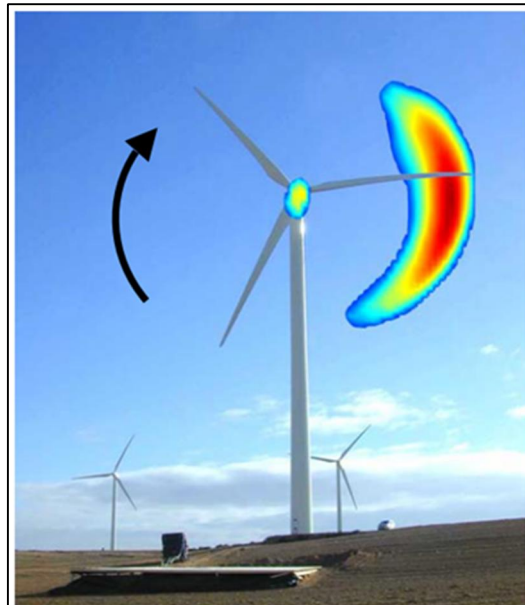
tasoon. Teollisuusmelussa hetkellisvaihtelut ovat usein varsin lähellä myös ekvivalenttista arvoa, mikäli toiminnasta ei aiheudu impulssimaista melua.

## 2.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimaloiden käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman sitä kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien melusta (muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät). Aerodynaaminen melu on hallitsevin (noin 60–70 % kokonaisäänienergiasta) lapojen suuren vaikutuspinta-alan ja jaksollisen niin sanotun amplitudimoduloituneen äänen vuoksi. Siinä äänen voimakkuus vaihtelee ajallisesti lapojen pyörimistäajuuden mukaan.

Amplitudimodulaatio (myöhemmin ”AM”) voidaan havaita sekä aerodynaamiselle virtausmelulle että myös koneiston kapeakaistaisille komponenteille. Yleisesti tuulivoimalamelun taajuus on painottunut pientaajuiselle alueelle 50–500 Hz, mutta A-painotuksen jälkeen merkittävimmät taajuudet ovat 500–1500 Hz:n välissä.

Aerodynaaminen melu kuullaan usein kohinamaisena äänenä, jossa on jaksollinen rytmi. Likainen lavanpinta lisää rosoisuutta, mistä seuraa turbulenssin ja siten myös äänitason nousua. Pientaajuisen melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiot, siipivirtauksen irtoamistilanteet (dynaaminen sakkkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisiilmiöt (ilmamassan impedanssi etäisyyden kasvaessa). Aerodynaaminen melu voi myös aiheuttaa viheltävää ääntä esimerkiksi siipivaurioiden yhteydessä.



**Kuva 1. Tuulivoimalan lavan suhahtavan äänen (amplitudimodulaatio) emittoituminen alhaalla olevaan kuuntelijaan nähden. /3/**

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Pyörivän siivistön äänitaso on ylä- ja alatuulen puolilla suurempi kuin sivusta katsottuna samalla etäisyydellä /3/. Lisäksi voimalan lähtöäänitaso riippuu suoraan tuulennopeudesta siten, että alhaisilla tuulilla ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla. Maksimi äänitehotaso ( $L_w$ ) saavutetaan nimellistehon tuulinopeuksilla (yleisesti nopeus napakorkeudella  $> 9$  m/s) ennen siipikulmasäädön käynnistymistä, mikä yleensä tasoittaa äänitehotason nousun tuulen nopeuden

edelleen kasvaessa. Siiven kärkinopeus on moderneissa voimaloissa maksimissaan noin 75 m/s. Tulovirtauksen turbulenssi sekä viereisten tuulivoimalaitosten virtausvana voivat lisätä aerodynaamista melua epäedullisen tulovirtauksen kohtauskulman vuoksi.

Taustamelu ja tuulen aiheuttama aallokko- ja puustokohina peittävät voimaloiden melua, mutta peittoäännet vaihtelevat ajallisesti. Niiden voimakkuus on sitä parempi, mitä lähempänä peittoäänien taajuusjakauma on vastaavaa tuuliturbiinin äänijakaumaa /4/. Vastaavasti tuulivoimamelun mahdollinen amplitudimodulaatio voi heikentää taustamelun peittovaikutusta ja siten kuulua myös taustakohinan läpi. Näin erityisesti tilanteissa, joissa alailmakehän stabiilisuus kasvaa ja vähentää osaltaan kasvillisuuden ja aallokon kohinaa./5/

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimoinnilla, jolloin kellonajan, tuulensuunnan ja -nopeuden mukaan säädetään lapa-kulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Sääto vaikuttaa kuitenkin voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon.

### 3 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Lähtötiedot on koottu Metsähallitus Laatumaan lähettämästä aineistosta, digitaali-aineistosta sekä kirjallisuudesta.

#### 3.1 Digitaal kartta

Melumallinnus on suoritettu digitaal kartalle, jonka topografian korkeusväli on 2,5 m. Kartassa on kuvattu voimaloiden lisäksi maaston muodot, tiet, rakennusten paikkatiedot, niiden käyttötarkoitus sekä topografinen vesiraja.

#### 3.2 Mallinnetut turbiinit

Mallinnuksessa käytettiin yhtä turbiinityyppiä, jonka oletetaan vastaavan 3,3 MW voimalan äänitehoa. Puiston toteutusvaihtoehtoon kuuluu neljäkymmentäkolme (43) voimalaa tornikorkeudella 160 m.

Voimaloiden äänitaajuusjakauma terssikaistalla (1/3 oktaavikaistalla) on saatu valmistajan antamasta melupäästön takuuarvosta  $L_{WA}$ . Mallinnuksessa käytettävälle turbiinille ei ole taattu melun amplitudimodulaatiota. Voimalalle ei ole myöskään annettu takuina melun merkityksellisiä kapeakaistaisia ominaisuuksia (jossa toonin kuuluvuus  $\Delta L_a$  olisi  $> +4dB$ ). Alla on esitetty mallinnetun voimalan oktaavikaistan painottamattomia taajuuksia.

**Taulukko 1. Mallinnettujen tuulivoimalaitosten äänitehotaso,  $L_{WA}$  [dB]**

Voimalatyyppi	Oktaavikaistat, Hz									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	$L_{WA}$
<b>V126, 3.3 MW, <math>L_w</math> [dB]</b>	119	116	112	107	104	102	100	94	85	<b>107,5</b>

### 3.3 Mallinnus- ja laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistetaan laskentaohjelmistolla CadnaA 4.4, jossa äänilähteestä lähtevä aalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänen-paineeksi immissio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämismuutuminen, maaston korkeuserot, rakennukset sekä maanpinnan ja ilmakehän vaimennusvaikutukset. Mallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB välein valituilla lähtöarvoparametreilla. Ne on esitetty taulukossa 2 ja ne vastaavat ympäristöministeriön tuulivoimahankkeiden mallinnusohjetta YM OH 2/2014 /2/. Laskennan epävarmuus on sisällytetty voimalan melupäästöön, sillä laskenta hyödyntää valmistajan marginaalin sisältävää takuuarvoa.

Mallinnusohjeen mukaan kumpuilevassa maastossa yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja immissiopisteiden maanpinnan välillä 3 km säteellä voimalasta katsotaan sellaiseksi, että niillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin. Korkeuserot suunnittelualueella jäävät selvästi tätä pienemmiksi eikä +2 dB:n päästökorjausta ole tarpeen tehdä.

**Taulukko 2. Laskentamallien parametrit**

Lähtötieto	Melumallin laskentaparametrit
Mallinnuslogiikka	Ylärajamallinnus, YM OH 2/2014 /1/
Voimaloiden lukumäärä ja äänilähdetyyppi	43 kpl, pistelähde
Äänilähteen korkeus	Relatiivinen korkeus (maanpinnasta laskettuna) 160 m
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2 Pientaajuisen melun laskenta: DSO 1284
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 %
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin välein laskentaverkolla neljän (4) metrin korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan akustinen kovuus	ISO 9613-2, G = 0,4 maa-alueet, G = 0 vesialueet sekä laajat kallioalueet
Jaksollisuus, amplitudimodulaatio	Ei huomioida, lähtöoletuksena alle 20 %:n modulaatioaste
Kapeakaistaisuus	Ei huomioida, $\Delta L_a < +4$ dB immissiopisteissä

### 3.4 Vertailuohjeet

Valtioneuvosto on antanut päätöksen melutason ohjeista (VNP 993/92) meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyvyyden turvaamiseksi. Sen mukaan asumiseen käytettävillä alueilla, virkistysalueilla taajamissa ja välittömässä läheisyydessä sekä hoito- tai oppilaitoksia palvelevilla alueilla melutaso ei saa ylittää ulkona melun A-painotetun ekvivalenttitason (L<sub>Aeq</sub>) päiväohjearvoa (klo 7-22) 55 dB ja yöohjearvoa (klo 22-7) 50 dB. Loma-asumisen alueilla A-painotetun keskiäänitason L<sub>Aeq</sub> ohjeet ovat 45 dB(A) päivällä sekä 40 dB(A) yöllä.

Yöohjearvoa ei sovelleta sellaisilla luonnonsuojelualueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä.

Jos melu on luonteeltaan iskumaista tai kapeakaistaista, mittaus- tai laskentatulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista edellä mainittuihin ohjearvoihin.

Lisäksi ympäristöministeriö on esittänyt tuulivoiman suunnitteludokumentissa tuulipuistojen suositusohjearvoiksi seuraavan taulukon arvoja /2/.

**Taulukko 3. Tuulivoimarakentamisen suunnittelun ohjearvot, YM 2012 /2/**

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason suunnitteluohjearvot	LAeq päivä-ajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)	Huomautukset
Asumiseen käytettävillä alueilla, loma-asumiseen käytettävillä alueilla taajamissa, virkistysalueilla	45 dB	40 dB	
loma-asumiseen käytettävillä alueilla taajamien ulkopuolella, leirintäalueilla, luonnonsuojelualueilla*	40 dB	35 dB	* yöarvoa ei sovelleta luonnonsuojelualueilla, joita ei yleisesti käytetä oleskeluun tai luonnon havainnointiin yöllä
muilla alueilla	ei sovelleta	ei sovelleta	

Mikäli tuulivoimalan ääni on erityisen häiritsevää eli ääni on tarkastelupisteessä soivaa (tonaalista), kapeakaistaista tai impulssimaista tai selvästi sykkivää (amplitudi-moduloitua eli äänen voimakkuus vaihtelee ajallisesti), laskenta- tai mittaustulokseen lisätään esim. 5 dB ennen suunnitteluohjearvoon vertaamista. Ohjearvot sekä sanktiotasot määritellään tuulivoimamelun asetuksessa vuoden 2014 kuluessa.

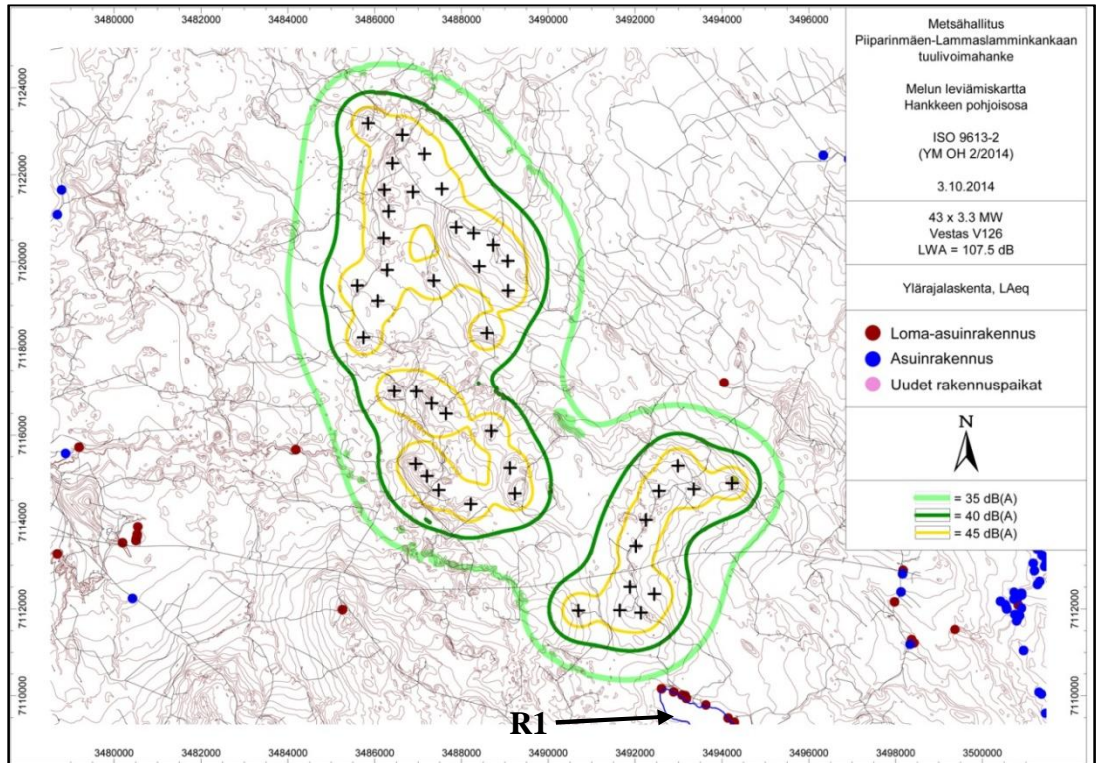
Ulkomelun suunnitteluarvojen lisäksi asuntojen sisätiloissa käytetään terveydensuojelulain (763/94) vaatimuksiin pohjautuen asumisterveysohjeen taajuuspainottamattomia tunnin keskiäänitasoon (Leq,1 h) perustuvia, pienitaajuisten melun ohjearvoja.

## 4 LASKENTATULOKSET

### 4.1 Ylärajatarkastelu

Topografiakartalle laskettu melun leviäminen esitetään värillisillä käyrillä osayleiskaavaluonnoksen mukaiselle tuulivoimapuistolle kuvan 2 kartassa. Alueella ei ole melun yhteisvaikutuksia muiden tuulivoimahankkeiden kanssa. Mallinnettu tuulipuisto sisältää 43 kpl 3,3 MW voimalaa kaavasunnitelman mukaisilla paikoilla.



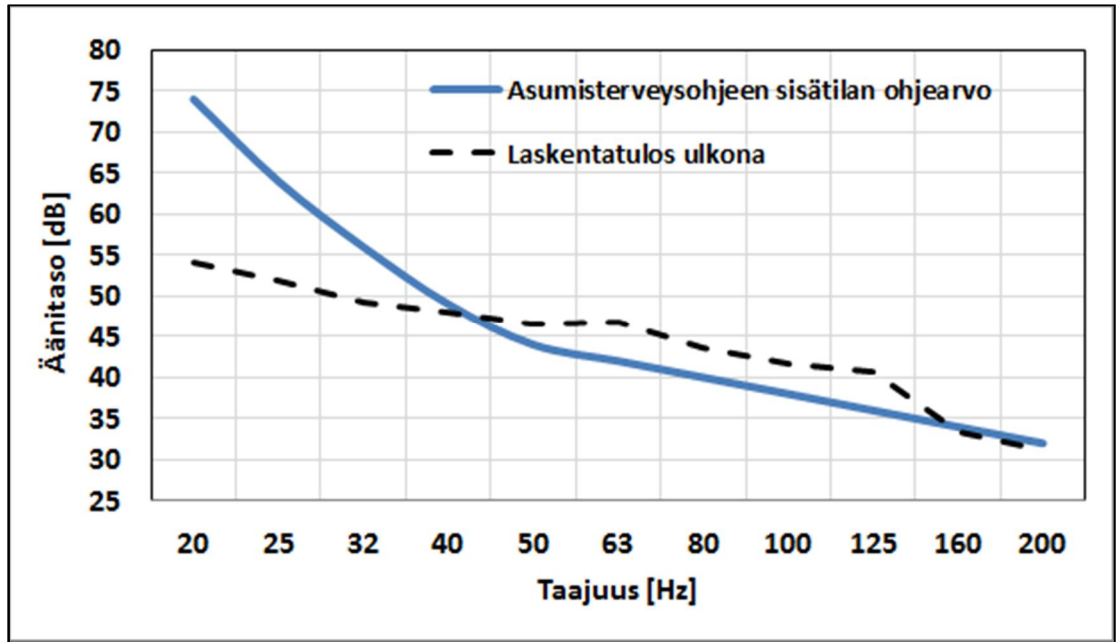


**Kuva 2. Melun leviäminen Vestas V126 3,3 MW:n voimalatyypillä, ylärajatarkastelu**

Laskennan mukaan 43 x Vestas V126 3,3 MW voimalavaihtoehdolla laskettu keskiäänitaso LAeq 40 dB(A) (yöajan suunnitteluohjearvo asuinalueiden osalta) ei ylitä yhtäkään nykyisen asuinalueiden kohdalla. Yöajan suunnitteluohjearvo 35 dB(A) loma-asuinalueille ei myöskään ylitä yhtäkään nykyisen yksittäisen loma-asuinalueiden luona. Lähimmän loma-asuinalueiden kohdalla, joka on karttaan merkitty nuolella "R1", laskennallinen keskiäänitaso on alle 33 dB(A).

#### 4.2 Pientaajuinen melu

Voimaloiden pientaajuinen melu laskettiin käyttäen laitevalmistajan (Vestas) painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja Pöyryn kehittämällä ohjelmalla ohjeen DSO 1284 laskentaruutiinin mukaisesti 1/, /2/, /6/. Tulokuvaaja lähimmän loma-asunnon "R1" luona on esitetty alla.



**Kuva 3. Pientaajuisen melun taso lähimmän loma-asuinrakennuksen R1 ulkopuolella hankevaihtoehdossa Vestas V126 3,3 MW YM OH 2/2014 mukaan laskettuna**

Ilman rakennuksen vaipan ilmaäänien eristävyyttä pientaajuinen melu voi kuulua ulkona alkaen taajuudesta  $\approx 45$  Hz ja riippuen peittomelun tasosta. Kohteen ilmaäänieristävyyttä ei kuitenkaan tunneta. Iin Olhavassa mitattiin normaalin kesämökin ilmaäänien eristävyyttä v. 2013. Mökki on pyöröhirrestä paikalla veistetty yhden huoneen mökki ilman lisä-äänieristeitä; sen ilmaäänien eristävyys oli 12–26 dB taajuusvälillä 20–200 Hz /9/. Tämän asuinkiinteistön sisämelutaso alittuu jo varsin kevyellä seinärakenteella, sillä taajuuksilla (50–125 Hz) eroa ohjearvoon on vain noin 3–5 dB. A-painotettu keskiäänitaso  $L_{Aeq,20-200Hz}$  taajuusvälillä 20–200Hz on = 30 dB.

## 5 MELUVAIKUTUKSET

### 5.1 Vaikutukset alueen äänimaisemaan

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset ovat ajallisesti ja paikallisesti vaihtelevia. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita melulle altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja itäosissa sekä lähempänä voimaloita meluvyöhykkeiden sisällä.

Melun erottuminen riippuu hyvin pitkälti säätilasta. Erottumista lisääviä säättekijöitä ovat stabiili ilta- ja yöajan alilmakehä, kostea säätila ja voimakas alilmakehän inversio. Melu havaitaan paremmin myötätuulella ja heikommin (tai ei lainkaan) vastatuulella. Mitä kauempana laitoksista ollaan, sitä enemmän ilmakehän absorptio vaimentaa korkeita taajuuksia jättäen jäljelle vain matalimpia melutaajuuksia. Lisäksi melun amplitudimodulaatio (jaksoittainen äänitason vaihtelu) voi erottua taustakohinan läpi ulkona. Uudet voimalat ovat kuitenkin hitaasti pyöriviä siipien kärkivälin merkittävän pituuden vuoksi, mistä syystä modulaation erottuminen voi kohdistua enemmän vain kovemmille tuulenopeuksille. Tällöin etenkin aerodynaaminen melu voi kuulostaa matalataajuiselta lentomelulta ("kuminaa"), jolla on jatkuvasti vaihteleva, mutta yleisesti varsin matala äänitaso.

## 5.2 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa laitostyyppin valinnalla. Lisäksi tuulivoimalaitoksia on mahdollista ajaa meluoptimoidusti, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmillä tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Säätoparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa vastaavasti voimalan äänen tuottoa eli äänitehoa. Muuten melua ei voida torjua merkittävästi, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Esimerkiksi tässä selvityksessä käytettyjen turbiinivalmistajien meluoptimointiajo vähentää ääntä korkeimmassa taatussa äänitasossa noin 2-6 dB yhden voimalan osalta.

## 5.3 Vaikutusten seuranta

Rakentamisen jälkeen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014 /7/, /8/. Mittauksin voidaan varsin luotettavasti todeta melutasot ja luonne sekä verrata niitä mallinnettuihin tasoihin ja suunnittelun ohjearvoihin.

## 6 YHTEENVETO

Osayleiskaavaaluonnoksen mukaisen tuulivoimapuiston melun leviämisyöhykkeet on mallinnettu yhdelle voimalatyyppille digitaalikarttaan noudattaen tuulivoimamelun mallinnusohjeita YM OH 2/2012 /2/.

Ylärajatarkastelun tulosten mukaan yhden voimalamallin (Vestas V126, 3,3MW) takuarvoilla laskettu 40 dB(A) keskiäänitaso asuinrakennuksille ei ylitä suunnitelman vaihtoehdossa. Myöskään 35 dB(A) meluvyöhyke ei ulotu lähimmälle loma-asunnolle, missä laskentatulos on alle 33 dB(A). Meluvaikutuksia voidaan edelleen lieventää valitsemalla toteutukseen voimala, jonka lähtömelutaso on laskennassa käytettyä pienempi.

Pientaajuinen melu voi kuulua ulkotiloissa alkaen taajuudesta  $\approx 45$  Hz ja ulkona A-painotetun keskiäänitason  $L_{Aeq,20-200Hz}$  taso on 30 dB. Ilmaäänieristyksen on oltava vain noin 3-5 dB taajuusvälillä 50–125 Hz, jotta asumisterveysohjeen sisämeluarvot alittuvat. Mittausten perusteella ko. ilmaäänieristävyys voidaan saavuttaa jo varsin kevyellä seinärakenteella.

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttua alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita melulle altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja itäosissa.



Oili Tikka  
Johtaja, Mittauspalvelut  
Pöyry Finland Oy, Energia



Carlo Di Napoli  
Johtava asiantuntija, teollisuusmelu  
Pöyry Finland Oy, Energia

**VIITTEET**

- /1/ Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- /2/ Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita YM OH 4/2012. Helsinki 2012.
- /3/ Oerlemans, S. Schepers, J.G. “Prediction of wind turbine noise directivity and swish”, *Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise*, Aalborg, Denmark, (2009)
- /4/ Nelson, D.A. Perceived loudness of wind turbine noise in the presence of ambient sound
- /5/ G.P. van den Berg. The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- /6/ Statutory order of noise from wind turbines. Danish ministry of environment. Denmark, 2012.
- /7/ Ympäristöhallinnon ohjeita OH 3/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- /8/ Ympäristöhallinnon ohjeita OH 4/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- /9/ Yli-Kätkä, V-M. Tuulivoimalamelun mittaus ja mallinnus. Diplomityö. Aalto Yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Espoo 2013.  
([https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12005/master\\_Yli-K%C3%A4tk%C3%A4\\_Veli-Matti\\_2013.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/12005/master_Yli-K%C3%A4tk%C3%A4_Veli-Matti_2013.pdf?sequence=1))

Liite 1. Melumallinnuskartta, 43 x Vestas V126, 3,3 MW

