



ETHA WIND



## MELUSELVITYS

Takakangas-Pihlajaharjun Tuulivoimapuisto

02.08.2023

## SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO .....	3
2	TAUSTA.....	4
3	MELU.....	5
3.1	Yleistä .....	5
3.2	Melun muodostuminen .....	5
4	MELUN OHJEARVOT .....	7
4.1	Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista .....	7
4.2	Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat .....	7
5	LÄHTÖTIEDOT JA MENETELMÄT .....	8
5.1	Lähtötiedot.....	8
5.2	Menetelmät.....	9
6	ARVIOIDUT MELUVAIKUTUKSET .....	12
6.1	Nykytilanne .....	12
6.2	Rakentamisen aikaiset vaikutukset .....	12
6.3	Toiminnan aikaiset vaikutukset.....	12
6.4	Pienitaajuinen melu .....	14
6.5	Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset.....	14
6.6	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät .....	14
7	HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA.....	15
8	LÄHTEET .....	16
9	MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJU .....	17
	Liite 1: Melumallinnuksen tulokset .....	19
	Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta, Takakangas-Pihlajaharju (painottamattomat melutasot) .....	20
	Liite 3: Sijoitussuunnitelmat.....	23

## VERSIOHISTORIA

Versio	Tekijä, Päivämäärä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Arina Makarova, 2022-05-25	Christian Granlund, 2022-06-01	Christian Granlund, 2022-06-01	Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston meluselvitys.
Rev 1	Arina Makarova, 2022-09-13	Jukka Rönnlund, 2022-09-13	Jukka Rönnlund, 2022-09-13	Mallinnuskartat päivitetty.
Ver 2	Arina Makarova, 2023-07-12	Christian Granlund, 2023-08-02	Christian Granlund, 2023-08-02	Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston meluselvitys; päivitetty sijoitussuunnitelma, 12 voimalaa.

# 1 YHTEENVETO

## **Tehtävä:**

Meluselvitys Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston vaikutusalueella.

## **Työmenetelmät:**

Meluselvitykseen on kerätty tietoa tuulivoimaloiden melun ominaispiirteistä, melun ohjearvoista, paikallisista olosuhteista sekä mallinnusmenetelmistä. Pääasiallisena laskentatyökaluna on käytetty WindPRO Ver3.6 ohjelmiston DECIBEL-moduulia sekä ISO 9613-2 standardin mukaisia oletuksia ja lähtöarvoja. Mallinnus ja raportointi on tehty noudattaen ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita (Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014). Matalataajuisen melun mallintaminen on myös tehty noudattaen Ympäristöministeriön ohjeita. Vaikutusten arvioinnissa käytetyt laskentaparametrit on taulukoitu tässä raportissa. Tuloksia on vertailtu valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin (Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015).

Pienitaajuinen melu on laskettu ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita noudattaen. Rakennusten äänieristys on laskettu DSO 1284 menetelmän mukaisesti, käyttäen R-ohjelmistoa laskentatyökaluna, ja tuloksia on vertailtu asumisterveysasetuksessa oleviin sisämelun ohjearvoihin. Lisäksi pienitaajuisen melun laskennassa on käytetty Turun Ammattikorkeakoulun tutkimuksessa (ANOJANSSI-projekti, 2020) ehdotettuja vaihtoehtoisia eristyskertoimia.

## **Tulokset:**

Melumallinnusten perusteella valtioneuvoston asetuksen ohjearvoja asunnoille ja vapaa-ajan asunnoille ei ylitetä. Myöskään STM:n antamia sisätilojen pienitaajuisen melun ohjearvoja ei ylitetä.

## 2 TAUSTA

Meluselvitys on tehty Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuistolle Parkanon kunnan alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä 12 tuulivoimalasta. Melumallinnuksessa on käytetty N175 6,8 MW-voimalan lähtötietoja. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 207,5 metriä ja äänitehotaso 108,9 dB(A) + 2,0 dB(A) epävarmuusmarginaali. Mallinnuksessa käytettiin Nordexin toukokuussa 2023 päivittämiä äänitietoja.

Meluselvitys on tehty ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014 Tuulivoimaloiden melun mallintaminen) WindPRO Ver3.6 ohjelmiston melulaskentatyökalulla. Pienitaajuinen melu on laskettu käyttäen R-ohjelmistoa ja työ on tehty ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita noudattaen.

## 3 MELU

### 3.1 YLEISTÄ

Ääni on aaltoliikettä, joka kulkee väliainetta, esimerkiksi ilmaa, pitkin äänilähteestä äänen havainnointipisteeseen. Äänelle on ominaista voimakkuuden, taajuuden ja jaksollisuuden vaihtelut. On syytä huomioida, että tässä yhteydessä paljon käytetty A-painotettu äänenvoimakkuuden arvo (dBA) on eri, kun absoluuttinen äänenvoimakkuus (dB). Absoluuttinen äänen voimakkuus sisältää kaikkien taajuuksien äänenvoimakkuuden summan, kun A-painotetussa arvossa painotetaan ihmiskorvalle herkkiä taajuuksia.

Ääni luokitellaan meluksi, jos ihminen kokee sen epämiellyttävänä tai häiritsevänä. Ihmiset kokevat meluvaikutukset, kuten muutkin vaikutukset, hyvin eri tavoin. Sama ääni voidaan kokea paikasta ja henkilöstä riippuen eri tilanteissa epämiellyttäväksi meluksi, neutraaliksi ääneksi tai nautinnolliseksi ääneksi. Äänen kokemiseen vaikuttaa myös sen voimakkuus, jaksollisuus sekä taajuus.

Oleellinen vaikutus äänilähteen, kuten tuulivoimalan, meluun on taustamelulla. Taustamelu voi mm. peittää äänilähteelle tyypillisiä ominaisuuksia, kuten äänen jaksollisuutta. Yleisimpiä taustamelun aiheuttajia ovat tuulen aiheuttama suhina sekä liikenteen kohina. Tuulen nopeuden kasvaessa riittävästi, peittää sen tuottama taustamelu tuulivoimalan melun alleen.

Voimakas tai häiritsevä melu voi aiheuttaa terveyshaittoja ja vaikuttaa luonnonympäristön toimintaan. Mitä lähemmäs tuulivoimaloita mennään, sitä häiritsevämpänä melu saatetaan kokea. Siksi on tärkeää tarkastella aluetta maankäytöllisestä näkökulmasta.

### 3.2 MELUN MUODOSTUMINEN

Tuulivoimaloiden synnyttämä ääni muodostuu lapojen liikkeestä, sekä koneiston aiheuttamasta mekaanisesta äänestä., joista ensimmäinen on yleensä vaikutusten kannalta merkittävämpi. Äänen ominaisuudet vaihtelevat vallitsevien olosuhteiden sekä suunniteltavien voimaloiden teknisten ominaisuuksien mukaisesti. (Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016)

Lapojen aiheuttama aerodynaaminen melu johtuu pyörimisestä aiheutuvasta jatkuvasta huminasta sekä jaksollisesta huminasta. Kovalla tuulella äänet ovat voimakkaimmillaan etenkin, kun tuuli

puhaltaa voimalan suunnasta. Lämpötila ja ilmankosteus vaikuttavat melun voimakkuuteen. Oleellisimmat tekijät äänen voimakkuuden kannalta ovat kuitenkin etäisyys tuulivoimalasta ja lähistöllä olevien voimaloiden lukumäärä. (Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016)

Äänelle on ominaista sen vaimeneminen paikallisten olosuhteiden mukaisesti. Äänenvoimakkuus vaimenee äänilähteestä kauemmas mentäessä, sillä sen sisältämä energia vähenee. Etenemiseen vaikuttavat myös ilman ominaisuudet, kuten lämpötila sekä suhteellinen kosteus. Maaston muodoilla, kasvillisuudella ja tuulensuunnalla on oleellinen merkitys äänen vaimenemisessa. Selvittämällä vaimenemiseen vaikuttavat tekijät, pystytään äänen kulkua arvioimaan teoreettisesti.

Tuulivoimaloiden rakentamisen aikana melu johtuu mm. teiden, tuulivoimaloiden, sähköverkon sekä muun infrastruktuurin rakentamisesta sekä alueen liikenteestä. Nämä vaikutukset ovat vain lyhytaikaisia ja tilapäisiä.

Seuraavassa taulukossa on vertailuarvoja äänenvoimakkuusarvojen suhteesta.

*Taulukko 1. Vertailutaulukko absoluuttisista äänenvoimakkuuksista*

Äänenvoimakkuus	Esimerkki	Kommentti
130 dB	Kipukynnys	
100-120 dB	Rock-konsertti	
90 dB	Rekan ohiajo	
80 dB	Vilkasliikenteinen katu	
70 dB	Ajoneuvon sisämelu	
60 dB	Toimisto, jossa ilmastointi	Tyypillinen äänitaso suoraan tuulivoimalan alla
50 dB	Vaimea keskustelu	
40 dB	Taustamelu kotona	
30 dB	Kuiskaus (1m)	

## 4 MELUN OHJEARVOT

### 4.1 VALTIONEUVOSTON ASETUS TUULIVOIMALOIDEN ULKOMELUTASON OHJEARVOISTA

Asetuksessa säädetään toimivien tuulivoimaloiden aiheuttaman laskennallisen tai mitatun melutason ohjearvot. Melulle altistuvalla alueella melutaso ei saa ulkona ylittää seuraavassa taulukossa lueteltuja A-taajuuspainotetun keskiäänitason ohjearvoja. Asetus on tullut voimaan 1.9.2015.

*Taulukko 2. Ohjearvot valtioneuvoston asetuksessa*

	Ulkomelutaso $L_{Aeq}$ päivällä 7-22	Ulkomelutaso $L_{Aeq}$ yöllä 7-22
Pysyvä asutus	45 dB	40 dB
Loma-asutus	45 dB	40 dB
Hoitolaitokset	45 dB	40 dB
Oppilaitokset	45 dB	-
Virkistysalueet	45 dB	-
Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

### 4.2 ASUMISTERVEYSASETUKSEN TOIMENPIDERAJAT

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus vuodelta 2015 sisältää toimenpideraja-arvot yöaikaiselle matalataajuiselle sisämelulle. Raja-arvot on esitetty alla olevassa taulukossa, joka on annettu yhden tunnin matalataajuisen melun tasolle (raja-arvot eivät ole A-painotettuja).

*Taulukko 3. Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat yöaikaiselle pienitaajuiselle sisämelulle*

Kaista / Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$L_{eq, 1h}$ / dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

Asuinhuoneistojen oleskeluun ja lepoon käytettävien huoneiden toimenpiderajoiksi on annettu päiväajan (klo 07–22) keskiäänitasolle  $L_{Aeq}$  35 dB ja yöajan (klo 22–07) keskiäänitasolle  $L_{Aeq}$  30 dB. Taustamelusta selvästi erottuvalle melulle, joka voi aiheuttaa esimerkiksi unihäiriötä, on toimenpiderajana nukkumiseen käytettävissä tiloissa yöaikaan (klo 22–07) yhden tunnin keskiäänitaso  $L_{Aeq, 1h}$  25 dB. Lisäksi on huomioitava melun erityisominaisuudet eli mahdolliset



kapeakaistaisuus- ja impulssimaisuuskorjaukset. Asetus sisältää toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle, jotka on annettu taajuuspainottamattomina tunnin keskiäänitasoina  $L_{eq, 1h}$ .

Sisämelun kokonaisäänitason mallintamiseksi ei ole annettu ohjeita eikä alalla ole yleisesti käytössä olevaa laskentamenetelmää. Asetuksen mukaisilla ulkomelun ohjearvoilla (40 dB(A)) pyritään kuitenkin varmistamaan myös sisämelun toimenpiderajojen alittuminen. Alalla sovelletun DSO 1284 -laskentamenetelmän mukaan rakennusten äänieristys taajuuksilla 80–200 Hz on noin 20 dB. Äänieristys vaimentaa korkeampia taajuuksia tyypillisesti tehokkaammin, jolloin taajuuksilla 200–500 Hz äänieristykseen voidaan odottaa olevan enemmän kuin 20 dB. Tuulivoimamelu 1–3 kilometrin etäisyydellä äänilähteestä koostuu lähinnä 200–500 Hz:n taajuuksista. Näin ollen on hyvin todennäköistä, että tuulivoimamelun ollessa ulkona 40 dB(A), rakennuksen sisämelu on noin 20 dB(A) tai alle.

Lisäksi ympäristöministeriön ohjeessa uudisrakennusten ääniympäristöstä (Ympäristöministeriö, 2018) on mainittu, että asuinhuoneen ulkovaipan äänieristys tulee olla aina vähintään 30 dB. Tämä tarkoittaa, että jos melutaso ulkona on 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy selvästi toimenpiderajan alapuolella.

## 5 LÄHTÖTIEDOT JA MENETELMÄT

### 5.1 LÄHTÖTIEDOT

Tuulivoimaloiden aiheuttamat meluvaikutukset on mallinnettu soveltaen ISO 9613-2 standardia. Lähtötietoina on käytetty alla olevissa taulukoissa olevia arvoja.

Mallinnuksessa on käytetty tuulivoimalavalmistajan ilmoittamia melupäästön takuuarvoja. Äänitehotasot on ilmoitettu 1/3 oktaavikaistoittain. Turbiinivalmistajien äänitiedot sisältävät epävarmuusmarginaalin. Nordexin käyttämä epävarmuusmarginaali ei ole suoraan verrattavissa IEC TS 61400-14-standardiin, johon ympäristöministeriön ohjeet viittaavat. Tästä johtuen lähtömelutasoon on mallinnuksessa lisätty 2,0 dB:n epävarmuusmarginaali. Lisätyllä marginaalilla varmistetaan, että mallinnustulokset ovat riittävän konservatiiviset suhteessa ympäristöministeriön ohjeisiin ja lopulliseen voimalatyyppiin.

Mallinnuksessa käytetty voimalatyyppi on mainittu alla.

*Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot.*

Hankealue	Voimat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (Lwa)	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Takakangas-Pihlajaharju	N175 6,8 MW	207,5	108,9+2,0	Käytössä

*Taulukko 5. Melumallinnuksessa käytettyjä arvoja (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014).*

Lähtötiedot	
Maaston vaikutus melun etenemiseen, kerroin	0,4
Vesistöjen vaikutus melun etenemiseen, kerroin	0,0
Tarkastelupisteen korkeus (metriä maanpinnan yläpuolella)	4 m
Ilman lämpötila	15 °C
Ilman suhteellinen kosteus	70 %

Alueen korkeustietona on käytetty Maanmittauslaitoksen kahden metrin korkeusmallia ja alueen maanpeitteisyys on Suomen ympäristökeskuksen OIVA-tietokannasta. Maaston vaimentava vaikutus on huomioitu ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisella kertoimella 0,4. Rakennustiedot perustuvat Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan.

Laskennassa on otettu lähtökohdaksi voimalan tuottama äänenvoimakkuus ja tämän pohjalta on mallinnettu äänen vaimeneminen (geometrinen vaimeneminen sekä ilmakehän vaimentava vaikutus) koko tuulivoimapuiston alueella. Mallinnuksessa on oletettu, että kaikki asunnot ovat tuulen alapuolella kaikkiin voimaloihin nähden ja tuulennopeus 10 metrin korkeudella maan pinnasta on 8 m/s. Alueelta valittiin 12 havainnointipistettä, joiden kohdalta voimaloiden aiheuttamat äänenvoimakkuudet ilmoitetaan.

## 5.2 MENETELMÄT

Melumallinnus on suoritettu WindPRO ohjelmiston DECIBEL-moduulia käyttäen. WindPRO on tanskalaisen EMD International A/S:n kehittämä tuulivoiman mallinnusohjelmisto. Ohjelmistolla mallinnetaan ja visualisoidaan äänen eteneminen ja vaimeneminen, mutta sitä käytetään myös muiden vaikutusten mallintamiseen sekä tuuliresurssien laskemiseen.

Mallinnusta tehtäessä ohjelmistoon syötetään ympäristöministeriön (2/2014) ohjeistamat parametrit sekä ISO 9613-2 standardin mukaiset lähtötiedot. Mallinnuksessa lasketaan melun leviäminen vaikutusalueella sekä hankkeesta aiheutuvat melutasot tarkastelluissa pisteissä.

Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti melupäästöarvoon lisätään 2 dB, jos asunnon ja voimalan perustusten välinen korkeusero ylittää 60 metriä. Korjaus tehdään, kun etäisyys voimalan ja asunnon välillä on enintään kolme kilometriä. Tässä melumallinnuksessa korkeuserot eivät ylity valituissa havainnointipisteissä eikä korjauksia ole tehty. Jos ääni on erityisen häiritsevää eli kapeakaistaista tai impulssimaista, lisätään laskenta- tai mittaustuloksiin 5 dB ennen asetuksen ohjearvoon vertaamista. Tässä mallinnuksessa laskentatuloksiin ei ole tarvetta lisätä sanktiota, koska lähtötiedoissa ei äänen erityispiirteitä havaittu.

Ympäristöministeriön ohjeessa (2/2014) mainitaan äänivaikutuksiin liittyvä ilmö, Amplitudimodulaatio (EAM, excessive amplitude modulation). Esiintyessään ilmiö aiheuttaa sen, että äänen voimakkuuden merkittävät jaksottaiset vaihtelut lisäävät melun häiritsevyyttä. Amplitudimodulaatio on paikallisista olosuhteista ja voimalatyyppistä riippuva ilmiö. Ilmiötä ei pysty mallintamaan etukäteen, vaan se pystytään varmistamaan ainoastaan käytönaikaisilla melumittauksilla. Amplitudimodulaatiota ei mainita valtioneuvoston asetuksessa tuulivoimaloiden ulkomelutasoa koskien, eikä ilmiön todentamiseksi ole olemassa vakioitua menetelmää. Aiheesta on tehty kansainvälisiä tutkimuksia (esim. Bertagnolio, 2014), joiden mukaan havaittu amplitudimodulaatio on mahdollista hallita teknisesti.

Pienitaajuinen melulaskenta on tehty ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti, asuntojen ja vapaa-ajan asuntojen ulkopuolelta käyttäen annettua laskentakaavaa.

$$L_P = L_W - 20dB \cdot \log_{10}(d_1/1m) - 11dB + A_{gr} - A_{atm} \cdot d_2$$

missä

$L_P$  on äänen 1/3-oktaavitaso altistuvassa kohteessa [dB]

$L_W$  on tuulivoimalan 1/3-oktaavikaistan äänitehotaso [dB]

$d_1$  on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [m]

$A_{gr}$  on heijastavan pinnan tuottama korjaus [dB]

$A_{atm}$  on ilmakehän tuottama vaimennus lämpötilassa 15 C° ja 70 % suhteellisessa kosteudessa [dB/km]

$d_2$  on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [km]

(Ympäristöministeriö 2014).

Sisätilojen melutasot on laskettu niin ikään ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti. Rakennusten äänieristys on laskettu DSO 1284 menetelmän mukaisesti, ja tuloksia on vertailtu asumisterveysasetuksessa oleviin sisämelun toimenpiderajoihin. Lisäksi pienitaajuisen melun laskennassa on käytetty Turun Ammattikorkeakoulun tutkimuksessa (ANOJANSSI-projekti, 2020) ehdotettuja vaihtoehtoisia eristyskertoimia. Äänieristys,  $DL\sigma$ , on esitetty taulukossa 6.

*Taulukko 6. Äänieristyskertoimet.*

f/ Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$DL\sigma$ (DSO 1284)	6.6	8.4	10.8	11.4	13	16.6	19.7	21.2	20.2	21.2	21.2
$DL\sigma$ (Anojanssi-projekti)	7.6	8.3	9.2	10.3	11.5	13	14.8	16.8	18.8	21.1	22.8

## 6 ARVIOIDUT MELUVAIKUTUKSET

### 6.1 NYKYTILANNE

Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston alue on pääasiassa metsätalousaluetta ja sen äänimaisema on tällaiselle alueelle tyyppillistä.

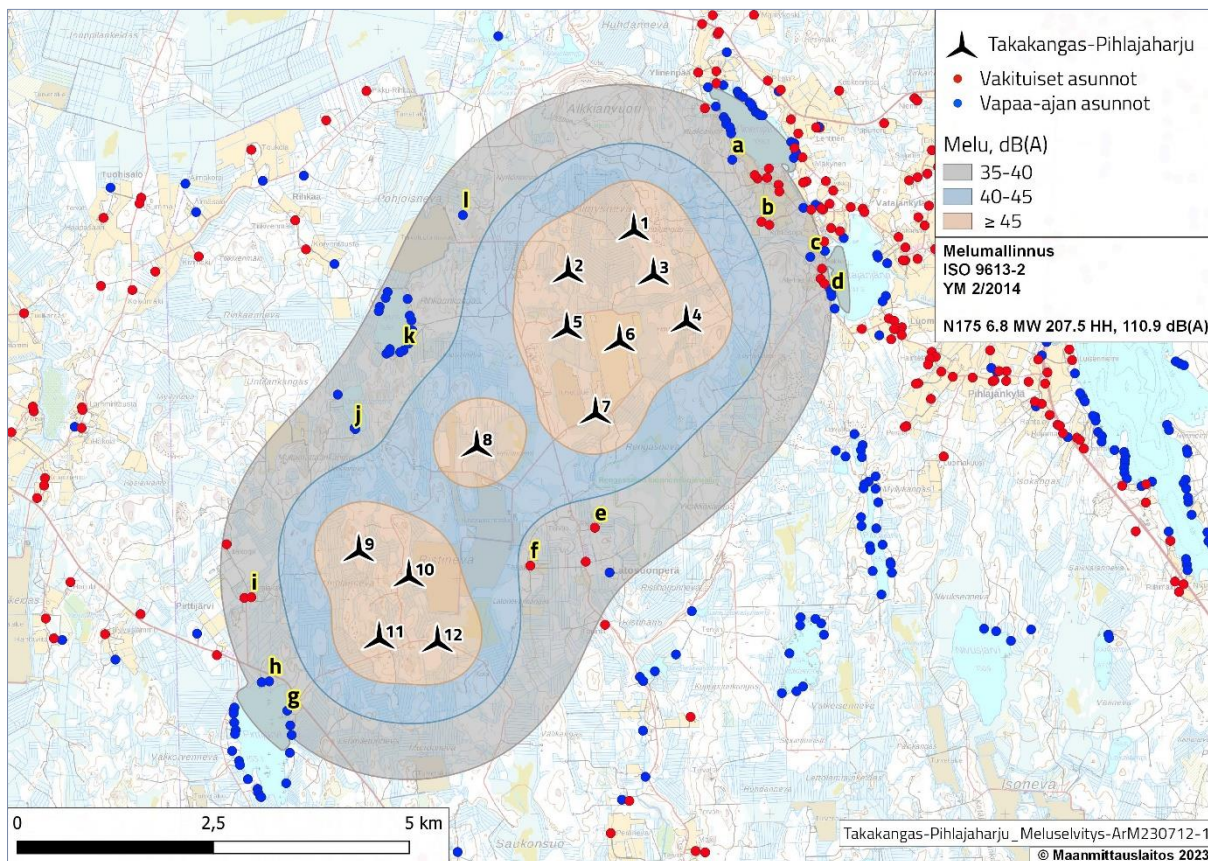
### 6.2 RAKENTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

Tuulivoimapuiston rakentamisen aikana melua aiheutuu mm. maansiirtokoneista, nostureista, ajoneuvoliikenteestä sekä rakentamisesta. Rakennustyömaan melu on hyvin impulssimaista ja paikallista ja ajoittuu pääasiallisesti päiväaikaan. Tämän vuoksi meluvaikutukset eivät kasva merkittäviksi. Tiestön ja perustusten rakentaminen tuottaa eniten melua ja lisääntyvä liikenne saattaa nostaa valtatie melutasoa hieman.

Rakentaminen kestää vain lyhyen ajan suhteessa tuulivoimaloiden elinkaareen, joten meluvaikutuksetkin voidaan katsoa lyhytkestoisiksi.

### 6.3 TOIMINNAN AIKAISET VAIKUTUKSET

Melumallinnuksessa Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimaloille käytettiin N175 6.8 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 108,9 + 2,0 dB(A) ja napakorkeus 207,5 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 12 voimalan sijoitus suunnitelmaa. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 3.



Kuva 1. Takakangas-Pihlajajarjun tuulivoimapuiston melumallinnus, N175 6.8 MW 110,9 dB(A). Kuvassa 12 havainnointipistettä on merkitty kirjaimilla.

Melumallinnuksien mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dB(A). Alueen läheisyydestä on valittu 12 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 40 dB(A) eli alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkeimmat äänitasot lähialueella sijaitsevien havainnointipisteiden kohdalla ovat 38,6 dB (A) ja 39,3 dB(A) (vakituinen asunto b/vapaa-ajan asunto j ja vakituinen asunto f).

Tuulivoimapuiston alueella, voimaloiden välittömässä läheisyydessä, äänitaso on yli 45 dB(A), joten melulla saattaa olla vaikutuksia esimerkiksi alueen virkistyskäyttöön.

## 6.4 PIENITAAJUINEN MELU

Pienitaajuinen melu on laskettu ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti.

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat selvästi lähimmissä asunnoissa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla sisätilojen toimenpiderajat alittuvat. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoissa toimenpiderajat alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Laskennan tulokset löytyvät liitteistä 2.

Rakennusten äänieristys on laskettu DSO 1284 menetelmän mukaisesti, käyttäen R-ohjelmistoa laskentatyökaluna, ja tuloksia on vertailtu asumisterveysasetuksessa oleviin sisämelun ohjearvoihin. Lisäksi pienitaajuisen melun laskennassa on käytetty Turun Ammattikorkeakoulun tutkimuksessa (ANOJANSSI-projekti, 2020) ehdotettuja vaihtoehtoisia eristyskertoimia.

Laskennassa on käytetty laskentastandardissa todettuja äänieristysominaisuuksia, joten todellinen pienitaajuinen melu voi poiketa lasketusta arvosta (laskentamenetelmässä käytetään ainoastaan talojen keskimääräistä äänieristystä). Lasketut arvot eivät kuitenkaan ole lähellä asumisterveysasetuksen toimenpideraja-arvoja, joten arvion mukaan marginaalit ovat riittävät, eivätkä raja-arvot ylity.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimaloiden pienitaajuisen melun vaikutukset ovat melko vähäiset.

## 6.5 KÄYTÖN LOPETTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

Käytön lopettamisen aikaiset meluvaikutukset ovat samankaltaiset rakennusvaiheen vaikutusten kanssa. Ajallisesti meluvaikutukset ovat tuolloin lyhytkestoiset ja ne johtuvat työmaakoneiden äänistä ja liikenteestä.

Käytön lopettamisen jälkeen alueen äänimaisema palaa samaan tilaan, kuin ennen tuulivoimapuiston rakentamista.

## 6.6 VAIKUTUSTEN ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Melumallinnuksessa on käytetty ympäristöministeriön ohjeistuksen ja siellä mainittujen standardien mukaisia menetelmiä ja tulokset on raportoitu ohjeistuksen mukaisesti.

Mallinnusmenetelmiin sisältyy aina pieni epävarmuus, jota on pienennetty mm. asiantuntijoiden yhteisesti päättämällä mallinnuksen lähtötiedoilla, jotka ympäristöministeriö on julkaissut.

## 7 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA

Rakennusaikana meluhaittoja voidaan vähentää käyttämällä vähemmän melua aiheuttavia työkoneita ja ajoittamalla työt vähemmän häiritsevään aikaan vuorokaudesta.

Tuulivoimaloiden meluvaikutuksia voidaan säädellä vaikuttamalla äänilähteiden toimintaan. Konehuoneesta lähtevää ääntä voidaan vaimentaa lisäämällä konehuoneeseen eristeitä tai korjaamalla/muuttamalla tekniikkaa. Merkittävämpi vaimennus saadaan aikaan kuitenkin roottorin toimintaan vaikuttamalla.

Yksinkertaisesti voimalan ääntä saadaan vaimennettua hidastamalla roottorin pyörimistä tai säätämällä lapojen pyörimiskulmaa, mutta molemmilla tavoilla myös voimalan tuotanto pienenee. Säätämällä lähellä toisiaan pyörivien voimaloiden toimintaa, voidaan melua pienentää esimerkiksi muuttamalla lapojen kohtauskulmaa. Myös voimaloiden toimintaa voidaan tarvittaessa rajoittaa siten, että ohjearvot eivät ylity herkällä alueella, joskaan tälle ei meluselvityksen tulosten mukaan ole tarvetta.

Melumallinnusten perusteella valtioneuvoston asetuksen ohjearvoja sekä STM:n antamia sisätilojen pienitaajuisen melun ohjearvoja ei ylitetä. Mikäli ohjearvoja kuitenkin ylitetään, voidaan tätä ehkäistä muuttamalla tuulivoimaloiden ajotapaa tai jopa pysäyttämällä haittaa aiheuttavat voimalat.



## 8 LÄHTEET

Bertagnolio, F. et.al. (2014). Cyclic pitch for the control of wind turbine noise amplitude modulation. Viitattu 14.1.2014. Saatavilla:

[http://www.acoustics.asn.au/conference\\_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p551.pdf](http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/p551.pdf).

Etha Wind (2022). 01\_Noise\_Checklist\_ArM220707-1. Internal work description.

Hongisto V., Radun J., Rajala V., et al. (2020) Anojanssi - Projektin Tulokset: Ympäristömelun Häiritsevyys. Turun ammattikorkeakoulu. Saatavilla:

<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522167606.pdf>

Maanmittauslaitos (2023). Maanmittauslaitoksen avoimen tietoaistoston CC 4.0 -lisenssi.

<http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>

Nordex (2023). Third octave sound power levels: Nordex N175/6.X. Doc. no. F008\_278\_A17\_EN

Sosiaali- ja Terveysministeriö (2015). Asumisterveysasetus. Helsinki. Saatavilla:

<http://www.stm.fi/tiedotteet/tiedote/-/view/1907834>

Valtioneuvosto (2015). Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.

Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>

Ympäristöministeriö (2014). Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Helsinki. Saatavilla:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH\\_2\\_2014.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH_2_2014.pdf?sequence=1)

Ympäristöministeriö (2016). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Saatavilla:

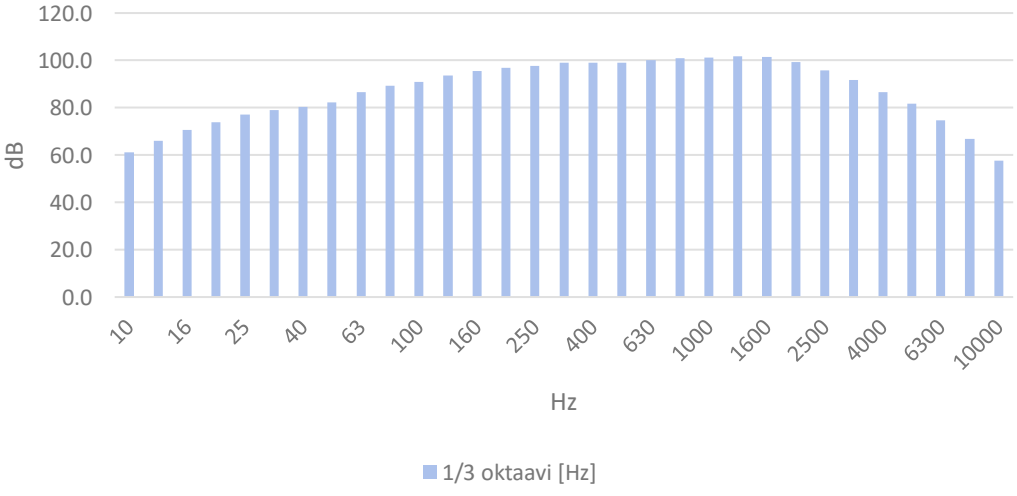
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79057>

Ympäristöministeriö (2018). Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Saatavilla:

[https://www.ym.fi/download/noname/%7B2852D34E-DA43-4DCA-9CEE-](https://www.ym.fi/download/noname/%7B2852D34E-DA43-4DCA-9CEE-47DBB9EFCB08%7D/138568)

[47DBB9EFCB08%7D/138568](https://www.ym.fi/download/noname/%7B2852D34E-DA43-4DCA-9CEE-47DBB9EFCB08%7D/138568)

## 9 MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJU

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT		*tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä	
Mallinnusraportti numero/tunniste: ArM230712-1		Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>2.8.2023</b>	
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Etha Wind Oy, Vaasanpuistikko 14 B11, 65100 VAASA, puh. +358 2900 20440</b>			
Vastuuhenkilöt: <b>Arina Makarova</b>			
Laatija: <b>Arina Makarova</b>		Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Christian Granlund</b>	
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT			
Mallinnusohjelma ja versio: <b>WindPRO Ver3.6</b>		Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)			
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Nordex</b>		Tyyppi: <b>N175/6.X MW</b>	Sarjanumero/t:
Nimellisteho: <b>6,8 MW</b>	Napakorkeus: <b>207,5 m</b>	Roottorin halkaisija: <b>175 m</b>	Tornin tyyppi: <b>Putkitorni</b>
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun			
Lapakulman säätö	Pyörimisnopeus	Muu, mikä	
<b>Kyllä</b> dB	<b>Kyllä</b> dB	dB	
<b>Ei tiedossa</b>	<b>Ei tiedossa</b>	dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT			
Melupäästötiedot			
N175 6.8 MW m 207,5 HH (Tuulivoimalavalmistajan ilmoittama takuuarvo: 108,9 dB(A) +2 dB(A))			
<p>Nordex N175, 207,5m HH, 110,9 dB(A)</p>  <p>Legend: ■ 1/3 oktaavi [Hz]</p>			

Kapeakaistaisuus / Tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitu- dimodulaatio)		Muu, Mikä:	
<b>kyllä</b>	<b>ei</b>	<b>kyllä</b>	<b>ei</b>	<b>kyllä</b>	<b>Ei</b>	<b>kyllä</b>	<b>ei</b>
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Laskenta korkeus						Laskentaruudun koko [m-m]	
<b>4 m</b>	Muu, mikä ja miksi:					<b>20 m * 20 m</b>	
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
<b>70 %</b>	Muu, mikä ja miksi:			<b>15 C°</b>	Muu, mikä ja miksi:		
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0.3 m</b>	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomiointi, käytetyt kertoimet							
<b>ISO 9613-2</b>							
Vesialueet, (0) / (G)				<b>0</b>			
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)				<b>0,4</b>			
Maa-alueet, (0) / (G)							
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus							
Neutraali, (0): <b>kyllä</b>				Muu, mikä ja miksi:			
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen							
<b>Vapaa avaruus</b>				Muu, mikä, miksi:			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)							
Asukkaat: <b>0</b> kpl		Vapaa-ajan rakennukset: <b>0</b> kpl			Hoito- ja oppilaitokset: <b>0</b> kpl		
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)							
Asukkaat: <b>0</b> kpl		Vapaa-ajan rakennukset: <b>0</b> kpl			Hoito- ja oppilaitokset: <b>0</b> kpl		
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille							
Virkistysalueet: <b>0</b> kpl				Luonnonsuojelualueet: <b>0</b> kpl			

## LIITE 1: MELUMALLINNUKSEN TULOKSET

*Taulukko 7. Takakangas-Pihlajaharjun mallinnuksen meluarvot valituissa kohteissa.*

Havainnoin tipiste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS-TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS-TM35FIN)	Ohjearvo [dB(A)]	Melu [dB(A)]	Ohjearvojen ylitys
a	Vapaa-ajan asunto	286516	6898343	40	37,4	Ei
b	Vakituinen asunto	286889	6897552	40	38,6	Ei
c	Vapaa-ajan asunto	287511	6897104	40	36,0	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	287781	6896606	40	35,0	Ei
e	Vakituinen asunto	284763	6893654	40	38,1	Ei
f	Vakituinen asunto	283939	6893170	40	39,3	Ei
g	Vapaa-ajan asunto	280840	6891323	40	36,3	Ei
h	Vapaa-ajan asunto	280609	6891695	40	36,4	Ei
i	Vakituinen asunto	280381	6892767	40	37,2	Ei
j	Vapaa-ajan asunto	281707	6894911	40	38,6	Ei
k	Vapaa-ajan asunto	282322	6895912	40	37,6	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	283079	6897637	40	37,6	Ei

## LIITE 2: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA, TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJU (PAINOTTAMATTOMAT MELUTASOT)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoilla toimenpiderajat alittuvat, koska pientaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-aajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat.

*Taulukko 8. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.*

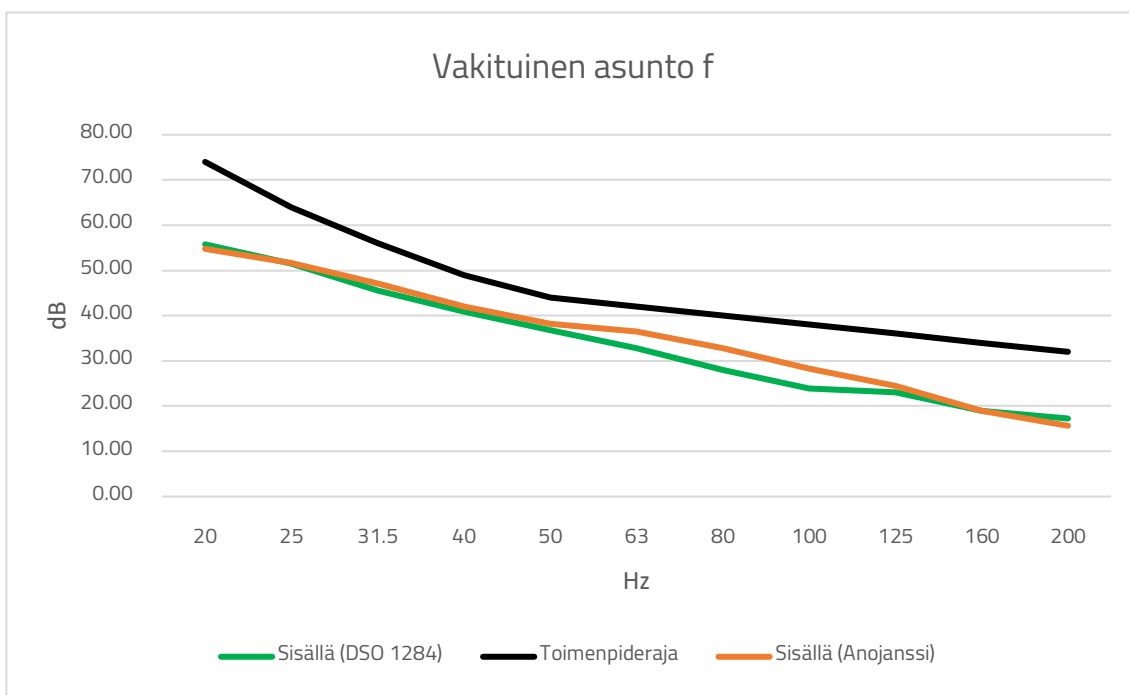
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
20	60.8	61.6	60.0	59.3	61.7	62.4	59.7	59.9	60.5	61.6	61.4	61.1
25	58.3	59.1	57.5	56.9	59.2	59.9	57.3	57.4	58.0	59.1	58.9	58.7
31,5	54.7	55.5	53.9	53.2	55.6	56.3	53.7	53.8	54.4	55.5	55.3	55.1
40	50.7	51.5	49.8	49.2	51.6	52.3	49.6	49.8	50.3	51.5	51.2	51.0
50	48.1	48.9	47.3	46.6	49.0	49.7	47.1	47.2	47.8	48.9	48.7	48.5
63	47.8	48.6	47.0	46.3	48.7	49.4	46.8	46.9	47.5	48.6	48.4	48.2
80	46.0	46.8	45.1	44.5	46.9	47.6	44.9	45.1	45.7	46.8	46.6	46.4
100	43.4	44.2	42.5	41.8	44.3	45.0	42.3	42.5	43.1	44.2	43.9	43.7
125	41.6	42.5	40.7	39.9	42.5	43.3	40.5	40.6	41.3	42.4	42.1	41.9
160	38.4	39.3	37.4	36.6	39.2	40.1	37.2	37.4	38.0	39.2	38.9	38.7
200	36.7	37.7	35.6	34.8	37.6	38.4	35.5	35.7	36.4	37.5	37.2	37.0

*Taulukko 9. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.*

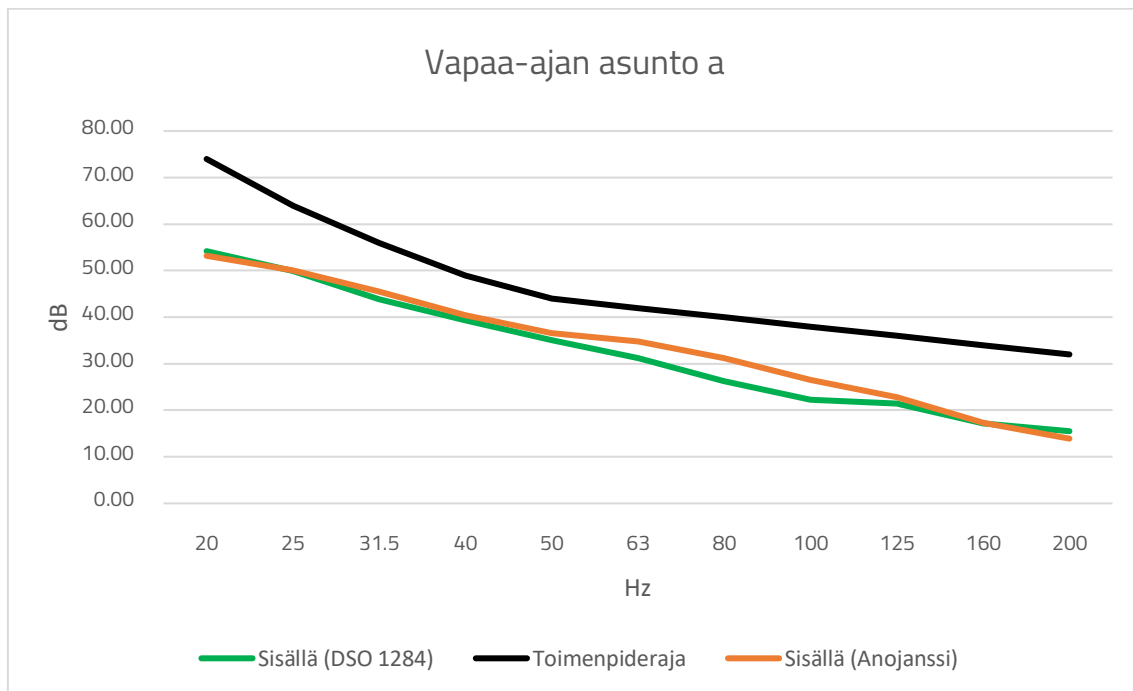
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
20	54.2	55.0	53.4	52.7	55.1	55.8	53.1	53.3	53.9	55.0	54.8	54.5
25	49.9	50.7	49.1	48.5	50.8	51.5	48.9	49.0	49.6	50.7	50.5	50.3
31,5	43.9	44.7	43.1	42.4	44.8	45.5	42.9	43.0	43.6	44.7	44.5	44.3
40	39.3	40.1	38.4	37.8	40.2	40.9	38.2	38.4	38.9	40.1	39.8	39.6
50	35.1	35.9	34.3	33.6	36.0	36.7	34.1	34.2	34.8	35.9	35.7	35.5
63	31.2	32.0	30.4	29.7	32.1	32.8	30.2	30.3	30.9	32.0	31.8	31.6
80	26.3	27.1	25.4	24.8	27.2	27.9	25.2	25.4	26.0	27.1	26.9	26.7
100	22.2	23.0	21.3	20.6	23.1	23.8	21.1	21.3	21.9	23.0	22.7	22.5
125	21.4	22.3	20.5	19.7	22.3	23.1	20.3	20.4	21.1	22.2	21.9	21.7
160	17.2	18.1	16.2	15.4	18.0	18.9	16.0	16.2	16.8	18.0	17.7	17.5
200	15.5	16.5	14.4	13.6	16.4	17.2	14.3	14.5	15.2	16.3	16.0	15.8

*Taulukko 10. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen Anojanssi-projektin mukaisia ääneneristävyyssarvoja.*

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
20	53.2	54.0	52.4	51.7	54.1	54.8	52.1	52.3	52.9	54.0	53.8	53.5
25	50.0	50.8	49.2	48.6	50.9	51.6	49.0	49.1	49.7	50.8	50.6	50.4
31,5	45.5	46.3	44.7	44.0	46.4	47.1	44.5	44.6	45.2	46.3	46.1	45.9
40	40.4	41.2	39.5	38.9	41.3	42.0	39.3	39.5	40.0	41.2	40.9	40.7
50	36.6	37.4	35.8	35.1	37.5	38.2	35.6	35.7	36.3	37.4	37.2	37.0
63	34.8	35.6	34.0	33.3	35.7	36.4	33.8	33.9	34.5	35.6	35.4	35.2
80	31.2	32.0	30.3	29.7	32.1	32.8	30.1	30.3	30.9	32.0	31.8	31.6
100	26.6	27.4	25.7	25.0	27.5	28.2	25.5	25.7	26.3	27.4	27.1	26.9
125	22.8	23.7	21.9	21.1	23.7	24.5	21.7	21.8	22.5	23.6	23.3	23.1
160	17.3	18.2	16.3	15.5	18.1	19.0	16.1	16.3	16.9	18.1	17.8	17.6
200	13.9	14.9	12.8	12.0	14.8	15.6	12.7	12.9	13.6	14.7	14.4	14.2



*Kuva 2. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveystieteiden toimenpiderajat vakituuisessa asunnossa f.*



Kuva 3. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveystieteiden toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa a.

## LIITE 3: SJOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevissa taulukoissa.

*Taulukko 11. Takakangas-Pihlajajarjun voimaloiden sijaintitiedot, 12 voimalaa*

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	285257	6897494	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
2	284419	6896955	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
3	285508	6896929	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
4	285926	6896326	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
5	284403	6896236	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
6	285075	6896079	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
7	284769	6895159	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
8	283254	6894735	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
9	281750	6893403	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
10	282389	6893079	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
11	282010	6892288	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)
12	282753	6892247	Nordex N175 6.8 MW 207.5 m HH, clean blade, 108.9+2.0 dB(A)