



ETHA WIND



MELUSELVITYS

Takakangas-Pihlajaharjun Tuulivoimapuisto, 13.9.2022

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, VE1.....	12
6.4	Toiminnan aikaiset vaikutukset, VE2.....	14
6.5	Pienitaajuinen melu	15
6.6	Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset.....	15
6.7	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät	16
7	HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA.....	16
8	LÄHTEET	17
9	MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJU	18
	Liite 1: Melumallinnuksen tulokset	20
	Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta, Takakangas-Pihlajaharju VE1 (painottamattomat melutasot).....	21

Liite 3: Pienitaajuisen melun laskenta, Takakangas-Pihlajaharju VE2 (painottamattomat melutasot).....	24
Liite 4: Sijoitussuunnitelmat.....	27

VERSIONHISTORIA

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.

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Meluselvitys Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuiston kahdelle eri hankevaihtoehdolle osana ympäristövaikutusten arviointimenettelyä.

Työmenetelmät:

Meluselvitykseen on kerätty tietoa tuulivoimaloiden melun ominaispiirteistä, melun ohjearvoista, paikallisista olosuhteista sekä mallinnusmenetelmistä. Pääasiallisena laskentatyökaluna on käytetty WindPRO Ver3.5 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 missään hankevaihtoehdossa. Myöskään STM:n antamia sisätilojen pienitaajuisen melun ohjearvoja ei ylitetä. Erot hankevaihtoehtojen meluvaikutuksissa ovat hyvin pienet.

2 TAUSTA

Meluselvitys on tehty Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimapuistolle Parkanon kunnan alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä 10-12 tuulivoimalasta. Melumallinnuksessa on käytetty N163 7.0 MW-voimalan lähtötietoja. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 218,5 metriä ja äänitehotaso 108,6 dB(A) + 1,5 dB(A) epävarmuusmarginaali. Mallinnuksessa käytettiin Nordexin joulukuussa 2021 päivittämiä äänitietoja.

Meluselvitys on tehty ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014 Tuulivoimaloiden melun mallintaminen) WindPRO Ver3.5 ohjelmiston melulaskentatyökalulla. Pienitaajuinen melu on laskettu käyttäen R-ohjelmistoa ja työ on tehty ympäristöministeriön helmikuussa 2014 julkaisemia ohjeita noudattaen.

Tässä selvityksessä on tarkistettu kaksi hankevaihtoehtoa, jotka on muodostettu ympäristövaikutusten arviointimenettelyä ja kaavamenettelyä varten:

- VE1: 12 voimalaa. Roottorihalkaisija 163 m ja napakorkeus 218.5 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.
- VE2: 10 voimalaa. Roottorihalkaisija 163 m ja napakorkeus 218.5 m. Kokonaiskorkeus on 300 m.

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 alle.

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. Oleelliset 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 äänieristuksen 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. Tämän takuuarvon tuulivoimalavalmistaja on arvioinut mittausten, roottorikoon ja tuulivoimalan toimintaperiaatteiden perusteella.

Äänitehotasot ilmoitetaan joko kokonaisäänitehotasona tai 1/3 oktaavikaistoittain riippuen valmistajasta ja käytettävästä voimalasta. Takakangas-Pihlajaharju tapauksessa 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

1.5 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	Voimalat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (Lwa)	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Takakangas-Pihlajaharju	N163 7.0 MW	218,5	108,6+1,5	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 14 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 ilmiö, Amplitudimodulaatio (EAM, excessive amplitude modulation). Esiintyessään ilmiö aiheuttaa sen, että äänenvoimakkuuden 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 tyypillistä.

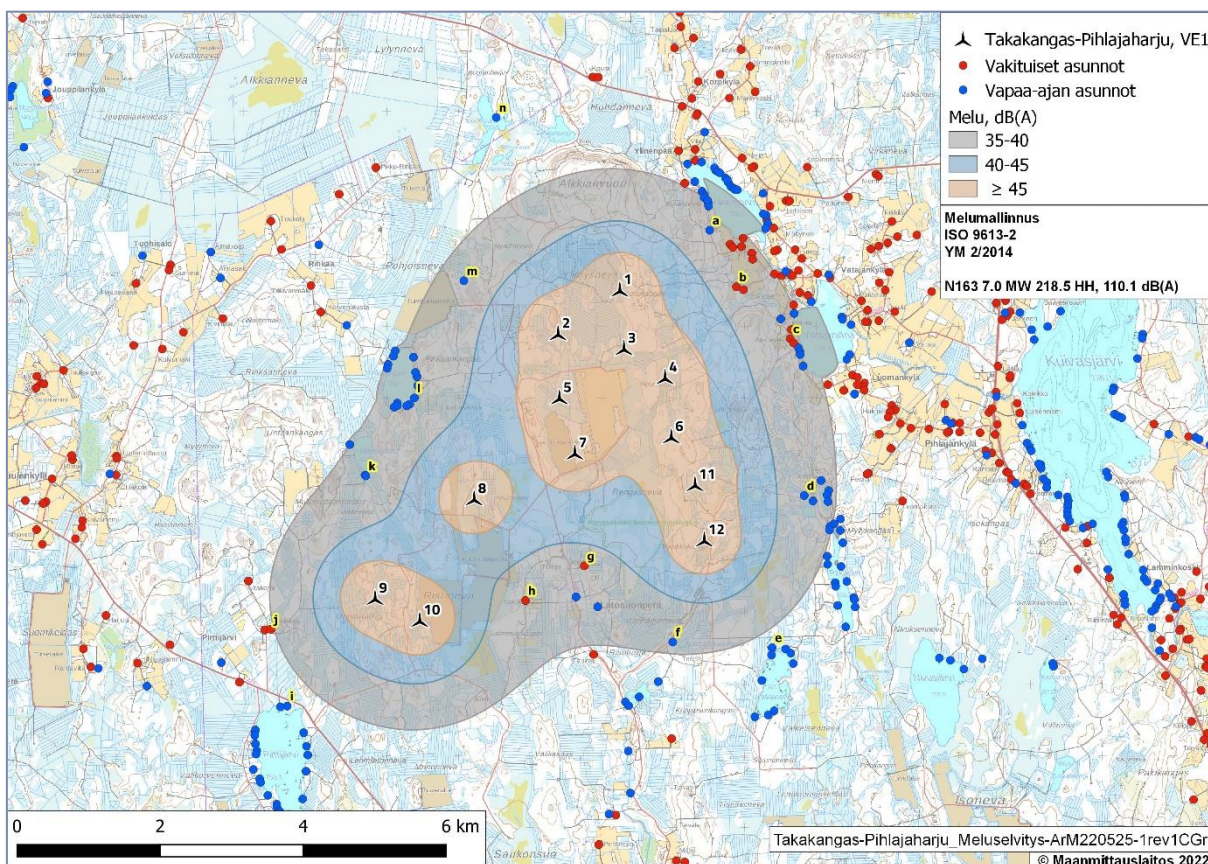
6.2 RAKENTAMISEN AIKAiset VAIKUTUKSET

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 valtatien melutasoa hieman.

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

6.3 TOIMINNAN AIKAiset VAIKUTUKSET, VE1

Melumallinnuksessa Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimaloille käytettiin N163 7.0 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 108,6 + 1,5 dB(A) ja napakorkeus 218,5 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 12 voimalan sijoitus suunnitelmaa. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 4.



Kuva 1. Takakangas-Pihlajaharjun (VE1) tuulivoimapuiston melumallinnus, N163 7.0 MW 110,1 dB(A). Kuvassa 14 havainnointipistettä on merkitty kirjaimilla.

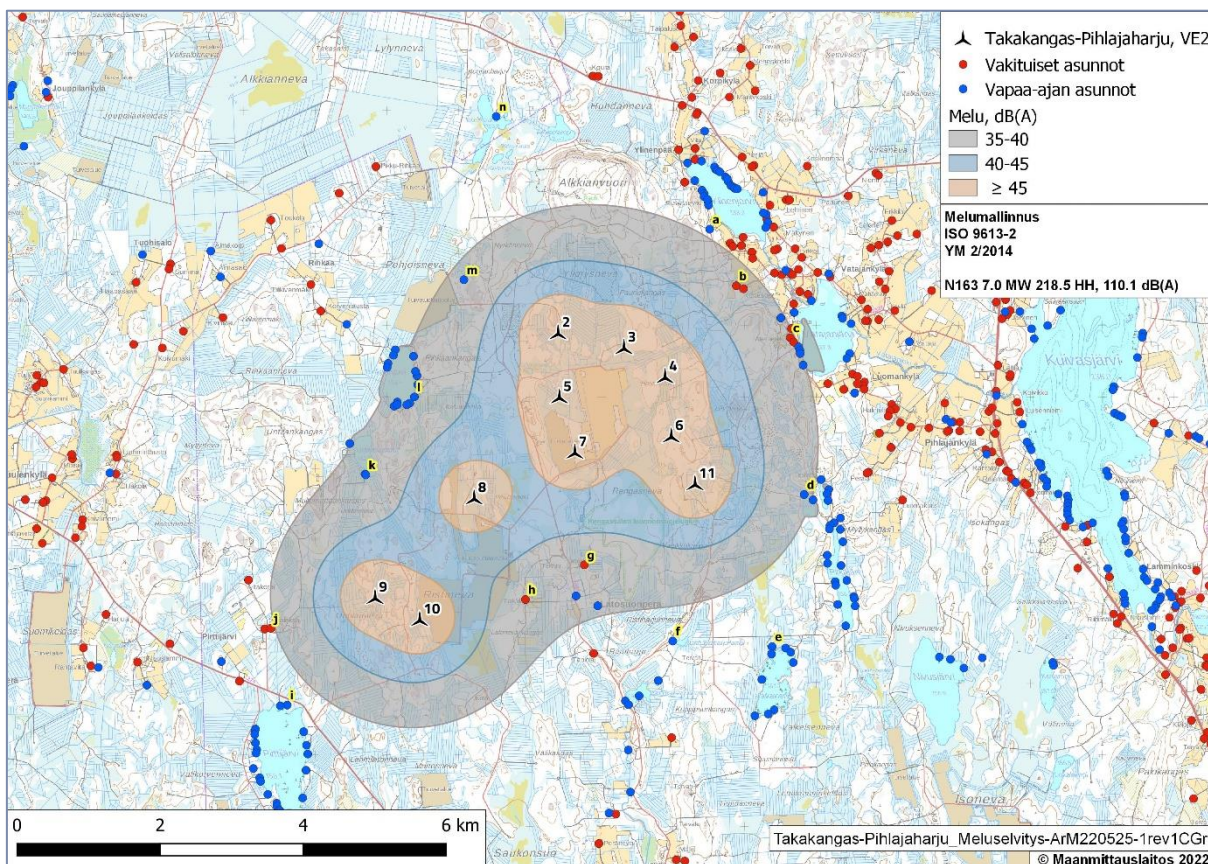
Melumallinnuksien mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dBA. Alueen läheisyydestä on valittu 14 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 39 dB(A) eli selvästi alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkeimmat äänitasot lähialueella sijaitsevien havainnointipisteiden kohdalla ovat 38,7 dB (A), 38,0 dB(A) ja 37,9 dB(A) (vakituiset asunnot g, h ja b).

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

6.4 TOIMINNAN AIKAiset VAIKUTUKSET, VE2

Melumallinnuksessa Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimaloille käytettiin N163 7.0 MW - tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 108,6 + 1,5 dB(A) ja napakorkeus 218,5 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 10 voimalan sijoitus suunnitelmaa. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 4.



Kuva 2. Takakangas-Pihlajaharjun (VE2) tuulivoimapuiston melumallinnus, N163 7.0 MW 110,1 dB(A). Kuvassa 14 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 14 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 38 dB(A), eli selvästi alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkeimmat äänitasot lähialueella sijaitsevien havainnointipisteiden kohdalla ovat 37,9 dB (A), 37,7 dB(A) ja 37,2 dB(A) (vakituiset asunnot g, h ja vapaa-ajan asunto k).

Tulosten perusteella voidaan todeta, että Takakangas-Pihlajaharjun tuulivoimaloiden meluvaikutukset ovat melko vähäiset.

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

6.5 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 ja 3.

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 keskimääristä 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 melko vähäiset.

6.6 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.

6.7 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 ylitä 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.

Etha Wind (2018) 01-Noise-CGYK141220-1-Rev5. 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 (2019). Maanmittauslaitoksen avoimen tietoaaineiston CC 4.0 -lisenssi.

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

Nordex (2021). Nordex N163/6.X. Noise level, Power curves, Thrust curves. Doc. no.

F008_277_A12_EN. Revision 03.

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

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

Suomen ympäristökeskus (2019). OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille.

http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/lapio_flex.html#

Valtioneuvosto (2015). Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.

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

Ympäristöministeriö (2014). Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Helsinki.

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH_2_2014.pdf?sequence=1

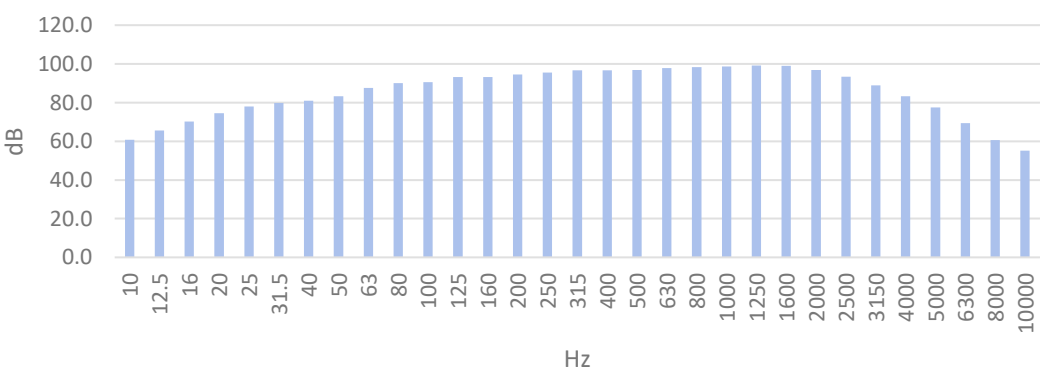
Ympäristöministeriö (2016). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016.

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

Ympäristöministeriö (2018). Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä.

<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:				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 1.6.2022			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: Etha Wind Oy, Vaasanpuistikko 14 B11, 65100 VAASA, puh. +358 2900 20440							
Vastuuhenkilöt: Arina Makarova							
Laatija: Arina Makarova				Tarkastaja/hyväksyjä: Christian Granlund			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio:				Mallinnusmenetelmä:			
WindPRO Ver3.5				ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)							
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex				Tyyppi: N163- 7.0 MW		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.0 MW		Napakorkeus: 218,5 m		Roottorin halkaisija: 163 m		Tornin tyyppi: Putkitorni	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB	dB			
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa	dB			
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Melupäästötiedot							
N163 7.0 MW m 218,5 HH (Tuulivoimalavalmistajan ilmoittama takuuarvo: 108.6 dB(A))							
Nordex N163, 218,5 m HH 108,6 dB(A)  ■ 1/3 oktaavi [Hz]							
Kapeakaistaisuus / Tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitu-dimodulaatio)		Muu, Mikä:	
Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei

AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT			
Laskenta korkeus		Laskentaruudun koko [m·m]	
4 m	Muu, mikä ja miksi:	20 m * 20 m	
Suhteellinen kosteus		Lämpötila	
70 %	Muu, mikä ja miksi:	15 C°	Muu, mikä ja miksi:
Maastomallin lähde ja tarkkuus			
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos		Vaakaresoluutio: 2 m	Pystyresoluutio: 1 m
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet			
ISO 9613-2			
Vesialueet, (0) / (G)	0		
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)	0,4		
Maa-alueet, (0) / (G)			
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus			
Neutraali, (0): kyllä		Muu, mikä ja miksi:	
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen			
Vapaa avaruus		Muu, mikä, miksi:	
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)			
Asukkaat: 0 kpl	Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl	Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl	
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)			
Asukkaat: 0 kpl	Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl	Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl	
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille			
Virkistysalueet: 0 kpl		Luonnonsuojelualueet: 0 kpl	

LIITE 1: MELUMALLINNUKSEN TULOKSET

Taulukko 7. Takakangas-Pihlajaharjun mallinnuksen meluarvot valituissa kohteissa.

Havainnointipiste	Asunnon luokka	Itäinen koord. (ETRS-TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS-TM35FIN)	Ohjearvo [dB(A)]	VE1 Melu [dB(A)]	VE2 Melu [dB(A)]	Ohjearvojen ylitys
a	Vapaa-ajan asunto	286516	6898343	40	36,7	34,4	Ei
b	Vakituinen asunto	286889	6897552	40	37,9	36,6	Ei
c	Vakituinen asunto	287642	6896827	40	36,1	35,3	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	287837	6894636	40	37,4	35,6	Ei
e	Vapaa-ajan asunto	287388	6892512	40	33,7	30,7	Ei
f	Vapaa-ajan asunto	285999	6892590	40	35,9	33,0	Ei
g	Vakituinen asunto	284763	6893654	40	38,7	37,9	Ei
h	Vakituinen asunto	283939	6893170	40	38,0	37,7	Ei
i	Vapaa-ajan asunto	280609	6891695	40	32,7	32,6	Ei
j	Vakituinen asunto	280381	6892767	40	34,7	34,6	Ei
k	Vapaa-ajan asunto	281707	6894911	40	37,3	37,2	Ei
l	Vapaa-ajan asunto	282387	6896000	40	36,9	36,6	Ei
m	Vapaa-ajan asunto	283079	6897637	40	36,9	36,2	Ei
n	Vapaa-ajan asunto	283532	6899919	40	31,3	30,0	Ei

LIITE 2: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA, TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJU VE1 (PAINOTTAMATTOMAT MELUTASOT)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoissa toimenpiderajat alittuvat, koska pientaajuisen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat. Pienitaajuisen melu on laskettu Takakangas-Pihlajaharjun vaihtoehdolle VE1, jossa on 12 tuulivoimalaa.

Taulukko 8. Pientaajuisen melu rakennuksen ulkopuolella.

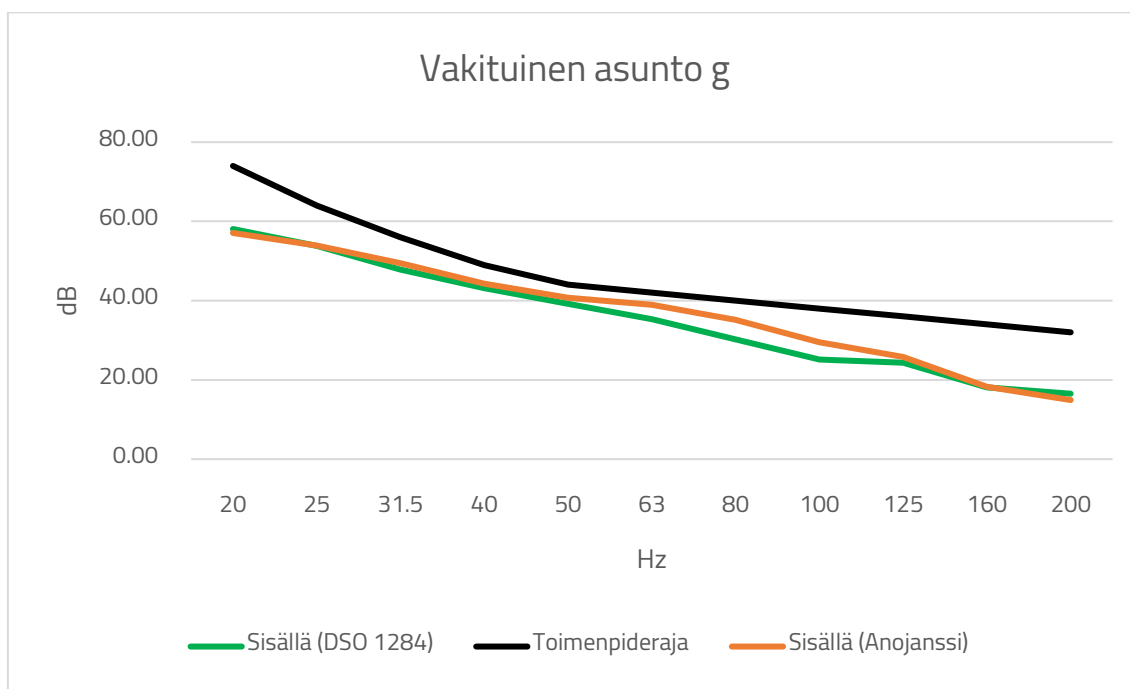
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
20	62.9	63.8	62.7	63.4	60.8	62.4	64.7	64.0	59.7	61.0	63.0	63.3	63.1	58.9
25	60.5	61.4	60.3	60.9	58.4	59.9	62.2	61.6	57.3	58.5	60.6	60.8	60.7	56.4
31,5	56.8	57.8	56.6	57.3	54.7	56.3	58.6	57.9	53.6	54.9	57.0	57.2	57.1	52.8
40	52.8	53.7	52.6	53.2	50.7	52.2	54.6	53.9	49.6	50.8	52.9	53.2	53.0	48.7
50	50.4	51.4	50.2	50.9	48.3	49.9	52.2	51.5	47.2	48.5	50.6	50.8	50.7	46.3
63	50.1	51.1	49.9	50.6	48.0	49.6	51.9	51.2	46.9	48.2	50.3	50.5	50.4	45.9
80	48.1	49.1	47.9	48.6	45.9	47.5	49.9	49.2	44.8	46.1	48.2	48.5	48.3	43.8
100	44.5	45.5	44.3	45.0	42.2	43.9	46.3	45.6	41.1	42.5	44.6	44.9	44.7	40.1
125	42.7	43.7	42.4	43.2	40.3	42.0	44.6	43.8	39.2	40.6	42.8	43.0	42.9	38.0
160	37.4	38.4	37.1	37.9	34.9	36.7	39.3	38.6	33.8	35.3	37.5	37.8	37.6	32.4
200	35.7	36.8	35.4	36.3	33.1	35.0	37.7	37.0	31.9	33.6	35.9	36.0	35.9	30.3

Taulukko 9. Pientaajuisen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

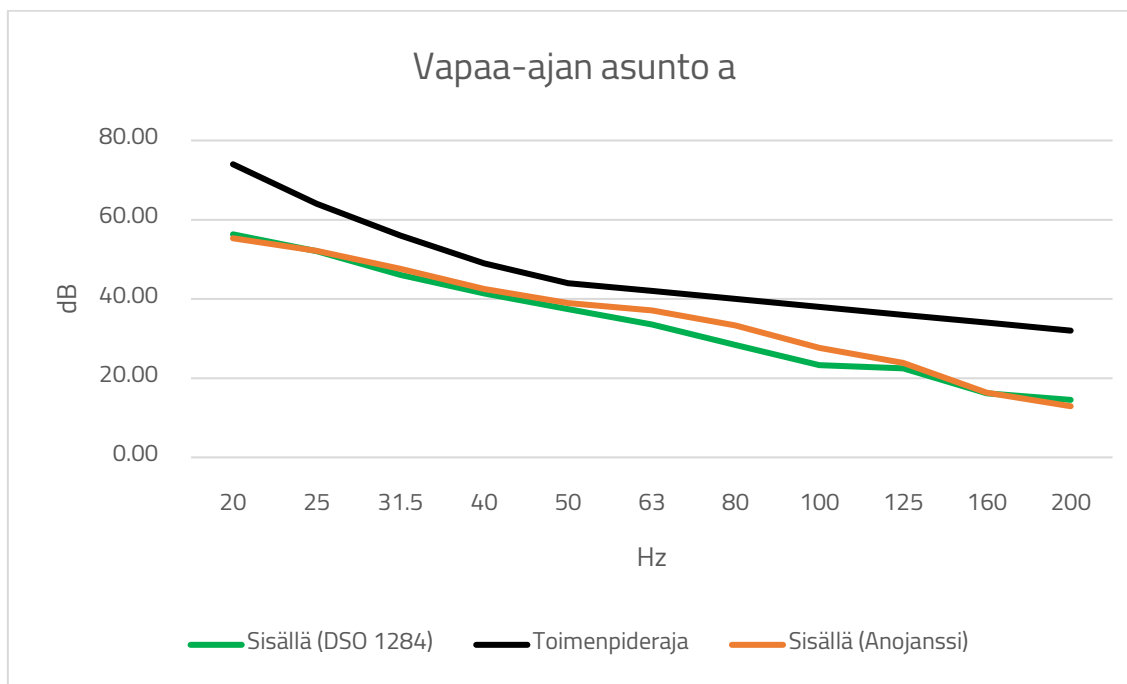
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
20	56.3	57.2	56.1	56.8	54.2	55.8	58.1	57.4	53.1	54.4	56.4	56.7	56.5	52.3
25	52.1	53.0	51.9	52.5	50.0	51.5	53.8	53.2	48.9	50.1	52.2	52.4	52.3	48.0
31,5	46.0	47.0	45.8	46.5	43.9	45.5	47.8	47.1	42.8	44.1	46.2	46.4	46.3	42.0
40	41.4	42.3	41.2	41.8	39.3	40.8	43.2	42.5	38.2	39.4	41.5	41.8	41.6	37.3
50	37.4	38.4	37.2	37.9	35.3	36.9	39.2	38.5	34.2	35.5	37.6	37.8	37.7	33.3
63	33.5	34.5	33.3	34.0	31.4	33.0	35.3	34.6	30.3	31.6	33.7	33.9	33.8	29.3
80	28.4	29.4	28.2	28.9	26.2	27.8	30.2	29.5	25.1	26.4	28.5	28.8	28.6	24.1
100	23.3	24.3	23.1	23.8	21.0	22.7	25.1	24.4	19.9	21.3	23.4	23.7	23.5	18.9
125	22.5	23.5	22.2	23.0	20.1	21.8	24.4	23.6	19.0	20.4	22.6	22.8	22.7	17.8
160	16.2	17.2	15.9	16.7	13.7	15.5	18.1	17.4	12.6	14.1	16.3	16.6	16.4	11.2
200	14.5	15.6	14.2	15.1	11.9	13.8	16.5	15.8	10.7	12.4	14.7	14.8	14.7	9.1

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	m	n
20	55.3	56.2	55.1	55.8	53.2	54.8	57.1	56.4	52.1	53.4	55.4	55.7	55.5	51.3
25	52.2	53.1	52.0	52.6	50.1	51.6	53.9	53.3	49.0	50.2	52.3	52.5	52.4	48.1
31,5	47.6	48.6	47.4	48.1	45.5	47.1	49.4	48.7	44.4	45.7	47.8	48.0	47.9	43.6
40	42.5	43.4	42.3	42.9	40.4	41.9	44.3	43.6	39.3	40.5	42.6	42.9	42.7	38.4
50	38.9	39.9	38.7	39.4	36.8	38.4	40.7	40.0	35.7	37.0	39.1	39.3	39.2	34.8
63	37.1	38.1	36.9	37.6	35.0	36.6	38.9	38.2	33.9	35.2	37.3	37.5	37.4	32.9
80	33.3	34.3	33.1	33.8	31.1	32.7	35.1	34.4	30.0	31.3	33.4	33.7	33.5	29.0
100	27.7	28.7	27.5	28.2	25.4	27.1	29.5	28.8	24.3	25.7	27.8	28.1	27.9	23.3
125	23.9	24.9	23.6	24.4	21.5	23.2	25.8	25.0	20.4	21.8	24.0	24.2	24.1	19.2
160	16.3	17.3	16.0	16.8	13.8	15.6	18.2	17.5	12.7	14.2	16.4	16.7	16.5	11.3
200	12.9	14.0	12.6	13.5	10.3	12.2	14.9	14.2	9.1	10.8	13.1	13.2	13.1	7.5



Kuva 3. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituaisessa asunnossa g.



Kuva 4. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa a.

LIITE 3: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA, TAKAKANGAS-PIHLAJAHARJU VE2 (PAINOTTAMATTOMAT MELUTASOT)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoissa toimenpiderajat alittuvat, koska pientaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat. Pienitaajuinen melu on laskettu Takakangas-Pihlajaharjun vaihtoehdolle VE2, jossa on 10 tuulivoimalaa.

Taulukko 11. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

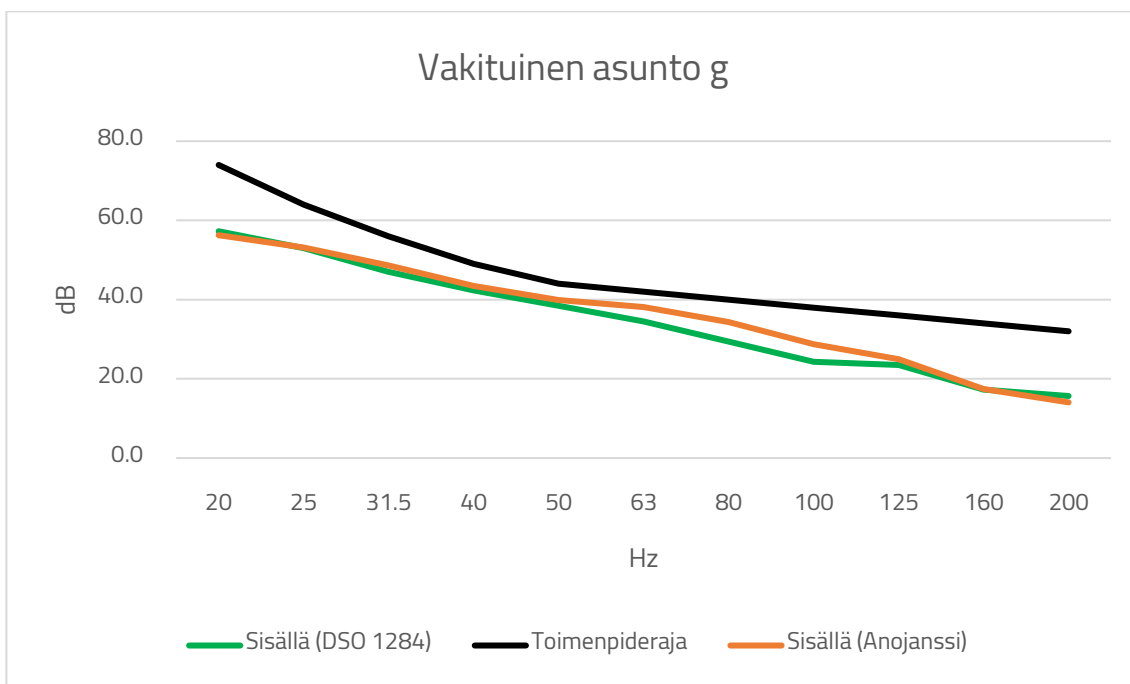
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
20	61.3	62.7	61.9	61.9	58.9	60.5	63.9	63.6	59.5	60.8	62.8	62.9	62.4	57.8
25	58.8	60.2	59.4	59.4	56.5	58.1	61.4	61.1	57.0	58.3	60.3	60.5	60.0	55.3
31,5	55.2	56.6	55.8	55.8	52.8	54.4	57.8	57.5	53.4	54.7	56.7	56.8	56.3	51.7
40	51.1	52.5	51.7	51.8	48.7	50.4	53.8	53.5	49.3	50.6	52.7	52.8	52.3	47.6
50	48.8	50.2	49.4	49.4	46.4	48.0	51.4	51.1	46.9	48.3	50.3	50.4	49.9	45.2
63	48.5	49.9	49.1	49.1	46.0	47.7	51.1	50.8	46.6	48.0	50.0	50.1	49.6	44.8
80	46.4	47.9	47.0	47.1	43.9	45.6	49.1	48.8	44.6	45.9	48.0	48.1	47.6	42.7
100	42.8	44.3	43.4	43.5	40.2	41.9	45.5	45.2	40.9	42.3	44.4	44.5	44.0	38.9
125	40.9	42.5	41.6	41.6	38.2	40.0	43.7	43.4	39.0	40.5	42.6	42.7	42.2	36.8
160	35.6	37.2	36.3	36.4	32.6	34.6	38.5	38.2	33.6	35.2	37.3	37.4	36.9	31.2
200	33.8	35.6	34.5	34.7	30.6	32.7	36.9	36.6	31.8	33.5	35.7	35.7	35.2	29.1

Taulukko 12. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyysarvoja.

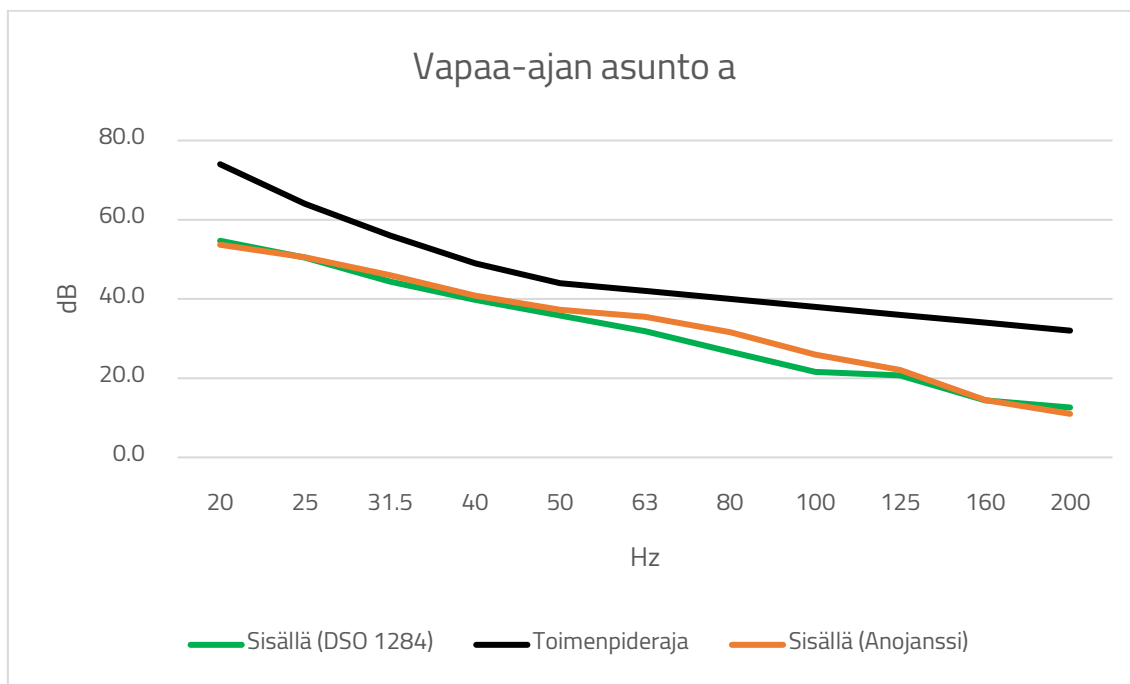
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
20	54.7	56.1	55.3	55.3	52.3	53.9	57.3	57.0	52.9	54.2	56.2	56.3	55.8	51.2
25	50.4	51.8	51.0	51.0	48.1	49.7	53.0	52.7	48.6	49.9	51.9	52.1	51.6	46.9
31,5	44.4	45.8	45.0	45.0	42.0	43.6	47.0	46.7	42.6	43.9	45.9	46.0	45.5	40.9
40	39.7	41.1	40.3	40.4	37.3	39.0	42.4	42.1	37.9	39.2	41.3	41.4	40.9	36.2
50	35.8	37.2	36.4	36.4	33.4	35.0	38.4	38.1	33.9	35.3	37.3	37.4	36.9	32.2
63	31.9	33.3	32.5	32.5	29.4	31.1	34.5	34.2	30.0	31.4	33.4	33.5	33.0	28.2
80	26.7	28.2	27.3	27.4	24.2	25.9	29.4	29.1	24.9	26.2	28.3	28.4	27.9	23.0
100	21.6	23.1	22.2	22.3	19.0	20.7	24.3	24.0	19.7	21.1	23.2	23.3	22.8	17.7
125	20.7	22.3	21.4	21.4	18.0	19.8	23.5	23.2	18.8	20.3	22.4	22.5	22.0	16.6
160	14.4	16.0	15.1	15.2	11.4	13.4	17.3	17.0	12.4	14.0	16.1	16.2	15.7	10.0
200	12.6	14.4	13.3	13.5	9.4	11.5	15.7	15.4	10.6	12.3	14.5	14.5	14.0	7.9

Taulukko 13. 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	m	n
20	53.7	55.1	54.3	54.3	51.3	52.9	56.3	56.0	51.9	53.2	55.2	55.3	54.8	50.2
25	50.5	51.9	51.1	51.1	48.2	49.8	53.1	52.8	48.7	50.0	52.0	52.2	51.7	47.0
31,5	46.0	47.4	46.6	46.6	43.6	45.2	48.6	48.3	44.2	45.5	47.5	47.6	47.1	42.5
40	40.8	42.2	41.4	41.5	38.4	40.1	43.5	43.2	39.0	40.3	42.4	42.5	42.0	37.3
50	37.3	38.7	37.9	37.9	34.9	36.5	39.9	39.6	35.4	36.8	38.8	38.9	38.4	33.7
63	35.5	36.9	36.1	36.1	33.0	34.7	38.1	37.8	33.6	35.0	37.0	37.1	36.6	31.8
80	31.6	33.1	32.2	32.3	29.1	30.8	34.3	34.0	29.8	31.1	33.2	33.3	32.8	27.9
100	26.0	27.5	26.6	26.7	23.4	25.1	28.7	28.4	24.1	25.5	27.6	27.7	27.2	22.1
125	22.1	23.7	22.8	22.8	19.4	21.2	24.9	24.6	20.2	21.7	23.8	23.9	23.4	18.0
160	14.5	16.1	15.2	15.3	11.5	13.5	17.4	17.1	12.5	14.1	16.2	16.3	15.8	10.1
200	11.0	12.8	11.7	11.9	7.8	9.9	14.1	13.8	9.0	10.7	12.9	12.9	12.4	6.3



Kuva 5. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituuisessa asunnossa g.



Kuva 6. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa a.

LIITE 4: SJOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevissa taulukoissa.

Taulukko 14. Takakangas-Pihlajajarjun voimaloiden sijaintitiedot, VE1

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	285258	6897523	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
2	284395	6896913	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
3	285316	6896707	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
4	285890	6896300	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
5	284413	6896018	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
6	285977	6895471	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
7	284629	6895246	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
8	283221	6894606	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
9	281836	6893216	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
10	282460	6892908	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
11	286309	6894805	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
12	286439	6894030	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)

Taulukko 15. Takakangas-Pihlajajarjun voimaloiden sijaintitiedot, VE2

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
2	284395	6896913	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
3	285316	6896707	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
4	285890	6896300	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
5	284413	6896018	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
6	285977	6895471	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
7	284629	6895246	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
8	283221	6894606	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
9	281836	6893216	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
10	282460	6892908	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)
11	286309	6894805	Nordex N163 6.8 MW 218.5 m HH, clean blade, 108.6+1.5 dB(A)