



ETHA WIND



## MELUSELVITYS

Pitkälänvuoren Tuulivoimapuisto

25.04.2023

## 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.....	10
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, PITKÄLÄNVUORI.....	17
	Liite 1: Melumallinnuksen tulokset .....	19
	Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta, Pitkälänvuori (painottamattomat melutasot).....	20
	Liite 3: Sijoitussuunnitelmat.....	23

## VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä, Päivämäärä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Arina Makarova, 2021-09-30	Christian Granlund	Christian Granlund	Pitkälänvuoren tuulivoimapuiston meluselvitys.
Ver 2	Arina Makarova, 2023-04-25	Christian Granlund	Christian Granlund	Pitkälänvuoren tuulivoimapuiston meluselvitys (päivitetty sijoitussuunnitelma).

# 1 YHTEENVETO

## **Tehtävä:**

Meluselvitys Pitkälänvuoren 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 Pitkälänvuoren tuulivoimapuistolle Petäjäveden kunnan alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä 11 tuulivoimalasta. Meluselvitys on osa hankkeen vaikutusten arviointia kaavoitusvaiheessa. Melumallinnuksessa on käytetty SG 6.6-170-voimalan lähtötietoja. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 185 metriä ja äänitehotaso 106.0 dB(A). Mallinnuksessa käytettiin Siemens-Gamecan lokakuussa 2022 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, ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti määriteltäviä, 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. Pitkälänvuoren tapauksessa äänitehotasot on ilmoitettu 1/3 oktaavikaistoittain.

Turbiinivalmistajien äänitiedot sisältävät epävarmuusmarginaalin. Siemens Gamesan käyttämä epävarmuusmarginaali ei ole suoraan verrattavissa IEC TS 61400-14 -standardiin, johon ympäristöministeriön ohjeet viittaavat. Edellä mainituista syistä johtuen lähtömelutasoon on mallinnuksessa lisätty 1.5 dB:n epävarmuusmarginaali. Lisätyllä marginaalilla varmistetaan, että mallinnustulokset ovat riittävän konservatiiviset suhteessa ympäristöministeriön ohjeisiin ja lopulliseen voimalatyypin.

Mallinnuksessa käytetty voimalatyyppi on mainittu alla.

*Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot*

Hankealue	Voimalat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (Lwa)	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Pitkälänvuori	SG 6.6-170 MW	185	106,0 +1,5 dB(A)	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 tuulenoisuus 10 metrin korkeudella maan pinnasta on 8 m/s. Useiden voimaloiden yhteismeluvaikutukset on otettu huomioon. 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 mittaus tuloksiin 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 äänen voimakkuuden merkittävät jaksottaiset vaihtelut lisäävät melun häiritsevyyttä. Amplitudimodulaatio on paikallisista olosuhteista ja voimalatyypistä 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

Pitkälänvuoren tuulivoimapuiston alue on pääasiassa metsätalousaluetta ja sen äänimaisema on tällaiselle alueelle tyypillistä.

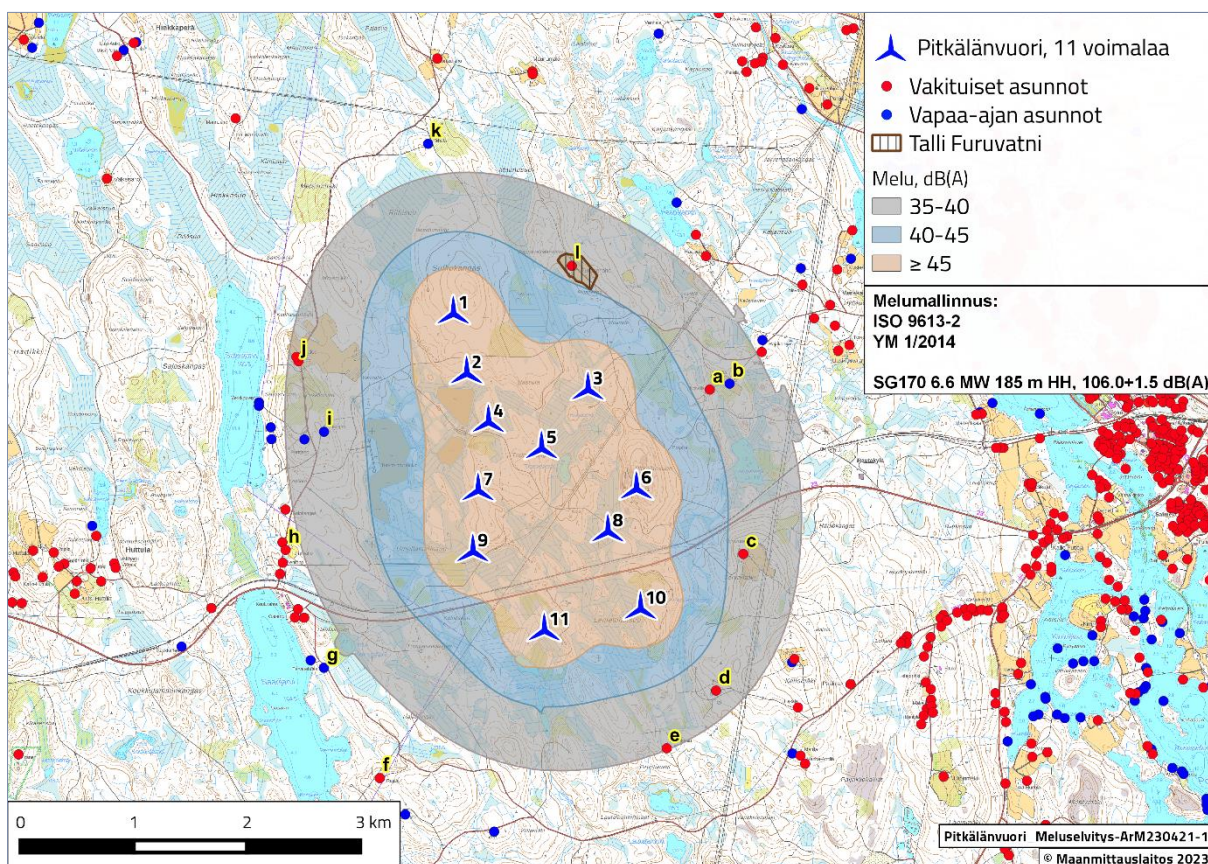
### 6.2 RAKENTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

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 valtatie melutasoa hieman.

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

### 6.3 TOIMINNAN AIKAISET VAIKUTUKSET

Melumallinnuksessa Pitkälänvuoren tuulivoimaloille käytettiin Siemens Gamesa SG 6.6-170 -tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 106,0 dB(A) +1,5 dB(A) ja napakorkeus 185 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 11 voimalan sijoitussuunnitelmaa. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 3.



Kuva 1. Pitkälänvuoren tuulivoimapuiston melumallinnus. Kaksitoista havainnointipistettä on merkitty kuvaan 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.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että Pitkälänvuoren tuulivoimaloiden meluvaikutukset ovat melko vähäiset. Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 39 dB(A) eli selvästi alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkein äänitaso lähialueella sijaitsevan havaintopisteen alueella on 38,7–38,9 dB(A) (vakituiset asunnot a, c, l).

Hevostilan (Furuvatni, Teijan Talli) alueella äänitaso on alle 40 dB(A). Päärakennuksen, asunto l:n kohdalla laskettu äänitaso on 38,9 dB(A) ja muiden rakennusten kohdalla maksimissaan 39,5 dB(A).

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 asunnoilla toimenpiderajat alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Laskennan tulokset löytyvät liitteistä 2.

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. Lisäksi pienitaajuisen melun laskennassa on käytetty Turun Ammattikorkeakoulun tutkimuksessa (ANOJANSSI-projekti, 2020) ehdotettuja vaihtoehtoisia eristyskertoimia.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että Pitkälänvuoren tuulivoimaloiden pienitaajuisen melun vaikutukset ovat 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

Mallinnuksessa 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.



## 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 tietoaaineiston CC 4.0 -lisenssi*.

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

Siemens Gamesa (2022). SG-F18.16-TR-00891\_R00\_Standard Acoustic Emission Document, SG 6.6-170, Rev. 0\_. Doc. ID SG-F18.16-TR-00891\_R00

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#](http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/lapio_flex.html#)

Valtioneuvosto (2015). *Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista*.

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

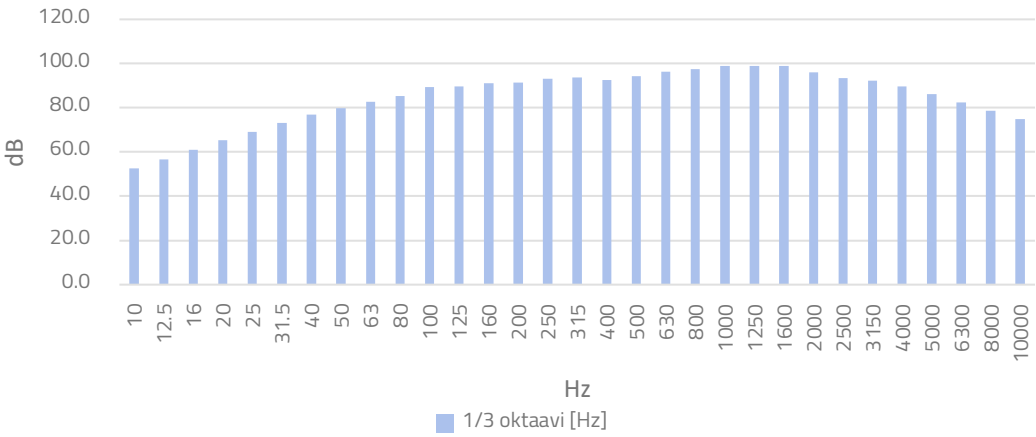
Ympäristöministeriö (2016). *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016*.

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

Ympäristöministeriö (2014). *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Helsinki*.

[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)

## 9 MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, PITKÄLÄNVUORI

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT		*tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä																																																																	
Mallinnusraportti numero/tunniste: <b>ArM230421-1</b>		Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>25.4.2023</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: Siemens Gamesa		Tyyppi:	Sarjanumero/t:																																																																
Nimellisteho: <b>6.6</b>	Napakorkeus: <b>185 m</b>	Roottorin halkaisija: <b>170 m</b>	Tornin tyyppi: <b>Putkitorni</b>																																																																
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun																																																																			
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus																																																																	
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB																																																																
<b>Ei</b>	<b>Ei tiedossa</b>	<b>Ei</b>	<b>Ei tiedossa</b>																																																																
Muu, mikä																																																																			
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT																																																																			
Melupäästötiedot Siemens Gamesa SG 6.2-170 185 m HH																																																																			
(Tuulivoimalavalmistajan ilmoittama takuuarvo: 106,0 dB(A) + 1,5 dB(A))																																																																			
<p style="text-align: center;">Siemens Gamesa SG170, 185 m HH 107,5 dB(A)</p>  <table border="1"> <caption>Estimated data from the sound pressure level chart</caption> <thead> <tr> <th>Hz</th> <th>dB</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>50</td></tr> <tr><td>12.5</td><td>55</td></tr> <tr><td>16</td><td>60</td></tr> <tr><td>20</td><td>65</td></tr> <tr><td>25</td><td>68</td></tr> <tr><td>31.5</td><td>70</td></tr> <tr><td>40</td><td>72</td></tr> <tr><td>50</td><td>75</td></tr> <tr><td>63</td><td>78</td></tr> <tr><td>80</td><td>80</td></tr> <tr><td>100</td><td>82</td></tr> <tr><td>125</td><td>107.5</td></tr> <tr><td>160</td><td>85</td></tr> <tr><td>200</td><td>85</td></tr> <tr><td>250</td><td>88</td></tr> <tr><td>315</td><td>90</td></tr> <tr><td>400</td><td>88</td></tr> <tr><td>500</td><td>90</td></tr> <tr><td>630</td><td>92</td></tr> <tr><td>800</td><td>95</td></tr> <tr><td>1000</td><td>95</td></tr> <tr><td>1250</td><td>98</td></tr> <tr><td>1600</td><td>98</td></tr> <tr><td>2000</td><td>95</td></tr> <tr><td>2500</td><td>92</td></tr> <tr><td>3150</td><td>90</td></tr> <tr><td>4000</td><td>88</td></tr> <tr><td>5000</td><td>85</td></tr> <tr><td>6300</td><td>82</td></tr> <tr><td>8000</td><td>78</td></tr> <tr><td>10000</td><td>75</td></tr> </tbody> </table>				Hz	dB	10	50	12.5	55	16	60	20	65	25	68	31.5	70	40	72	50	75	63	78	80	80	100	82	125	107.5	160	85	200	85	250	88	315	90	400	88	500	90	630	92	800	95	1000	95	1250	98	1600	98	2000	95	2500	92	3150	90	4000	88	5000	85	6300	82	8000	78	10000	75
Hz	dB																																																																		
10	50																																																																		
12.5	55																																																																		
16	60																																																																		
20	65																																																																		
25	68																																																																		
31.5	70																																																																		
40	72																																																																		
50	75																																																																		
63	78																																																																		
80	80																																																																		
100	82																																																																		
125	107.5																																																																		
160	85																																																																		
200	85																																																																		
250	88																																																																		
315	90																																																																		
400	88																																																																		
500	90																																																																		
630	92																																																																		
800	95																																																																		
1000	95																																																																		
1250	98																																																																		
1600	98																																																																		
2000	95																																																																		
2500	92																																																																		
3150	90																																																																		
4000	88																																																																		
5000	85																																																																		
6300	82																																																																		
8000	78																																																																		
10000	75																																																																		

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: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>1 m</b>	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomiointi, käytetyt kertoimet							
<b>ISO 9613-2</b>							
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): <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: 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. Pitkälänvuoren 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	Vakituinen asunto	401984	6904367	40	38,7	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	402159	6904419	40	37,3	Ei
c	Vakituinen asunto	402280	6902917	40	38,8	Ei
d	Vakituinen asunto	402039	6901711	40	36,8	Ei
e	Vakituinen asunto	401604	6901202	40	35,1	Ei
f	Vakituinen asunto	399071	6900939	40	31,3	Ei
g	Vapaa-ajan asunto	398577	6901912	40	33,2	Ei
h	Vakituinen asunto	398238	6902953	40	34,1	Ei
i	Vapaa-ajan asunto	398578	6903995	40	37,3	Ei
j	Vakituinen asunto	398352	6904618	40	35,6	Ei
k	Vapaa-ajan asunto	399497	6906536	40	33,0	Ei
l	Vakituinen asunto	400766	6905459	40	38,9	Ei

## LIITE 2: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA, PITKÄLÄNVUORI (PAINOTTAMATTOMAT MELUTASOT)

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

*Taulukko 8. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.*

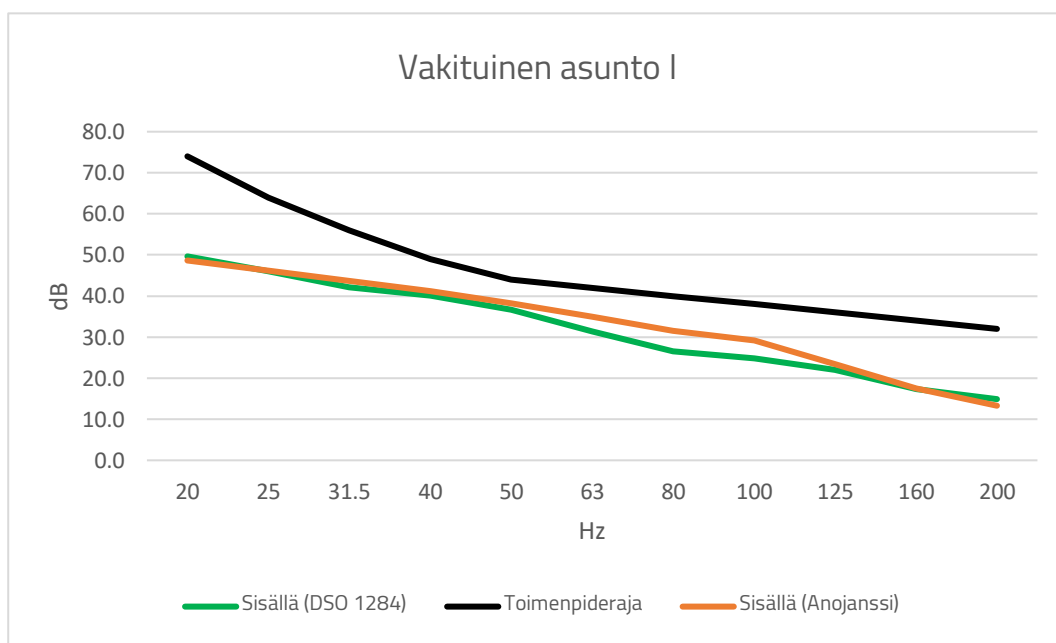
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
20	56.2	55.2	56.0	54.5	53.5	51.3	52.6	53.2	55.2	54.0	52.2	56.2
25	54.3	53.4	54.2	52.7	51.7	49.5	50.7	51.4	53.4	52.2	50.3	54.4
31,5	52.8	51.9	52.7	51.2	50.2	48.0	49.2	49.9	51.9	50.7	48.8	52.9
40	51.4	50.5	51.3	49.7	48.7	46.5	47.8	48.4	50.4	49.2	47.3	51.5
50	49.6	48.7	49.5	48.0	47.0	44.7	46.0	46.7	48.7	47.5	45.6	49.7
63	47.9	47.0	47.8	46.2	45.2	42.9	44.2	44.9	46.9	45.7	43.8	48.0
80	46.2	45.3	46.1	44.5	43.5	41.2	42.5	43.2	45.2	44.0	42.1	46.3
100	46.0	45.0	45.9	44.3	43.2	40.8	42.2	42.9	45.0	43.7	41.7	46.1
125	42.1	41.1	41.9	40.3	39.2	36.8	38.2	38.9	41.0	39.8	37.7	42.2
160	38.5	37.4	38.4	36.7	35.5	32.9	34.4	35.1	37.4	36.1	34.0	38.6
200	36.0	34.9	35.9	34.2	32.9	30.2	31.7	32.5	34.9	33.5	31.3	36.1

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

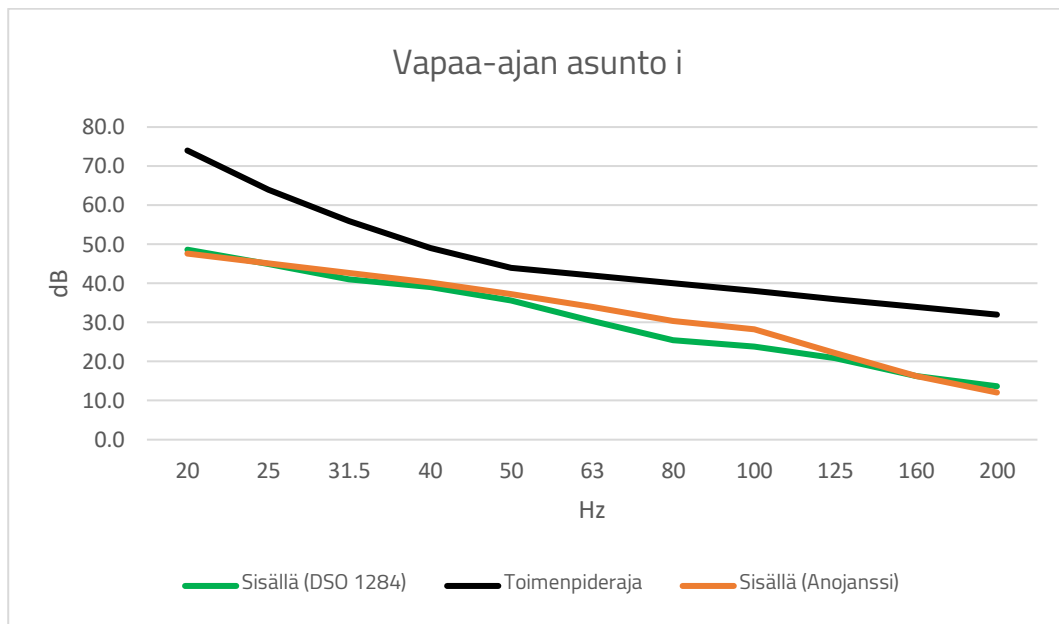
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
20	49.6	48.6	49.4	47.9	46.9	44.7	46.0	46.6	48.6	47.4	45.6	49.6
25	45.9	45.0	45.8	44.3	43.3	41.1	42.3	43.0	45.0	43.8	41.9	46.0
31,5	42.0	41.1	41.9	40.4	39.4	37.2	38.4	39.1	41.1	39.9	38.0	42.1
40	40.0	39.1	39.9	38.3	37.3	35.1	36.4	37.0	39.0	37.8	35.9	40.1
50	36.6	35.7	36.5	35.0	34.0	31.7	33.0	33.7	35.7	34.5	32.6	36.7
63	31.3	30.4	31.2	29.6	28.6	26.3	27.6	28.3	30.3	29.1	27.2	31.4
80	26.5	25.6	26.4	24.8	23.8	21.5	22.8	23.5	25.5	24.3	22.4	26.6
100	24.8	23.8	24.7	23.1	22.0	19.6	21.0	21.7	23.8	22.5	20.5	24.9
125	21.9	20.9	21.7	20.1	19.0	16.6	18.0	18.7	20.8	19.6	17.5	22.0
160	17.3	16.2	17.2	15.5	14.3	11.7	13.2	13.9	16.2	14.9	12.8	17.4
200	14.8	13.7	14.7	13.0	11.7	9.0	10.5	11.3	13.7	12.3	10.1	14.9

*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	48.6	47.6	48.4	46.9	45.9	43.7	45.0	45.6	47.6	46.4	44.6	48.6
25	46.0	45.1	45.9	44.4	43.4	41.2	42.4	43.1	45.1	43.9	42.0	46.1
31,5	43.6	42.7	43.5	42.0	41.0	38.8	40.0	40.7	42.7	41.5	39.6	43.7
40	41.1	40.2	41.0	39.4	38.4	36.2	37.5	38.1	40.1	38.9	37.0	41.2
50	38.1	37.2	38.0	36.5	35.5	33.2	34.5	35.2	37.2	36.0	34.1	38.2
63	34.9	34.0	34.8	33.2	32.2	29.9	31.2	31.9	33.9	32.7	30.8	35.0
80	31.4	30.5	31.3	29.7	28.7	26.4	27.7	28.4	30.4	29.2	27.3	31.5
100	29.2	28.2	29.1	27.5	26.4	24.0	25.4	26.1	28.2	26.9	24.9	29.3
125	23.3	22.3	23.1	21.5	20.4	18.0	19.4	20.1	22.2	21.0	18.9	23.4
160	17.4	16.3	17.3	15.6	14.4	11.8	13.3	14.0	16.3	15.0	12.9	17.5
200	13.2	12.1	13.1	11.4	10.1	7.4	8.9	9.7	12.1	10.7	8.5	13.3



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



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

## LIITE 3: SIOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevassa taulukossa

*Taulukko 11. Pitkälänvuoren voimaloiden sijaintitiedot.*

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	399718	6905074	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
2	399836	6904546	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
3	400907	6904404	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
4	400028	6904117	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
5	400497	6903884	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
6	401335	6903528	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
7	399937	6903514	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
8	401083	6903151	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
9	399891	6902975	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
10	401371	6902468	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)
11	400521	6902278	Siemens Gamesa SG 6.6-170 185 HH, 106,0 + 1,5 dB(A)