



ETHA WIND



## MELUSELVITYS

Hirvasjärven Tuulivoimapuisto

07.02.2024

## 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 .....  | 11 |
| 6.1 | Nykytilanne .....  | 11 |
| 6.2 | Rakentamisen aikaiset vaikutukset .....                                  | 11 |
| 6.3 | Toiminnan aikaiset vaikutukset, VE1 .....                                | 12 |
| 6.4 | Toiminnan aikaiset vaikutukset, VE2.....                                 | 13 |
| 6.5 | Pienitaajuinen melu .....  | 14 |
| 6.6 | Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset .....                           | 14 |
| 6.7 | Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät .....                           | 15 |
| 7   | HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA .....                                 | 15 |
| 8   | LÄHTEET .....  | 16 |
| 9   | MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, HIRVASJÄRVI .....                            | 17 |
|     | Liite 1: Melumallinnuksen tulokset .....                                 | 19 |
|     | Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta (VE1).....                        | 20 |

|   |    |
|---|----|
| Liite 3: Pienitaajuuden melun laskenta (VE2)..... | 22 |
| Liite 4: Sijoitussuunnitelmat.....                | 25 |

## VERSIONHISTORIA

| Versio,<br>Päivämäärä | Tekijä            | Tarkastettu           | Hyväksytty            | Tiivistelmä   |
|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---|
| Ver 1,<br>2023-05-19  | Arina<br>Makarova | Christian<br>Granlund | Christian<br>Granlund | Hirvasjärven tuulivoimapuiston<br>meluselvitys (VE1).   |
| Ver 2,<br>2024-02-07  | Arina<br>Makarova | Christian<br>Granlund | Christian<br>Granlund | Hirvasjärven tuulivoimapuiston<br>meluselvitys, päivitetty<br>sijoitussuunnitelma (VE1 ja VE2). |

# 1 YHTEENVETO

## **Tehtävä:**

Meluselvitys Hirvasjärven 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 Hirvasjärven tuulivoimapuistolle Kolarin kunnan alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä 21-26 tuulivoimalasta. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 metriä ja äänitehotaso 106,9 dB(A) + 3,0 dB(A) epävarmuusmarginaali. Mallinnuksessa käytettiin Vestaksen kesäkuussa 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.

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

- VE1: 26 voimalaa.
- VE2: 21 voimalaa.

## 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. Vestaksen käyttämät melupäästöarvot eivät ole suoraan verrattavissa IEC TS 61400-14-standardiin, ja epävarmuutta ei ole erikseen ilmoitettu. Tästä johtuen lähtömelutasoon on yleensä mallinnuksissa lisätty 2,0 dB:n epävarmuusmarginaali ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016). Tätä pidetään yleisesti riittävänä epävarmuusmarginaalina. Tässä laskelmassa on kuitenkin poikkeuksellisesti käytetty epävarmuusmarginaalia + 3,0 dB(A) erityisen konservatiivisen arvion tuottamiseksi. Korkea epävarmuusmarginaali mahdollistaa melun kokonaisvaikutusten arvioinnin, vaikka

tuulivoimaloiden lähtömelutasossa tapahtuisi vähäisiä muutoksia suunnittelun edetessä. Mallinnuksessa käytetty voimalatyyppi on mainittu alla.

*Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot.*

| Hankealue   | Voimalat    | Voimalan tornin korkeus (m) | Voimalan äänitehotaso (L <sub>wa</sub> ) | 1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri |
|-------------|-------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| Hirvasjärvi | V172 7.2 MW | 200                         | 106,9 +3,0 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 kymmenen 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 korjaus on tehty usealle asunnolle (b, c, f, g, h ja i).

Jos ääni on erityisen häiritsevää eli kapeakaistaista tai impulssimaista, lisätään laskenta- tai mittauksiloksiin 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 ilmio aiheuttaa sen, että äänenvoimakkuuden merkittävät jaksottaiset vaihtelut lisäävät melun häiritsevyyttä. Amplitudimodulaatio on paikallisista olosuhteista ja voimalatyypistä riippuva ilmio. 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-) | 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

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

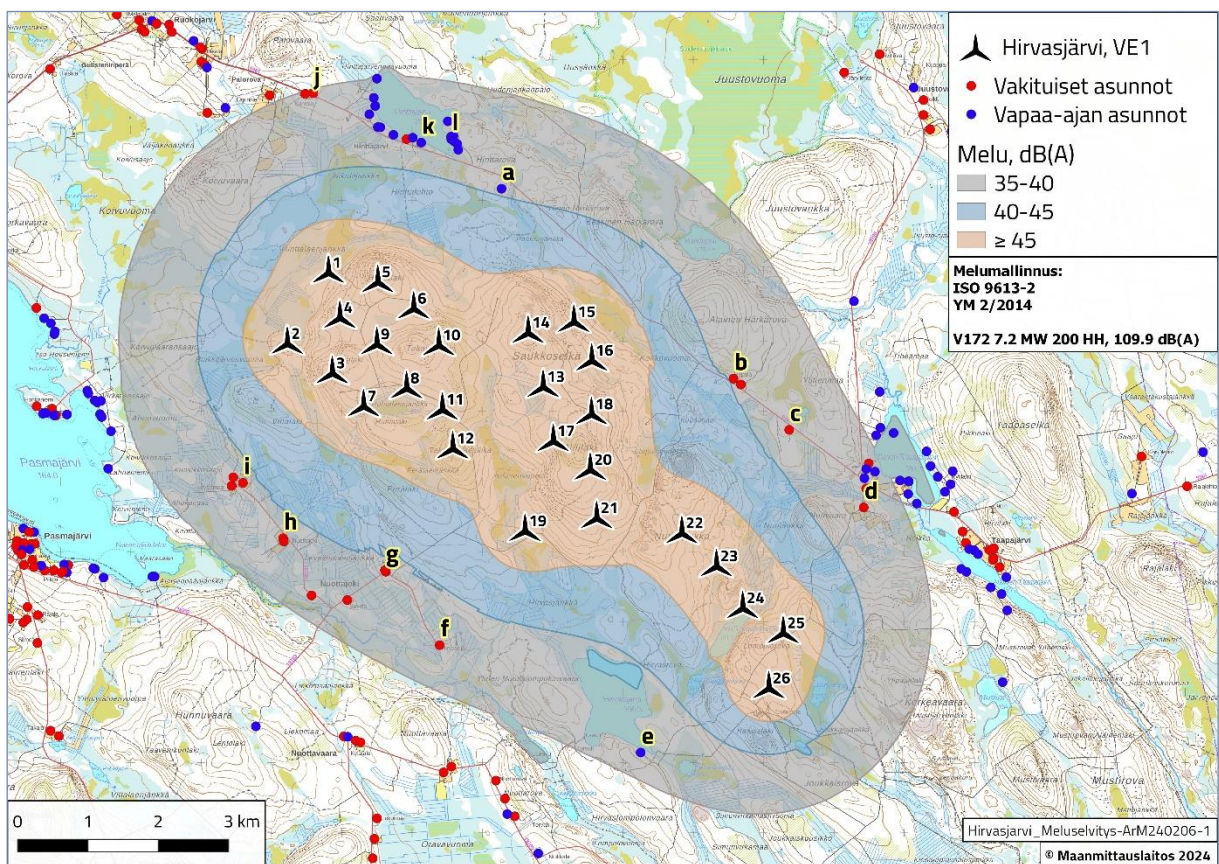
### 6.2 RAKENTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

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, VE1

Melumallinnuksessa käytettiin V172 7.2 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 106,9 +3,0 dB(A) ja napakorkeus 200 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 26 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE1). Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 4.



Kuva 1. Hirvasjärven tuulivoimapaiston melumallinnus (VE1). Kaksitoista havainnointipistettä on merkitty kuvaan kirjaimilla.

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

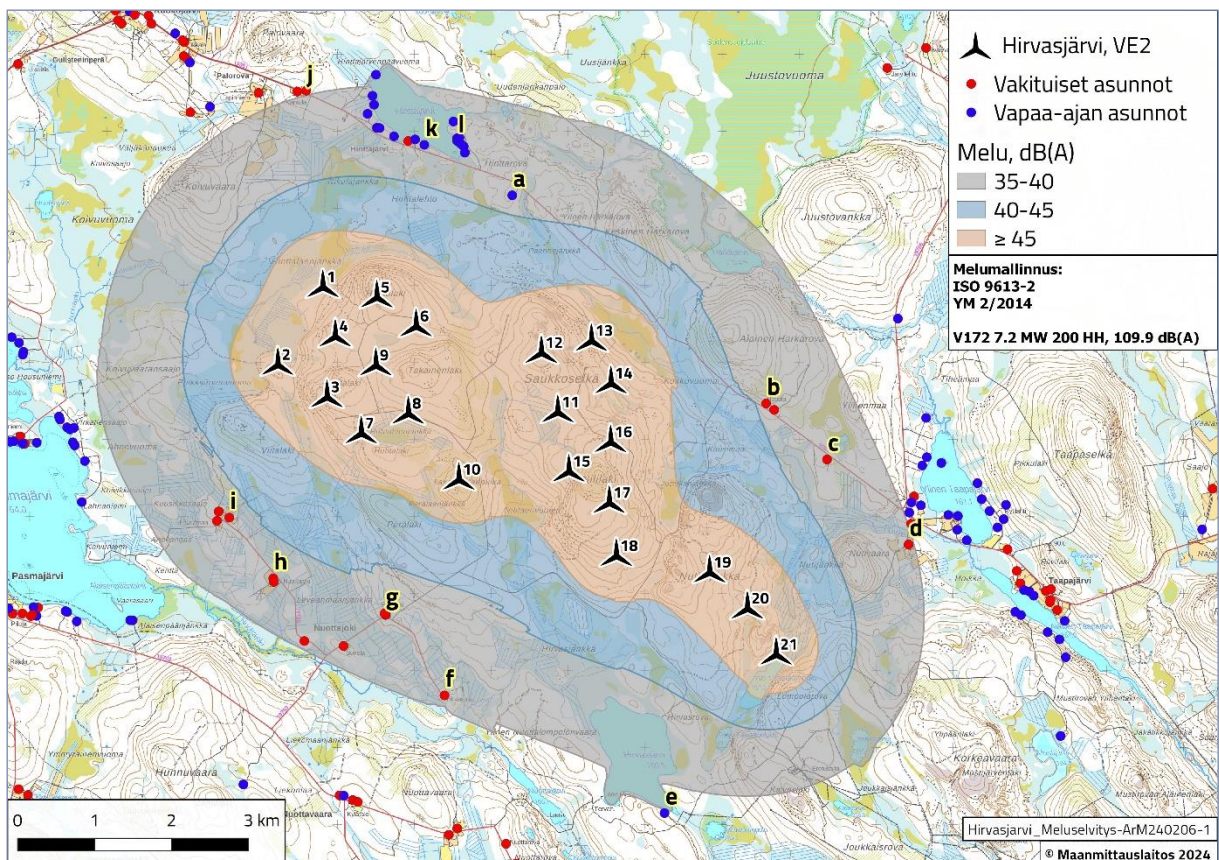
Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 40 dB(A) eli alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkein äänitaso Hirvasjärven alueella

sijaitsevassa havaintopisteessä on 39,6 (vapaa-ajan asunto a) ja 39,3 dB(A) (vakituiset asunnot b ja g).

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 käytettiin V172 7.2 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 106,9 +3,0 dB(A) ja napakorkeus 200 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 21 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE2). Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 4.



Kuva 2. Hirvasjärven tuulivoimapuiston melumallinnus (VE2). Kaksitoista havainnointipistettä on merkitty kuvaan kirjaimilla.

Melumallinnuksien mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dBA. 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. Korkein äänitaso Hirvasjärven alueella sijaitsevassa havaintopisteessä on 39,0 (vapaa-ajan asunto a) ja 38,9 dB(A) (vakituinen asunto b).

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 asunnoilla 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 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 tuulivoimapuiston pienitaajuisen melun vaikutukset ovat 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

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. 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 Häiritsevyyys. Turun ammattikorkeakoulu.

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

Maanmittauslaitos (2024). Maanmittauslaitoksen avoimen tietoineiston CC 4.0 -lisenssi.

Saatavilla: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu>

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>

Vestas (2022). *Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz*. Document no. 0128-4336\_00. Date: 2022-06-30.

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

<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42937>

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

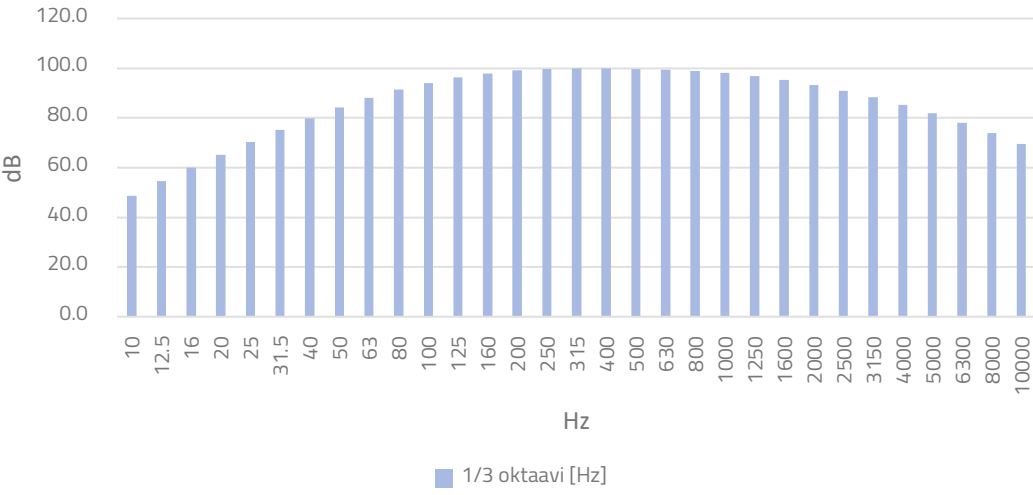
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79057>

Ympäristöministeriö, (2016). *Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä*. PDF-document.

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

<https://www.ym.fi/download/noname/%7B2852D34E-DA43-4DCA-9CEE-47DBB9EFCB08%7D/138568>

## 9 MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, HIRVASJÄRVI

| RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT  |                    |                           |                    |              |           | *tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä |           |              |                                  |  |  |
|---|--------------------|---------------------------|--------------------|--------------|-----------|--|-----------|--------------|----------------------------------|--|--|
| Mallinnusraportti numero/tunniste: <b>ArM240206-1</b>   |                    |                           |                    |              |           | Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>07.02.2024</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:<br><b>windPRO Ver3.6</b>  |                    |                           |                    |              |           | Mallinnusmenetelmä:<br><b>ISO 9613-2</b>                       |           |              |                                  |  |  |
| TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)   |                    |                           |                    |              |           |  |           |              |                                  |  |  |
| Tuulivoimalan valmistaja: <b>Vestas</b>   |                    |                           |                    |              |           | Tyyppi:  |           |              | Sarjanumero/t:                   |  |  |
| Nimellisteho: <b>7.2</b>  |                    | Napakorkeus: <b>200 m</b> |                    |              |           | Roottorin halkaisija: <b>172 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</b>   | <b>Ei tiedossa</b> | <b>Ei</b>                 | <b>Ei tiedossa</b> |              |           |  |           | dB           |                                  |  |  |
| AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT  |                    |                           |                    |              |           |  |           |              |                                  |  |  |
| Melupäästötiedot Vestas V172 7.2 MW 200 HH 106,9 dB(A)+3,0 dB(A)  |                    |                           |                    |              |           |  |           |              |                                  |  |  |
| <p style="text-align: center;">Vestas V172, 200 m HH 109,9 dB(A)</p>  <p style="text-align: center;">■ 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> | <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>10 m</b>          | Pystyresoluutio: <b>1,4 m</b> |
| Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, 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. Hirvasjärven 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 | 393273                        | 7450166                         | 40               | 39,6             | 39,0             | Ei                 |
| b                 | Vakituinen asunto | 396573                        | 7447463                         | 40               | 39,3             | 38,9             | Ei                 |
| c                 | Vakituinen asunto | 397365                        | 7446735                         | 40               | 38,2             | 37,6             | Ei                 |
| d                 | Vakituinen asunto | 398424                        | 7445631                         | 40               | 36,9             | 35,3             | Ei                 |
| e                 | Vapaa-ajan asunto | 395252                        | 7442143                         | 40               | 36,7             | 34,3             | Ei                 |
| f                 | Vakituinen asunto | 392392                        | 7443671                         | 40               | 37,3             | 35,8             | Ei                 |
| g                 | Vakituinen asunto | 391614                        | 7444736                         | 40               | 39,3             | 38,1             | Ei                 |
| h                 | Vakituinen asunto | 390166                        | 7445192                         | 40               | 38,5             | 37,8             | Ei                 |
| i                 | Vakituinen asunto | 389595                        | 7445980                         | 40               | 38,9             | 38,4             | Ei                 |
| j                 | Vapaa-ajan asunto | 390595                        | 7451526                         | 40               | 35,2             | 34,8             | Ei                 |
| k                 | Vapaa-ajan asunto | 392130                        | 7450822                         | 40               | 38,2             | 37,7             | Ei                 |
| l                 | Vapaa-ajan asunto | 392557                        | 7450872                         | 40               | 38,5             | 37,9             | Ei                 |

## LIITE 2: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA (VE1)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoilla toimenpiderajat alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat. Pienitaajuinen melu on laskettu Hirvasjärven vaihtoehdolle VE1, jossa on 26 tuulivoimalaa.

*Taulukko 8. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.*

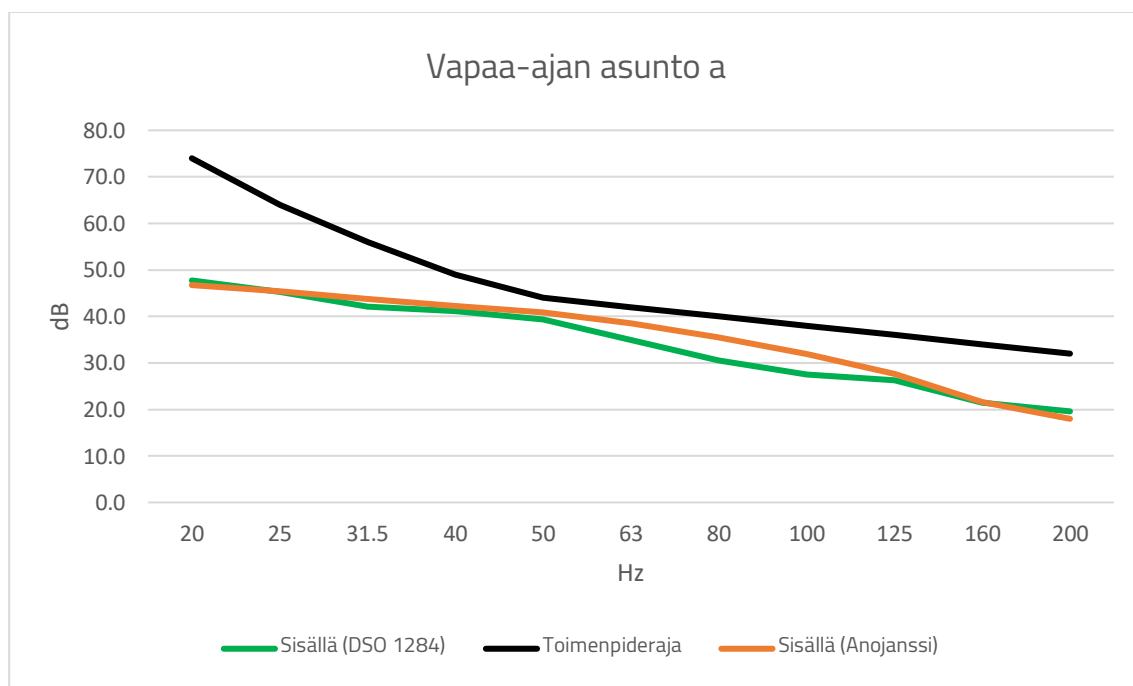
| Taajuus<br>(Hz) | Melutaso kohteissa (dB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | a                       | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | k    | l    |
| 20              | 54.3                    | 54.0 | 53.1 | 52.1 | 51.6 | 52.5 | 53.9 | 52.9 | 53.4 | 51.2 | 53.2 | 53.0 |
| 25              | 53.7                    | 53.3 | 52.4 | 51.4 | 51.0 | 51.9 | 53.2 | 52.2 | 52.7 | 50.5 | 52.6 | 52.3 |
| 31,5            | 52.9                    | 52.6 | 51.7 | 50.7 | 50.2 | 51.1 | 52.5 | 51.5 | 52.0 | 49.7 | 51.8 | 51.6 |
| 40              | 52.5                    | 52.1 | 51.2 | 50.2 | 49.7 | 50.7 | 52.0 | 51.0 | 51.5 | 49.3 | 51.4 | 51.1 |
| 50              | 52.3                    | 52.0 | 51.0 | 50.1 | 49.6 | 50.5 | 51.9 | 50.9 | 51.4 | 49.1 | 51.2 | 50.9 |
| 63              | 51.5                    | 51.2 | 50.2 | 49.2 | 48.7 | 49.6 | 51.0 | 50.0 | 50.5 | 48.2 | 50.4 | 50.1 |
| 80              | 50.3                    | 49.9 | 48.9 | 47.9 | 47.4 | 48.4 | 49.8 | 48.7 | 49.3 | 46.9 | 49.1 | 48.8 |
| 100             | 48.7                    | 48.3 | 47.3 | 46.3 | 45.8 | 46.7 | 48.2 | 47.1 | 47.7 | 45.2 | 47.5 | 47.2 |
| 125             | 46.4                    | 46.0 | 45.0 | 44.0 | 43.4 | 44.3 | 45.9 | 44.8 | 45.4 | 42.8 | 45.2 | 44.9 |
| 160             | 42.7                    | 42.3 | 41.2 | 40.1 | 39.5 | 40.5 | 42.1 | 40.9 | 41.6 | 38.8 | 41.4 | 41.0 |
| 200             | 40.8                    | 40.4 | 39.2 | 38.1 | 37.4 | 38.4 | 40.1 | 38.9 | 39.6 | 36.7 | 39.4 | 39.0 |

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

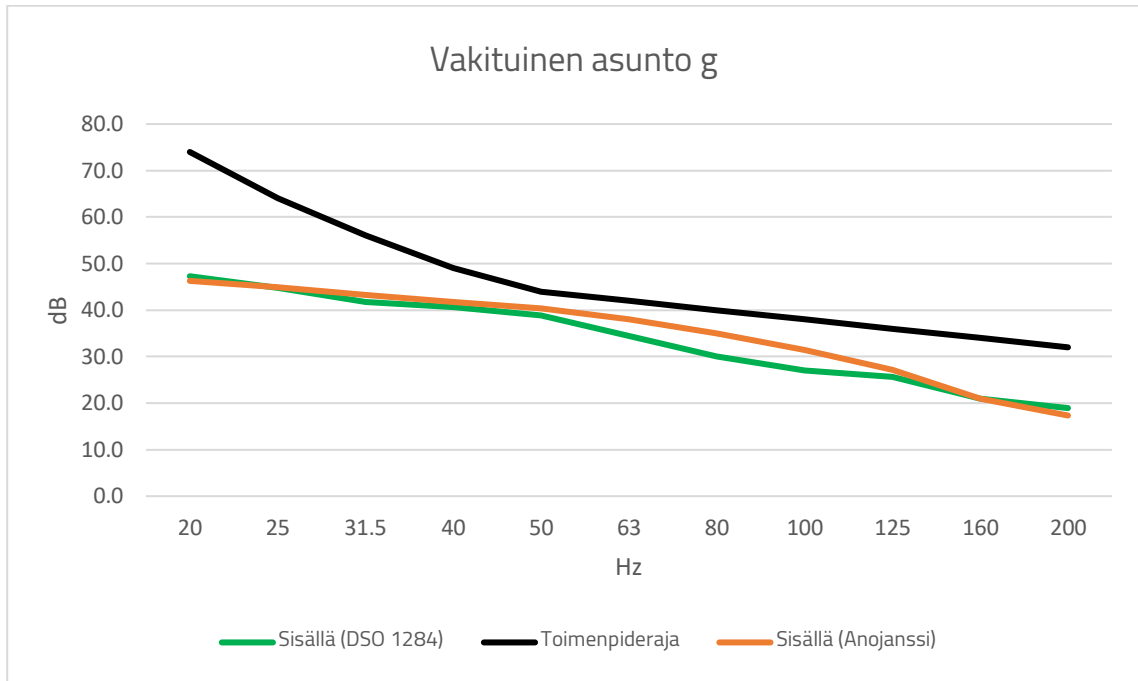
| Taajuus<br>(Hz) | Melutaso kohteissa (dB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | a                       | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | k    | l    |
| 20              | 47.7                    | 47.4 | 46.5 | 45.5 | 45.0 | 45.9 | 47.3 | 46.3 | 46.8 | 44.6 | 46.6 | 46.4 |
| 25              | 45.3                    | 44.9 | 44.0 | 43.0 | 42.6 | 43.5 | 44.8 | 43.8 | 44.3 | 42.1 | 44.2 | 43.9 |
| 31,5            | 42.1                    | 41.8 | 40.9 | 39.9 | 39.4 | 40.3 | 41.7 | 40.7 | 41.2 | 38.9 | 41.0 | 40.8 |
| 40              | 41.1                    | 40.7 | 39.8 | 38.8 | 38.3 | 39.3 | 40.6 | 39.6 | 40.1 | 37.9 | 40.0 | 39.7 |
| 50              | 39.3                    | 39.0 | 38.0 | 37.1 | 36.6 | 37.5 | 38.9 | 37.9 | 38.4 | 36.1 | 38.2 | 37.9 |
| 63              | 34.9                    | 34.6 | 33.6 | 32.6 | 32.1 | 33.0 | 34.4 | 33.4 | 33.9 | 31.6 | 33.8 | 33.5 |
| 80              | 30.6                    | 30.2 | 29.2 | 28.2 | 27.7 | 28.7 | 30.1 | 29.0 | 29.6 | 27.2 | 29.4 | 29.1 |
| 100             | 27.5                    | 27.1 | 26.1 | 25.1 | 24.6 | 25.5 | 27.0 | 25.9 | 26.5 | 24.0 | 26.3 | 26.0 |
| 125             | 26.2                    | 25.8 | 24.8 | 23.8 | 23.2 | 24.1 | 25.7 | 24.6 | 25.2 | 22.6 | 25.0 | 24.7 |
| 160             | 21.5                    | 21.1 | 20.0 | 18.9 | 18.3 | 19.3 | 20.9 | 19.7 | 20.4 | 17.6 | 20.2 | 19.8 |
| 200             | 19.6                    | 19.2 | 18.0 | 16.9 | 16.2 | 17.2 | 18.9 | 17.7 | 18.4 | 15.5 | 18.2 | 17.8 |

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

| Taajuus<br>(Hz) | Melutaso kohteissa (dB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | a                       | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | k    | l    |
| 20              | 46.7                    | 46.4 | 45.5 | 44.5 | 44.0 | 44.9 | 46.3 | 45.3 | 45.8 | 43.6 | 45.6 | 45.4 |
| 25              | 45.4                    | 45.0 | 44.1 | 43.1 | 42.7 | 43.6 | 44.9 | 43.9 | 44.4 | 42.2 | 44.3 | 44.0 |
| 31,5            | 43.7                    | 43.4 | 42.5 | 41.5 | 41.0 | 41.9 | 43.3 | 42.3 | 42.8 | 40.5 | 42.6 | 42.4 |
| 40              | 42.2                    | 41.8 | 40.9 | 39.9 | 39.4 | 40.4 | 41.7 | 40.7 | 41.2 | 39.0 | 41.1 | 40.8 |
| 50              | 40.8                    | 40.5 | 39.5 | 38.6 | 38.1 | 39.0 | 40.4 | 39.4 | 39.9 | 37.6 | 39.7 | 39.4 |
| 63              | 38.5                    | 38.2 | 37.2 | 36.2 | 35.7 | 36.6 | 38.0 | 37.0 | 37.5 | 35.2 | 37.4 | 37.1 |
| 80              | 35.5                    | 35.1 | 34.1 | 33.1 | 32.6 | 33.6 | 35.0 | 33.9 | 34.5 | 32.1 | 34.3 | 34.0 |
| 100             | 31.9                    | 31.5 | 30.5 | 29.5 | 29.0 | 29.9 | 31.4 | 30.3 | 30.9 | 28.4 | 30.7 | 30.4 |
| 125             | 27.6                    | 27.2 | 26.2 | 25.2 | 24.6 | 25.5 | 27.1 | 26.0 | 26.6 | 24.0 | 26.4 | 26.1 |
| 160             | 21.6                    | 21.2 | 20.1 | 19.0 | 18.4 | 19.4 | 21.0 | 19.8 | 20.5 | 17.7 | 20.3 | 19.9 |
| 200             | 18.0                    | 17.6 | 16.4 | 15.3 | 14.6 | 15.6 | 17.3 | 16.1 | 16.8 | 13.9 | 16.6 | 16.2 |



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



Kuva 4. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituudessa asunnossa g.

### LIITE 3: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA (VE2)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoilla toimenpiderajat alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat. Pienitaajuinen melu on laskettu Hirvasjärven vaihtoehdolle VE2, jossa on 21 tuulivoimalaa.

Taulukko 11. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

| Taajuus<br>(Hz) | Melutaso kohteissa (dB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | a                       | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | k    | l    |
| 20              | 53.7                    | 53.4 | 52.3 | 50.7 | 49.8 | 51.2 | 52.8 | 52.1 | 52.8 | 50.6 | 52.7 | 52.4 |
| 25              | 53.1                    | 52.7 | 51.6 | 50.0 | 49.1 | 50.6 | 52.1 | 51.4 | 52.1 | 49.9 | 52.0 | 51.7 |
| 31,5            | 52.3                    | 52.0 | 50.9 | 49.3 | 48.3 | 49.8 | 51.4 | 50.7 | 51.4 | 49.2 | 51.3 | 51.0 |
| 40              | 51.9                    | 51.5 | 50.4 | 48.8 | 47.8 | 49.3 | 50.9 | 50.2 | 50.9 | 48.7 | 50.8 | 50.5 |
| 50              | 51.7                    | 51.4 | 50.2 | 48.6 | 47.6 | 49.2 | 50.7 | 50.1 | 50.7 | 48.5 | 50.7 | 50.3 |
| 63              | 50.9                    | 50.6 | 49.4 | 47.8 | 46.8 | 48.3 | 49.9 | 49.2 | 49.9 | 47.7 | 49.8 | 49.5 |
| 80              | 49.6                    | 49.3 | 48.1 | 46.5 | 45.5 | 47.0 | 48.7 | 48.0 | 48.7 | 46.4 | 48.6 | 48.2 |
| 100             | 48.1                    | 47.8 | 46.6 | 44.8 | 43.8 | 45.4 | 47.1 | 46.4 | 47.1 | 44.7 | 47.0 | 46.6 |

|     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 125 | 45.8 | 45.5 | 44.2 | 42.5 | 41.3 | 43.0 | 44.7 | 44.0 | 44.8 | 42.3 | 44.7 | 44.3 |
| 160 | 42.1 | 41.8 | 40.4 | 38.6 | 37.3 | 39.0 | 40.9 | 40.2 | 41.0 | 38.4 | 40.9 | 40.5 |
| 200 | 40.2 | 39.9 | 38.5 | 36.5 | 35.1 | 36.8 | 38.9 | 38.1 | 39.1 | 36.2 | 38.9 | 38.5 |

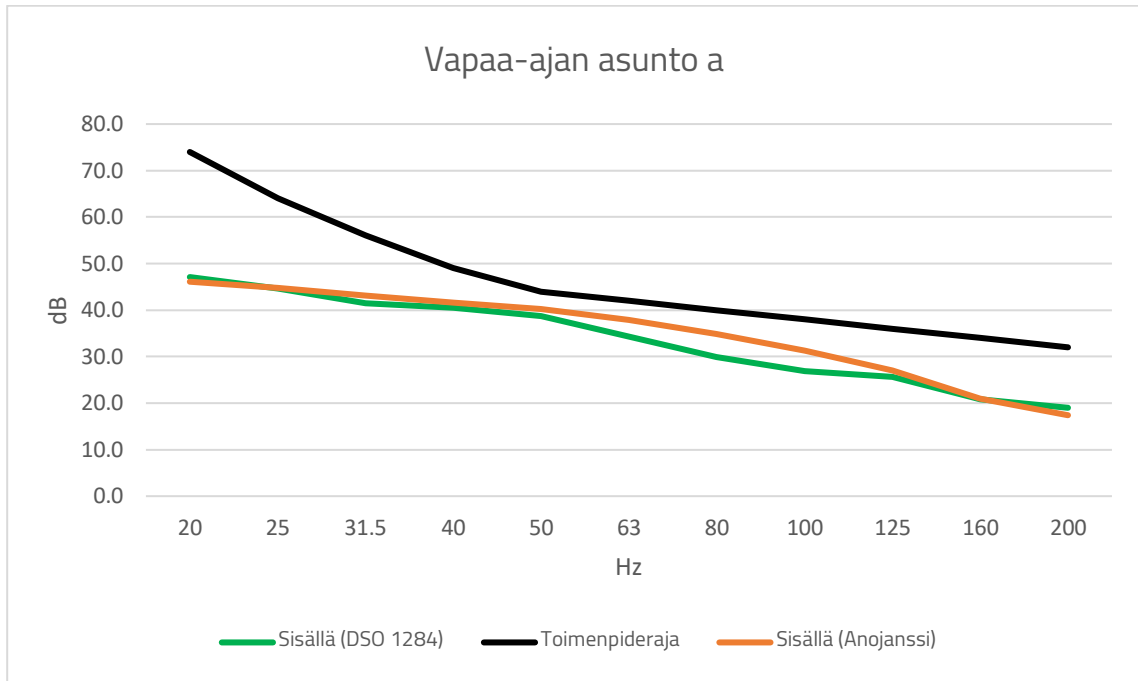
Taulukko 12. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

| Taajuus<br>(Hz) | Melutaso kohteissa (dB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | a                       | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | k    | l    |
| 20              | 47.1                    | 46.8 | 45.7 | 44.1 | 43.2 | 44.6 | 46.2 | 45.5 | 46.2 | 44.0 | 46.1 | 45.8 |
| 25              | 44.7                    | 44.3 | 43.2 | 41.6 | 40.7 | 42.2 | 43.7 | 43.0 | 43.7 | 41.5 | 43.6 | 43.3 |
| 31,5            | 41.5                    | 41.2 | 40.1 | 38.5 | 37.5 | 39.0 | 40.6 | 39.9 | 40.6 | 38.4 | 40.5 | 40.2 |
| 40              | 40.5                    | 40.1 | 39.0 | 37.4 | 36.4 | 37.9 | 39.5 | 38.8 | 39.5 | 37.3 | 39.4 | 39.1 |
| 50              | 38.7                    | 38.4 | 37.2 | 35.6 | 34.6 | 36.2 | 37.7 | 37.1 | 37.7 | 35.5 | 37.7 | 37.3 |
| 63              | 34.3                    | 34.0 | 32.8 | 31.2 | 30.2 | 31.7 | 33.3 | 32.6 | 33.3 | 31.1 | 33.2 | 32.9 |
| 80              | 29.9                    | 29.6 | 28.4 | 26.8 | 25.8 | 27.3 | 29.0 | 28.3 | 29.0 | 26.7 | 28.9 | 28.5 |
| 100             | 26.9                    | 26.6 | 25.4 | 23.6 | 22.6 | 24.2 | 25.9 | 25.2 | 25.9 | 23.5 | 25.8 | 25.4 |
| 125             | 25.6                    | 25.3 | 24.0 | 22.3 | 21.1 | 22.8 | 24.5 | 23.8 | 24.6 | 22.1 | 24.5 | 24.1 |
| 160             | 20.9                    | 20.6 | 19.2 | 17.4 | 16.1 | 17.8 | 19.7 | 19.0 | 19.8 | 17.2 | 19.7 | 19.3 |
| 200             | 19.0                    | 18.7 | 17.3 | 15.3 | 13.9 | 15.6 | 17.7 | 16.9 | 17.9 | 15.0 | 17.7 | 17.3 |

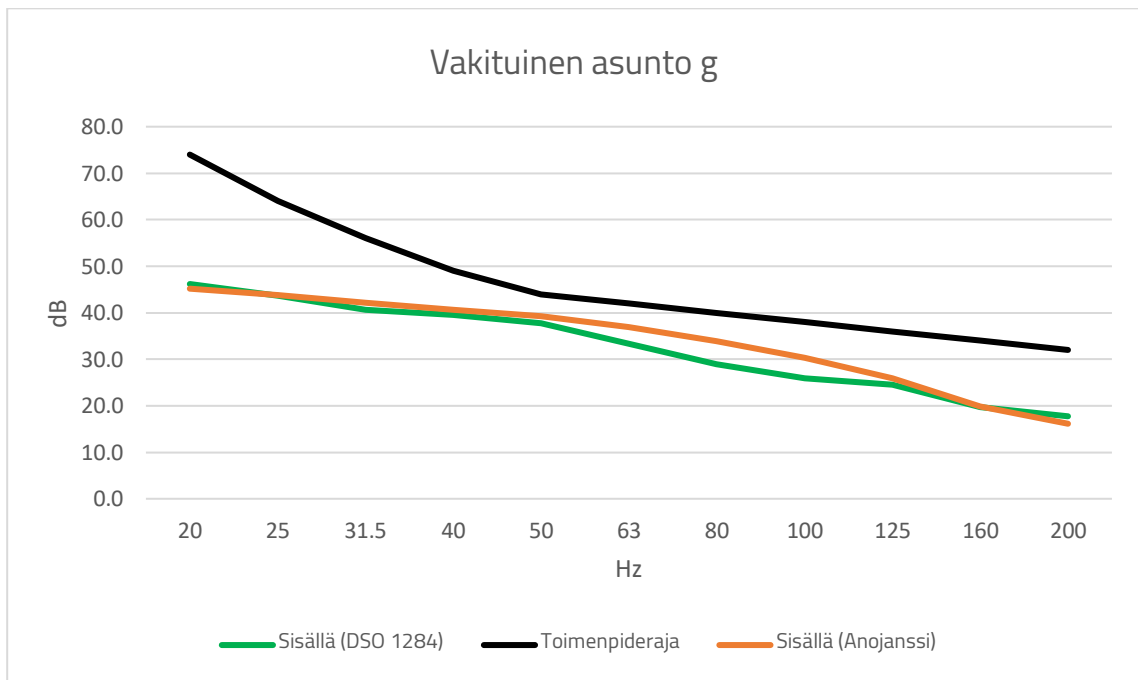
Taulukko 13. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen Anojanssi-projektin mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

| Taajuus<br>(Hz) | Melutaso kohteissa (dB) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | a                       | b    | c    | d    | e    | f    | g    | h    | i    | j    | k    | l    |
| 20              | 46.1                    | 45.8 | 44.7 | 43.1 | 42.2 | 43.6 | 45.2 | 44.5 | 45.2 | 43.0 | 45.1 | 44.8 |
| 25              | 44.8                    | 44.4 | 43.3 | 41.7 | 40.8 | 42.3 | 43.8 | 43.1 | 43.8 | 41.6 | 43.7 | 43.4 |
| 31,5            | 43.1                    | 42.8 | 41.7 | 40.1 | 39.1 | 40.6 | 42.2 | 41.5 | 42.2 | 40.0 | 42.1 | 41.8 |
| 40              | 41.6                    | 41.2 | 40.1 | 38.5 | 37.5 | 39.0 | 40.6 | 39.9 | 40.6 | 38.4 | 40.5 | 40.2 |
| 50              | 40.2                    | 39.9 | 38.7 | 37.1 | 36.1 | 37.7 | 39.2 | 38.6 | 39.2 | 37.0 | 39.2 | 38.8 |
| 63              | 37.9                    | 37.6 | 36.4 | 34.8 | 33.8 | 35.3 | 36.9 | 36.2 | 36.9 | 34.7 | 36.8 | 36.5 |
| 80              | 34.8                    | 34.5 | 33.3 | 31.7 | 30.7 | 32.2 | 33.9 | 33.2 | 33.9 | 31.6 | 33.8 | 33.4 |
| 100             | 31.3                    | 31.0 | 29.8 | 28.0 | 27.0 | 28.6 | 30.3 | 29.6 | 30.3 | 27.9 | 30.2 | 29.8 |
| 125             | 27.0                    | 26.7 | 25.4 | 23.7 | 22.5 | 24.2 | 25.9 | 25.2 | 26.0 | 23.5 | 25.9 | 25.5 |
| 160             | 21.0                    | 20.7 | 19.3 | 17.5 | 16.2 | 17.9 | 19.8 | 19.1 | 19.9 | 17.3 | 19.8 | 19.4 |
| 200             | 17.4                    | 17.1 | 15.7 | 13.7 | 12.3 | 14.0 | 16.1 | 15.3 | 16.3 | 13.4 | 16.1 | 15.7 |





Kuva 5. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa a.



Kuva 6. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituuisessa asunnossa g.

## LIITE 4: SIIJOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevassa taulukossa

*Taulukko 14. Hirvasjärven voimaloiden sijaintitiedot, VE1 (26 voimalaa).*

| Voimala | Itäinen<br>(ETRS-TM35-FIN) | Pohjoinen<br>(ETRS-TM35-FIN) | Tuulivoimalatyyppi                        |
|---------|----------------------------|------------------------------|---|
| 1       | 390809                     | 7449027                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 2       | 390224                     | 7448017                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 3       | 390863                     | 7447597                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 4       | 390971                     | 7448385                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 5       | 391511                     | 7448893                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 6       | 392021                     | 7448517                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 7       | 391308                     | 7447127                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 8       | 391920                     | 7447383                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 9       | 391498                     | 7448010                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 10      | 392378                     | 7447995                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 11      | 392429                     | 7447080                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 12      | 392577                     | 7446526                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 13      | 393863                     | 7447402                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 14      | 393650                     | 7448172                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 15      | 394300                     | 7448328                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 16      | 394554                     | 7447777                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 17      | 394007                     | 7446631                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 18      | 394550                     | 7447013                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 19      | 393605                     | 7445352                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 20      | 394533                     | 7446224                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 21      | 394624                     | 7445535                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 22      | 395836                     | 7445321                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 23      | 396328                     | 7444851                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 24      | 396702                     | 7444254                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 25      | 397278                     | 7443900                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 26      | 397073                     | 7443115                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |

*Taulukko 15. Hirvasjärven voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (21 voimalaa).*

| Voimala | Itäinen<br>(ETRS-TM35-FIN) | Pohjoinen<br>(ETRS-TM35-FIN) | Tuulivoimalatyyppi                        |
|---------|----------------------------|------------------------------|---|
| 1       | 390809                     | 7449027                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 2       | 390224                     | 7448017                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 3       | 390863                     | 7447597                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 4       | 390971                     | 7448385                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 5       | 391511                     | 7448893                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 6       | 392021                     | 7448517                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 7       | 391308                     | 7447127                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 8       | 391920                     | 7447383                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 9       | 391498                     | 7448010                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 10      | 392577                     | 7446526                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 11      | 393863                     | 7447402                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 12      | 393650                     | 7448172                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 13      | 394300                     | 7448328                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 14      | 394554                     | 7447777                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 15      | 394007                     | 7446631                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 16      | 394550                     | 7447013                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 17      | 394533                     | 7446224                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 18      | 394624                     | 7445535                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 19      | 395836                     | 7445321                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 20      | 396328                     | 7444851                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |
| 21      | 396702                     | 7444254                      | Vestas V172 7.2 MW 200 HH, 106.9 +3 dB(A) |