



ETHA WIND



## MELUSELVITYS

Tevaniemen Tuulivoimapuisto

10.10.2023

## SISÄLLYSLUETTELO

1	YHTEENVETO .....	3
2	TAUSTA .....	4
3	MELU.....	4
3.1	Yleistä .....	4
3.2	Melun muodostuminen .....	5
4	MELUN OHJEARVOT .....	6
4.1	Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista .....	6
4.2	Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat .....	6
5	LÄHTÖTIEDOT JA MENETELMÄT .....	7
5.1	Lähtötiedot.....	7
5.2	Menetelmät.....	8
6	ARVIOIDUT MELUVAIKUTUKSET .....	10
6.1	Nykytilanne .....	10
6.2	Rakentamisen aikaiset vaikutukset .....	10
6.3	Toiminnan aikaiset vaikutukset.....	11
6.4	Pienitaajuinen melu .....	12
6.5	Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset.....	12
6.6	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät .....	13
7	HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA.....	13
8	LÄHTEET .....	14
9	MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, TEVANIEMI.....	15
	Liite 1: Melumallinnuksen tulokset.....	17
	Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta, Tevaniemi (painottamattomat melutasot) .....	18
	Liite 3: Sijoitussuunnitelmat.....	20

## VERSIOHISTORIA

Versio	Tekijä, Päivämäärä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Arina Makarova 2022-01-11	Christian Granlund 2022-01-11	Christian Granlund 2022-01-11	Tevaniemen tuulivoimapuiston meluselvitys.
Ver2	Arina Makarova 2023-02-16	Christian Granlund 2023-02-16	Christian Granlund 2023-02-16	Tevaniemen tuulivoimapuiston meluselvitys (päivitetty sijoitussuunnitelma).
Ver3	Arina Makarova 2023-10-10	Christian Granlund 2023-10-10	Christian Granlund 2023-10-10	Tevaniemen tuulivoimapuiston meluselvitys (päivitetty sijoitussuunnitelma), rakennuslupa.

# 1 YHTEENVETO

## **Tehtävä:**

Meluselvitys Tevaniemen tuulivoimapuiston vaikutusalueella.

Meluselvitys on laadittu rakennuslupavaihetta varten. Voimaloiden sijoitussuunnitelmaan ei ole tullut muutoksia kaavaehdotuksen jälkeen, lukuun ottamatta voimalaa numero 4 (TEV.1041), joka siirrettiin noin 90 metriä luoteeseen. Siirto tehtiin tv-alueen sisällä.

## **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 Tevaniemen tuulivoimapuistolle Ikaalisten kunnan alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä 9 tuulivoimalasta. Melumallinnuksessa on käytetty N175 6.8 MW-voimalan lähtötietoja. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 192,5 metriä ja äänitehotaso 106,9 dB(A) + 2 dB(A) epävarmuusmarginaali. Mallinnuksessa käytettiin Nordexin toukokuussa 2023 päivittämiä äänitietoja.

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

## 3 MELU

### 3.1 YLEISTÄ

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

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

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

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

### 3.2 MELUN MUODOSTUMINEN

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

Lapojen aiheuttama aerodynaaminen melu johtuu pyörimisestä aiheutuvasta jatkuvasta huminasta sekä jaksollisesta huminasta. Kovalla tuulella äänet ovat voimakkaimmillaan etenkin, kun tuuli puhaltaa voimalan suunnasta. Lämpötila ja ilmankosteus vaikuttavat melun voimakkuuteen. Oleellimmat 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 äänieristyksen 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 takuarvoja. Äänitehotasot on ilmoitettu 1/3 oktaavikaistoittain. Nordexin käyttämät melupäästöarvot eivät ole suoraan verrattavissa IEC TS 61400-14-standardiin, ja epävarmuutta ei ole erikseen ilmoitettu. Tästä johtuen lähtömelutasoon on mallinnuksessa lisätty 2,0 dB:n varmuusmarginaali ympäristöministeriön ohjeen mukaan (Ympäristöministeriö, 2016). Lisätyllä marginaalilla



varmistetaan, että mallinnustulokset ovat riittävän konservatiiviset suhteessa ympäristöministeriön ohjeisiin.

Mallinnuksessa käytetty voimalatyyppe on mainittu alla.

*Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot.*

Hankealue	Voimalat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (Lwa)	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Tevaniemi	N175 6.8 MW	192,5	106,9+2,0	Käytössä

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

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

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

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

## 5.2 MENETELMÄT

Melumallinnus on suoritettu WindPRO ohjelmiston DECIBEL-moduulia käyttäen. WindPRO on tanskalaisen EMD International A/S:n kehittämä tuulivoiman mallinnusohjelmisto. Ohjelmistolla

mallinnetaan ja visualisoidaan äänen eteneminen ja vaimeneminen, mutta sitä käytetään myös muiden vaikutusten mallintamiseen sekä tuuliresurssien laskemiseen.

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

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

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

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

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

missä

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

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

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

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

- $A_{atm}$  on ilmakehän tuottama vaimennus lämpötilassa 15 C° ja 70 % suhteellisessa kosteudessa [dB/km]
- $d_2$  on tuulivoimalan navan etäisyys altistuvasta kohteesta [km]

(Ympäristöministeriö 2014).

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

Äänieristys,  $DL\sigma$ , on esitetty taulukossa 6.

*Taulukko 6. Äänieristyskertoimet.*

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

## 6 ARVIOIDUT MELUVAIKUTUKSET

### 6.1 NYKYTILANNE

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

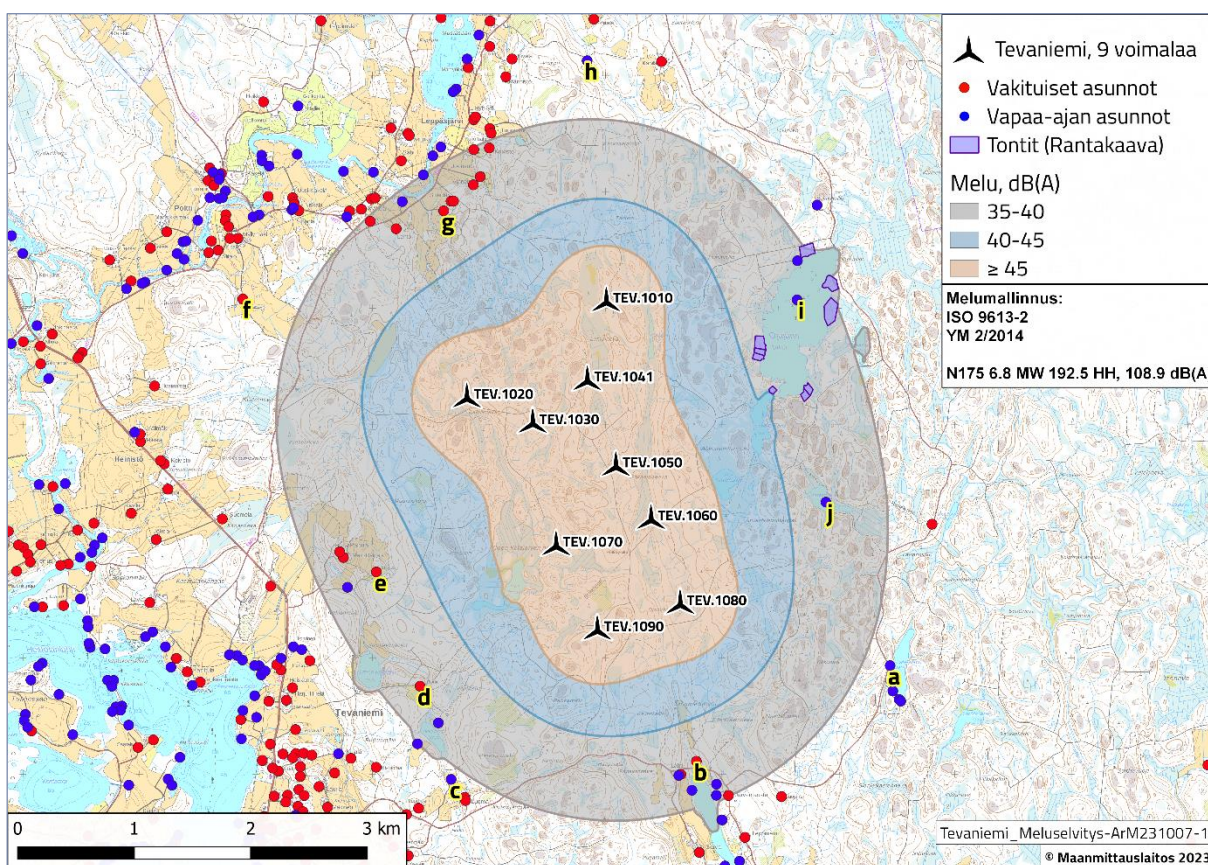
### 6.2 RAKENTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

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 Tevaniemen tuulivoimaloille käytettiin N175 6,8 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 108,9 dB(A) ja napakorkeus 192,5 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 9 voimalan sijoitussuunnitelmaa. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 3.



Kuva 1. Tevaniemen tuulivoimapuiston melumallinnus, N175 6,8 MW 192,5HH 108,9 dB(A). Kuvassa 10 havainnointipistettä on merkitty kirjaimilla.

Melumallinnuksien mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dBA. Alueen läheisyydestä on valittu 10 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 39 dB(A) eli selvästi alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkeimmat äänitasot lähialueella sijaitsevien

havaintopisteiden kohdalla ovat 37,6 dB(A) ja 38,9 dB(A) (vakituinen asunto e/ vapaa-ajan asunto i ja vapaa-ajan asunto j).

Rantakaavassa vapaa-ajan asunnoille osoitetuilla rakentamattomilla tonteilla (Rantakaavalla muodostetut tontit) ohjearvo 40 dB(A) ei myöskään ylity, vaan äänitaso pysyy tasolla 35,2–39,6 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 Tevaniemen 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

Melumallinnuksessa on käytetty ympäristöministeriön ohjeistuksen ja siellä mainittujen standardien mukaisia menetelmiä ja tulokset on raportoitu ohjeistuksen mukaisesti. Mallinnusmenetelmiin sisältyy aina pieni epävarmuus, jota on pienennetty mm. asiantuntijoiden yhteisesti päättämällä mallinnuksen lähtötiedoilla, jotka ympäristöministeriö on julkaissut.

## 7 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA

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

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

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

## 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.  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata-lisenssi-cc40>

Nordex (2023). Third octave sound power levels Nordex N175/6.X. Doc.: 9003492. Rev.02.  
 F008\_278\_A17\_EN. Date: 27.07.2023

Sosiaali- ja Terveysministeriö (2015). Asumisterveysasetus. Helsinki. Saatavilla:  
<http://www.stm.fi/tiedotteet/tiedote/-/view/1907834>

Suomen ympäristökeskus (2019). OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille.  
 Saatavilla: [http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/lapio\\_flex.html#](http://paikkatieto.ymparisto.fi/lapio/lapio_flex.html#)

Valtioneuvosto (2015). Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.  
 Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>

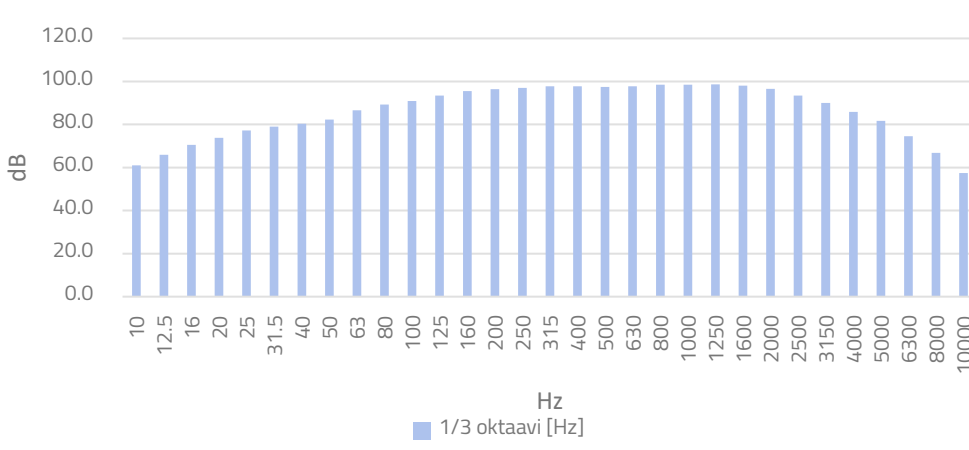
Ympäristöministeriö (2014). Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Helsinki. Saatavilla:  
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42937>

Ympäristöministeriö (2016). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Saatavilla:  
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79057>

Ympäristöministeriö, (2016). Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. PDF-document.

Ympäristöministeriö (2018). Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Saatavilla:  
[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E\\_DA43\\_4DCA\\_9CEE\\_47DBB9EFCB08-138568.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf)

## 9 MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, TEVANIEMI

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT				*tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä																																																																	
Mallinnusraportti numero/tunniste: ArM231007-1		Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>10.10.2023</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:		Tyyppi: : <b>N175-6.8 MW</b>		Sarjanumero/t:																																																																	
Nimellisteho: <b>6.8 MW</b>	Napakorkeus: <b>192,5 m</b>	Roottorin halkaisija: <b>175 m</b>		Tornin tyyppi: <b>Putkitorni</b>																																																																	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun																																																																					
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä																																																																	
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB		dB																																																																
<b>Ei</b>	<b>Ei tiedossa</b>	<b>Ei</b>	<b>Ei tiedossa</b>		dB																																																																
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT																																																																					
Melupäästötiedot																																																																					
N175 6.8 MW 192,5 m HH (Tuulivoimalavalmistajan ilmoittama takuuarvo: 106,9 dB(A) + 2 dB(A))																																																																					
<p style="text-align: center;">Nordex N175, 192,5 m HH 108,9 dB(A)</p>  <table border="1"> <caption>Sound Pressure Level (dB) vs Frequency (Hz) for Nordex N175, 192,5 m HH</caption> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Sound Pressure Level (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>60.0</td></tr> <tr><td>12.5</td><td>65.0</td></tr> <tr><td>16</td><td>70.0</td></tr> <tr><td>20</td><td>75.0</td></tr> <tr><td>25</td><td>78.0</td></tr> <tr><td>31.5</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>40</td><td>82.0</td></tr> <tr><td>50</td><td>85.0</td></tr> <tr><td>63</td><td>88.0</td></tr> <tr><td>80</td><td>90.0</td></tr> <tr><td>100</td><td>92.0</td></tr> <tr><td>125</td><td>108.9</td></tr> <tr><td>160</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>200</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>250</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>315</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>400</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>500</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>630</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>800</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>1000</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>1250</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>95.0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>90.0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>88.0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>85.0</td></tr> <tr><td>4000</td><td>82.0</td></tr> <tr><td>5000</td><td>80.0</td></tr> <tr><td>6300</td><td>75.0</td></tr> <tr><td>8000</td><td>70.0</td></tr> <tr><td>10000</td><td>65.0</td></tr> </tbody> </table>						Frequency (Hz)	Sound Pressure Level (dB)	10	60.0	12.5	65.0	16	70.0	20	75.0	25	78.0	31.5	80.0	40	82.0	50	85.0	63	88.0	80	90.0	100	92.0	125	108.9	160	95.0	200	95.0	250	95.0	315	95.0	400	95.0	500	95.0	630	95.0	800	95.0	1000	95.0	1250	95.0	1600	95.0	2000	90.0	2500	88.0	3150	85.0	4000	82.0	5000	80.0	6300	75.0	8000	70.0	10000	65.0
Frequency (Hz)	Sound Pressure Level (dB)																																																																				
10	60.0																																																																				
12.5	65.0																																																																				
16	70.0																																																																				
20	75.0																																																																				
25	78.0																																																																				
31.5	80.0																																																																				
40	82.0																																																																				
50	85.0																																																																				
63	88.0																																																																				
80	90.0																																																																				
100	92.0																																																																				
125	108.9																																																																				
160	95.0																																																																				
200	95.0																																																																				
250	95.0																																																																				
315	95.0																																																																				
400	95.0																																																																				
500	95.0																																																																				
630	95.0																																																																				
800	95.0																																																																				
1000	95.0																																																																				
1250	95.0																																																																				
1600	95.0																																																																				
2000	90.0																																																																				
2500	88.0																																																																				
3150	85.0																																																																				
4000	82.0																																																																				
5000	80.0																																																																				
6300	75.0																																																																				
8000	70.0																																																																				
10000	65.0																																																																				



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]	
<b>4 m</b>		Muu, mikä ja miksi:				<b>20 m * 20 m</b>	
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
<b>70 %</b>		Muu, mikä ja miksi:		<b>15 C°</b>		Muu, mikä ja miksi:	
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>	
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen 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. Tevaniemen mallinnuksen meluarvot valituissa kohteissa.*

Havainnointi piste	Asunnon luokka	Itäinen Koord. (ETRS-TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS-TM35FIN)	Ohjearvo [dB(A)]	Melu [dB(A)]	Ohjearvojen ylitys
a	Vapaa-ajan asunto	297445	6864932	40	33,8	Ei
b	Vakituinen asunto	295781	6864110	40	37,3	Ei
c	Vapaa-ajan asunto	293676	6863956	40	34,4	Ei
d	Vakituinen asunto	293409	6864755	40	36,6	Ei
e	Vakituinen asunto	293034	6865737	40	37,6	Ei
f	Vakituinen asunto	291888	6868080	40	32,6	Ei
g	Vakituinen asunto	293612	6868837	40	37,0	Ei
h	Vapaa-ajan asunto	294843	6870126	40	32,4	Ei
i	Vapaa-ajan asunto	296645	6868073	40	37,6	Ei
j	Vapaa-ajan asunto	296893	6866336	40	38,9	Ei

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

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

*Taulukko 8. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.*

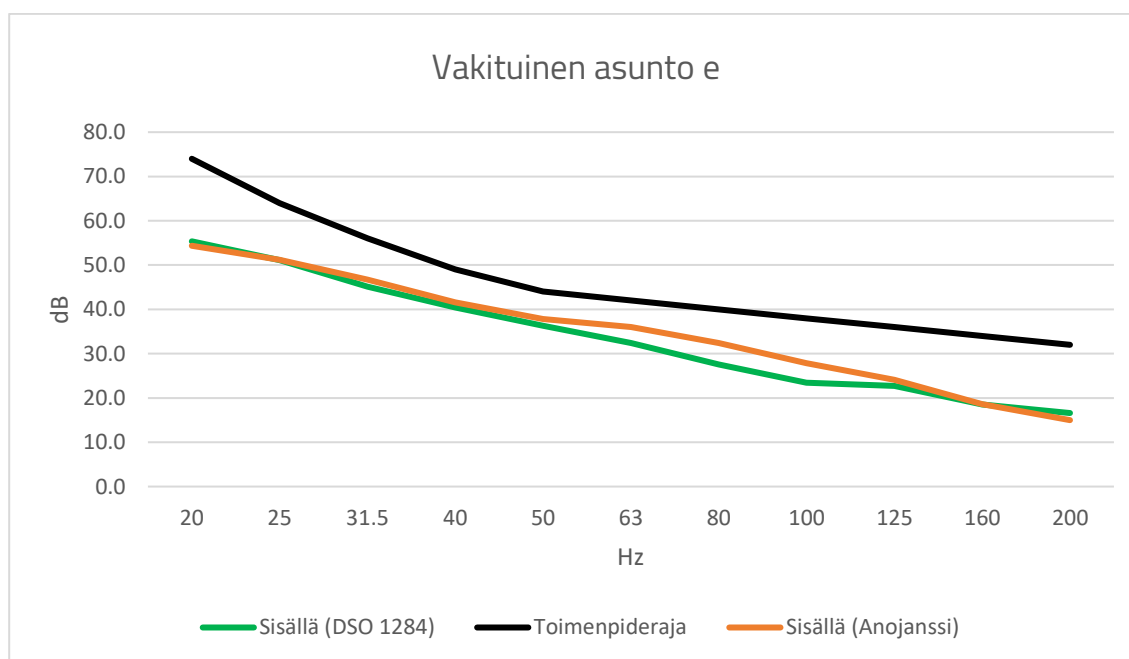
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
20	59.2	61.5	59.6	61.2	62.0	58.4	61.4	58.2	61.0	62.1
25	56.7	59.1	57.2	58.7	59.5	55.9	58.9	55.7	58.6	59.6
31,5	53.1	55.4	53.6	55.1	55.9	52.3	55.3	52.1	55.0	56.0
40	49.0	51.4	49.5	51.1	51.9	48.2	51.3	48.1	50.9	52.0
50	46.5	48.9	47.0	48.5	49.3	45.7	48.7	45.5	48.4	49.4
63	46.2	48.6	46.7	48.2	49.0	45.4	48.4	45.2	48.1	49.1
80	44.3	46.8	44.8	46.4	47.2	43.5	46.6	43.3	46.3	47.3
100	41.7	44.2	42.2	43.8	44.6	40.8	44.0	40.6	43.7	44.8
125	39.8	42.4	40.3	42.0	42.9	38.9	42.3	38.7	41.9	43.0
160	36.5	39.3	37.1	38.8	39.7	35.6	39.1	35.4	38.6	39.8
200	34.4	37.4	35.0	36.9	37.8	33.4	37.2	33.2	36.7	37.9

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

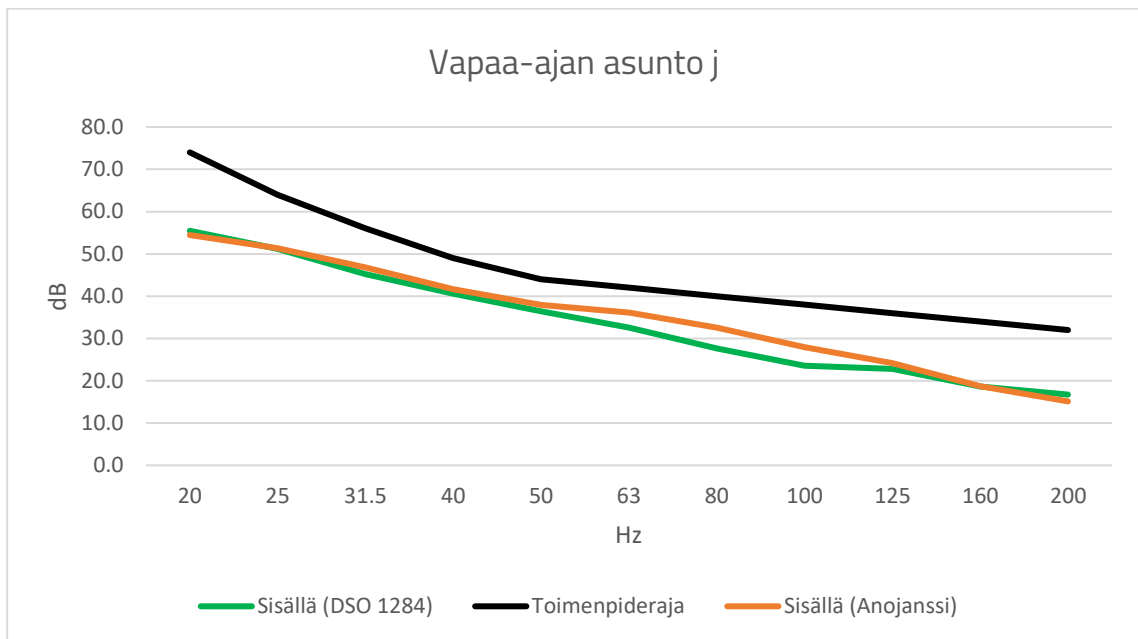
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)									
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
20	52.6	54.9	53.0	54.6	55.4	51.8	54.8	51.6	54.4	55.5
25	48.3	50.7	48.8	50.3	51.1	47.5	50.5	47.3	50.2	51.2
31,5	42.3	44.6	42.8	44.3	45.1	41.5	44.5	41.3	44.2	45.2
40	37.6	40.0	38.1	39.7	40.5	36.8	39.9	36.7	39.5	40.6
50	33.5	35.9	34.0	35.5	36.3	32.7	35.7	32.5	35.4	36.4
63	29.6	32.0	30.1	31.6	32.4	28.8	31.8	28.6	31.5	32.5
80	24.6	27.1	25.1	26.7	27.5	23.8	26.9	23.6	26.6	27.6
100	20.5	23.0	21.0	22.6	23.4	19.6	22.8	19.4	22.5	23.6
125	19.6	22.2	20.1	21.8	22.7	18.7	22.1	18.5	21.7	22.8
160	15.3	18.1	15.9	17.6	18.5	14.4	17.9	14.2	17.4	18.6
200	13.2	16.2	13.8	15.7	16.6	12.2	16.0	12.0	15.5	16.7

*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
20	51.6	53.9	52.0	53.6	54.4	50.8	53.8	50.6	53.4	54.5
25	48.4	50.8	48.9	50.4	51.2	47.6	50.6	47.4	50.3	51.3
31,5	43.9	46.2	44.4	45.9	46.7	43.1	46.1	42.9	45.8	46.8
40	38.7	41.1	39.2	40.8	41.6	37.9	41.0	37.8	40.6	41.7
50	35.0	37.4	35.5	37.0	37.8	34.2	37.2	34.0	36.9	37.9
63	33.2	35.6	33.7	35.2	36.0	32.4	35.4	32.2	35.1	36.1
80	29.5	32.0	30.0	31.6	32.4	28.7	31.8	28.5	31.5	32.5
100	24.9	27.4	25.4	27.0	27.8	24.0	27.2	23.8	26.9	28.0
125	21.0	23.6	21.5	23.2	24.1	20.1	23.5	19.9	23.1	24.2
160	15.4	18.2	16.0	17.7	18.6	14.5	18.0	14.3	17.5	18.7
200	11.6	14.6	12.2	14.1	15.0	10.6	14.4	10.4	13.9	15.1



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



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

### LIITE 3: SIOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 11. Tevaniemen voimaloiden sijaintitiedot, 9 voimalaa.

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
TEV.1010	295007	6868082	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1020	293810	6867256	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1030	294375	6867039	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1041	294844	6867405	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1050	295089	6866669	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1060	295391	6866213	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1070	294576	6865987	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1080	295641	6865485	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)
TEV.1090	294930	6865262	NORDEX N175-6.8 MW 192,5 m HH, 106,9+2dB(A)