



ETHA WIND



MELUSELVITYS

Kirvesvuoren Tuulivoimapuisto

1.3.2024

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	9
5.1	Lähtötiedot.....	9
5.2	Menetelmät.....	10
6	ARVIOIDUT MELUVAIKUTUKSET	12
6.1	Nykytilanne	12
6.2	Rakentamisen aikaiset vaikutukset	12
6.3	Toiminnan aikaiset vaikutukset, VE1	12
6.4	Toiminnan aikaiset vaikutukset, VE2.....	14
6.5	Yhteisvaikutusten mallinnus, VE1	15
6.6	Yhteisvaikutusten mallinnus, VE2	16
6.7	Pienitaajuinen melu	17
6.8	Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset	17
6.9	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät	18
7	HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA.....	18
8	LÄHTEET	19
9	MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, KIRVESVUORI	21

Liite 1: Melumallinnuksen tulokset	24
Liite 2: Melumallinnuksen tulokset: yhteisvaikutukset	24
Liite 3: Pienitaajuisen melun laskenta (VE1).....	25
Liite 4: Pienitaajuisen melun laskenta (VE2).....	27
Liite 5: Pienitaajuisen melun laskenta, Yhteisvaikutukset (VE1)	30
Liite 6: Pienitaajuisen melun laskenta, Yhteisvaikutukset (VE2)	32
Liite 7: Sijoitussuunnitelmat.....	35

VERSIONHISTORIA

Versio, Päivämäärä	Tekijä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1, 2024-03-01	Arina Makarova	Christian Granlund	Christian Granlund	Kirvesvuoren tuulivoimapuiston meluselvitys.

1 YHTEENVETO

Tehtävä:

Meluselvitys Kirvesvuoren tuulivoimapuiston vaikutusalueella. Selvityksessä on otettu huomioon myös viereinen suunnitteluvaiheessa oleva tuulipuisto Kämpäkangas.

Työmenetelmät:

Meluselvitykseen on kerätty tietoa tuulivoimaloiden melun ominaispiirteistä, melun ohjearvoista, paikallisista olosuhteista sekä mallinnusmenetelmistä. Pääasiallisena laskentatyökaluna on käytetty windPRO Ver4.0 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 Kirvesvuoren tuulivoimapuistolle Kyyjärven ja Perhon kuntien alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä 13–20 tuulivoimalasta. Melumallinnuksessa on käytetty Nordex N163 7.0MW-voimalan lähtötietoja. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 metriä ja äänitehotaso 107,4 dB(A) + 2,0 dB(A) varmuusmarginaali. Mallinnuksessa käytettiin Nordexin lokakuussa 2023 päivittämiä äänitietoja.

Meluselvitys on tehty ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti (Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014 Tuulivoimaloiden melun mallintaminen) windPRO Ver4.0 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: 20 voimalaa.
- VE2: 13 voimalaa.

Naapuripuisto Kämpäkangas (12 voimalaa) on huomioitu yhteisvaikutusten mallinnoissa (kappale 6.5–6.6). Kämpäkankaan voimalatyyppi on SG 6.6-155 MW, jonka kokonaisäänitaso on 105,0 + 2,0 dB(A).

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 $L_{eq, 1h}$.

Sisämelen kokonaisäänitason mallintamiseksi ei ole annettu ohjeita eikä alalla ole yleisesti käytössä olevaa laskentamenetelmää. Asetuksen mukaisilla ulkomelun ohjearvoilla (40 dB(A)) pyritään kuitenkin varmistamaan myös sisämelen 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 takuuarvoja. 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 mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016).

Mallinnuksessa käytetty voimalatyyppi on mainittu alla.

Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot.

Hankealue	Voimalat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (Lwa)	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Kirvesvuori	N163 7,0 MW	200	107,4 +2,0 dB(A)	Käytössä
Kämpäkangas	SG 6,6-155	165	105,0 +2,0 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 13 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 ilmö aiheuttaa sen, että äänenvoimakkuuden merkittävät jaksottaiset vaihtelut lisäävät melun häiritsevyyttä. Amplitudimodulaatio on paikallisista olosuhteista ja voimalatyyppistä riippuva ilmö. 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

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

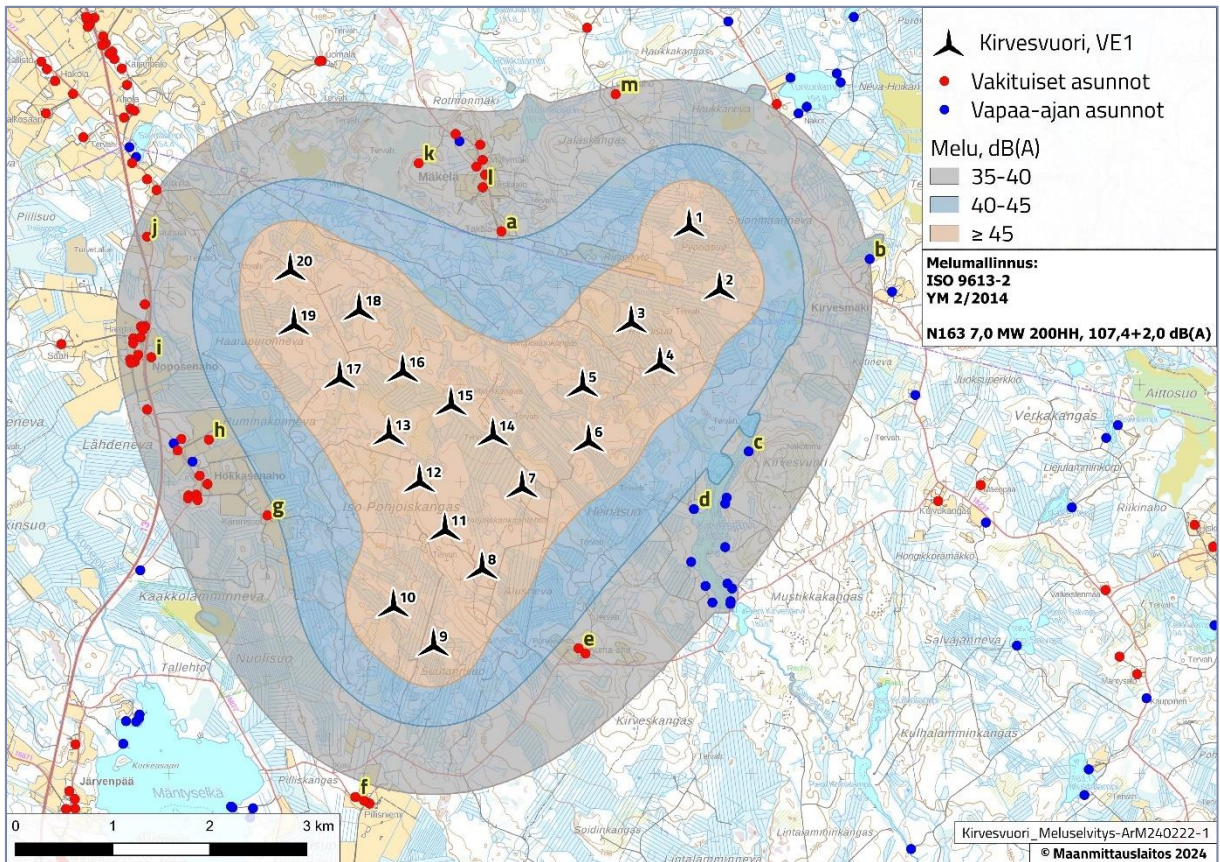
6.2 RAKENTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

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 Nordexin N163 7,0 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 107,4 +2,0 dB(A) ja napakorkeus 200 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 20 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE1). Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 7.



Kuva 1. Kirvesvuoren tuulivoimapuiston melumallinnus (VE1). Kolmetoista havainnointipistettä on merkitty kuvaan kirjaimilla.

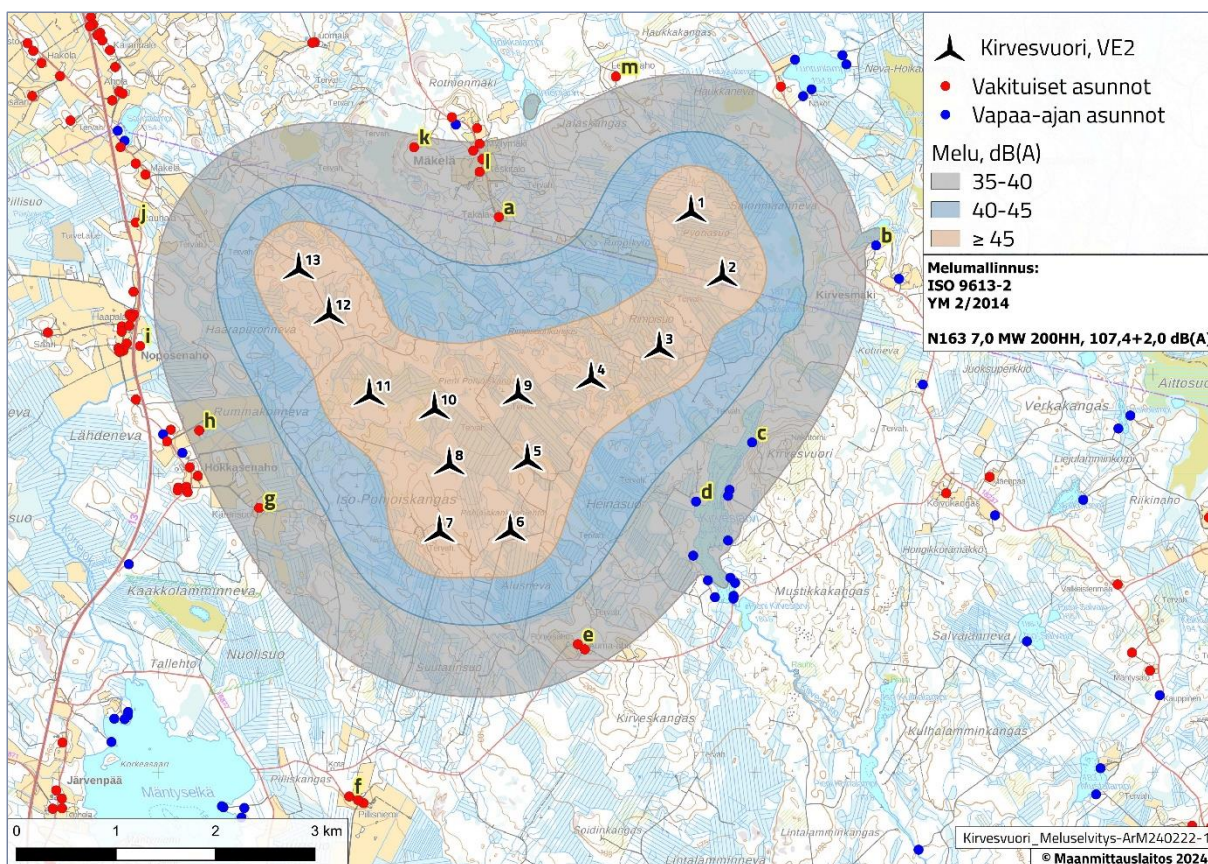
Melumallinnuksien mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dB(A). Alueen läheisyydestä on valittu 13 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 40 dB(A) eli alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkein äänitaso Kirvesvuoren alueella sijaitsevassa havaintopisteessä on 39,7 dB(A) (vakituinen asunto a), 39,5 dB(A) (vakituinen asunto g) ja 39,3 dB(A) (vapaa-ajan asunto c).

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 Nordexin N163 7,0 MW-tuulivoimalan äänitietoja. Tuulivoimalan kokonaisäänitaso on 107,4 +2,0 dB(A) ja napakorkeus 200 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 13 voimalan sijoitussuunnitelmaa (VE1). Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 7.



Kuva 2. Kirvesvuoren tuulivoimapaiston melumallinnus (VE2). Kolmetoista havainnointipistettä on merkitty kuvaan kirjaimilla.

Melumallinnuksien mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dB(A). Alueen läheisyydestä on valittu 13 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

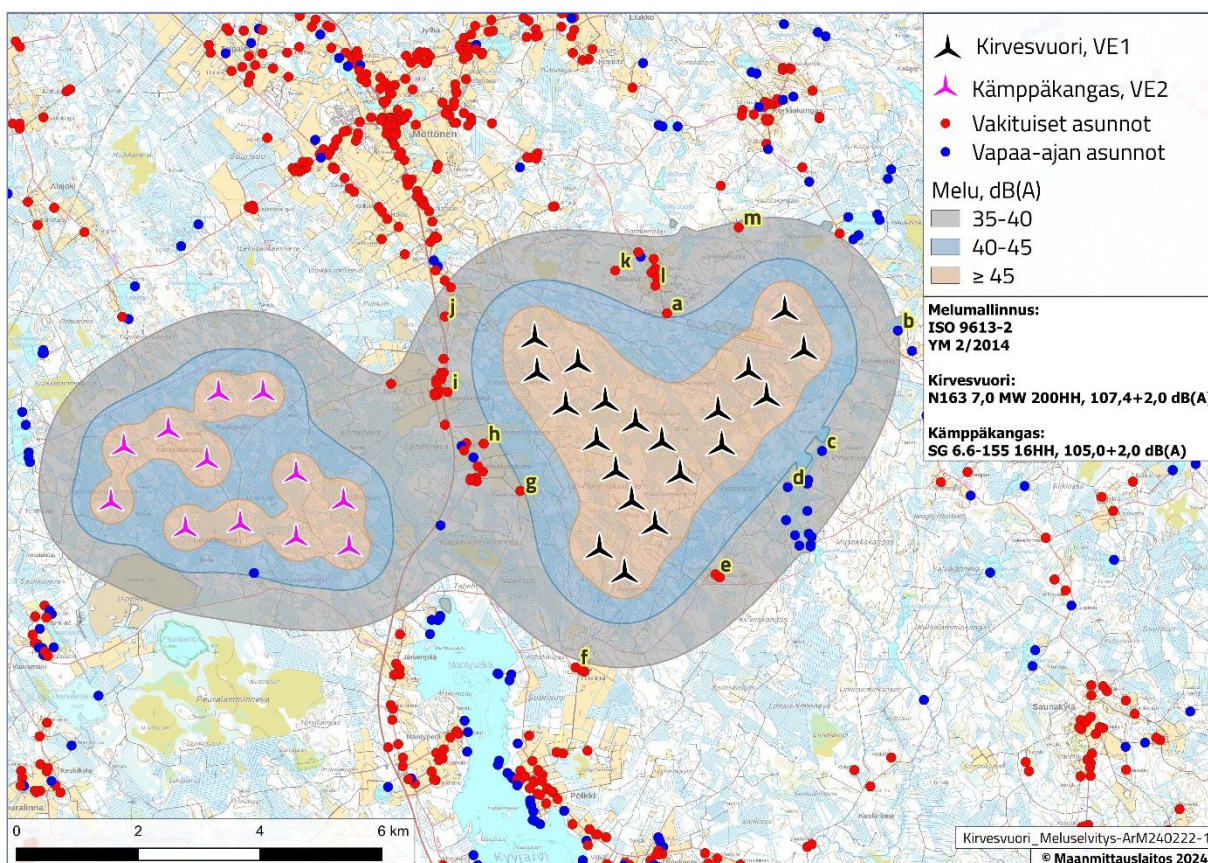
Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 40 dB(A) eli alle valtioneuvoston asetuksen mukaisen ohjearvon. Korkein äänitaso Kirvesvuoren alueella sijaitsevassa havaintopisteessä on 37,9 dB(A) (vakituinen asunto a) ja 38,0 dB(A) (vapaa-ajan asunto c).

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

6.5 YHTEISVAIKUTUSTEN MALLINNUKSEEN, VE1

Alla esitellään meluvaikutukset, kun naapuripuiston tuulivoimalat on myös otettu huomioon. Kirvesvuoren melumallinnuksissa on käytetty vaihtoehdon VE1 mukaisia voimalapaikkoja (20 voimalaa) ja voimalamallia Nordexin N163 7,0 MW, jonka kokonaisäänitaso on 107,4 +2 dB(A) ja napakorkeus 200 metriä. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 7.

Kämpäkankaan melumallinnuksessa on käytetty 12 voimalapaikkaa ja voimalamallia SG 6.6-155, jonka kokonaisäänitaso on 105,0 +2,0 dB(A) ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 3. Kirvesvuoren (VE1) ja naapuripuiston yhteisvaikutusten melumallinnus.

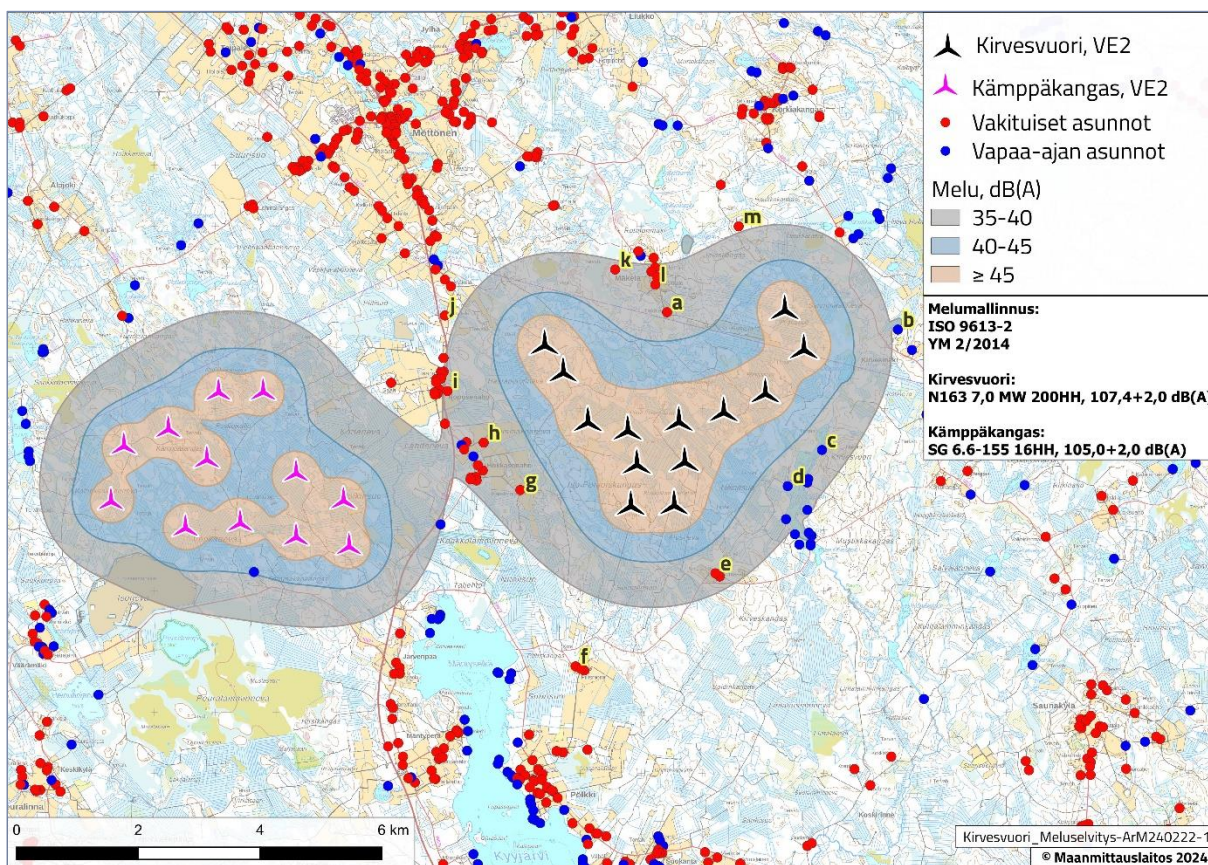
Yhteisvaikutusten mallinnuksen mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dB(A). Korkein äänitaso Kirvesvuoren alueella sijaitsevassa havaintopisteessä on 39,7 dB(A) (vakituinen asunto a), 39,8

dB(A) (vakituinen asunto g) ja 39,4 dB(A) (vapaa-ajan asunto c). Tulosten perusteella voidaan todeta, että hankkeiden yhteisvaikutukset tuulivoimamelun osalta ovat melko vähäiset. Alueen läheisyydestä on valittu 13 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 2.

6.6 YHTEISVAIKUTUSTEN MALLINNUS, VE2

Alla esitellään meluvaikutukset, kun naapuripuiston tuulivoimalat on myös otettu huomioon. Kirvesvuoren melumallinnuksissa on käytetty vaihtoehdon VE2 mukaisia voimalapaikkoja (13 voimalaa) ja voimalamallia Nordexin N163 7,0 MW, jonka kokonaisäänitaso on 107,4 +2 dB(A) ja napakorkeus 200 metriä. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 7.

Kämppekankaan melumallinnuksessa on käytetty 12 voimalapaikkaa ja voimalamallia SG 6.6-155, jonka kokonaisäänitaso on 105,0 +2,0 dB(A) ja napakorkeus 165 metriä.



Kuva 4. Kirvesvuoren (VE2) ja naapuripuiston yhteisvaikutusten melumallinnus.

Yhteisvaikutusten mallinnuksen mukaan alueella olevien vakituisten ja vapaa-ajan asuntojen kohdalla ei ylitetä valtioneuvoston asetuksen ohjearvoa 40 dB(A). Korkein äänitaso Kirvesvuoren

alueella sijaitsevassa havaintopisteessä on 37,9 dB(A) (vakituinen asunto a) ja 38,0 dB(A) (vapaa-ajan asunto c). Tulosten perusteella voidaan todeta, että hankkeiden yhteisvaikutukset tuulivoimamelun osalta ovat vähäiset. Alueen läheisyydestä on valittu 13 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 2.

6.7 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 sijaitsevissa asunnoissa toimenpiderajat alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Laskennan tulokset löytyvät liitteistä 3–6.

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.

6.8 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.

6.9 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.

Etha Wind (2022). *01_Noise_Checklist_ArM220707-1*. Internal work description.

FCG (2023). Kämpäkankaan tuulivoimahanke MELU- JA VARJOSTUSMALLINNUSRAPORTTI.

30.05.2023. Myrsky Energia Oy. Saatavilla:

<https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/Liite%204.%20Melu-%20ja%20varjostusmallinnusraportti.pdf>

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

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

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

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

Nordex (2023). *Third octave sound power levels*. F008_277_A17_EN Revision 08, 2023-10-04.

Date: 11-10-2023.

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

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

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

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

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

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

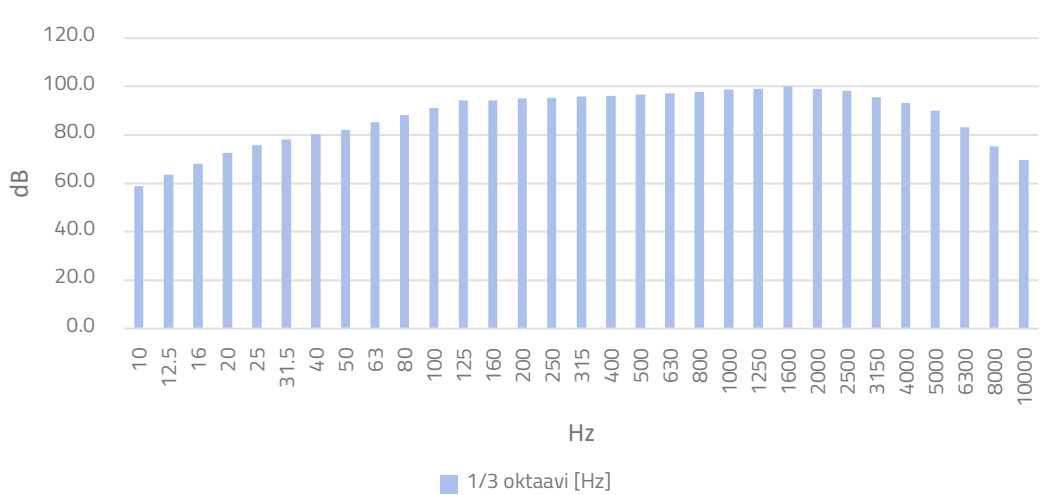
Ympäristöministeriö (2016). *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu*. Päivitys 2016. Saatavilla:

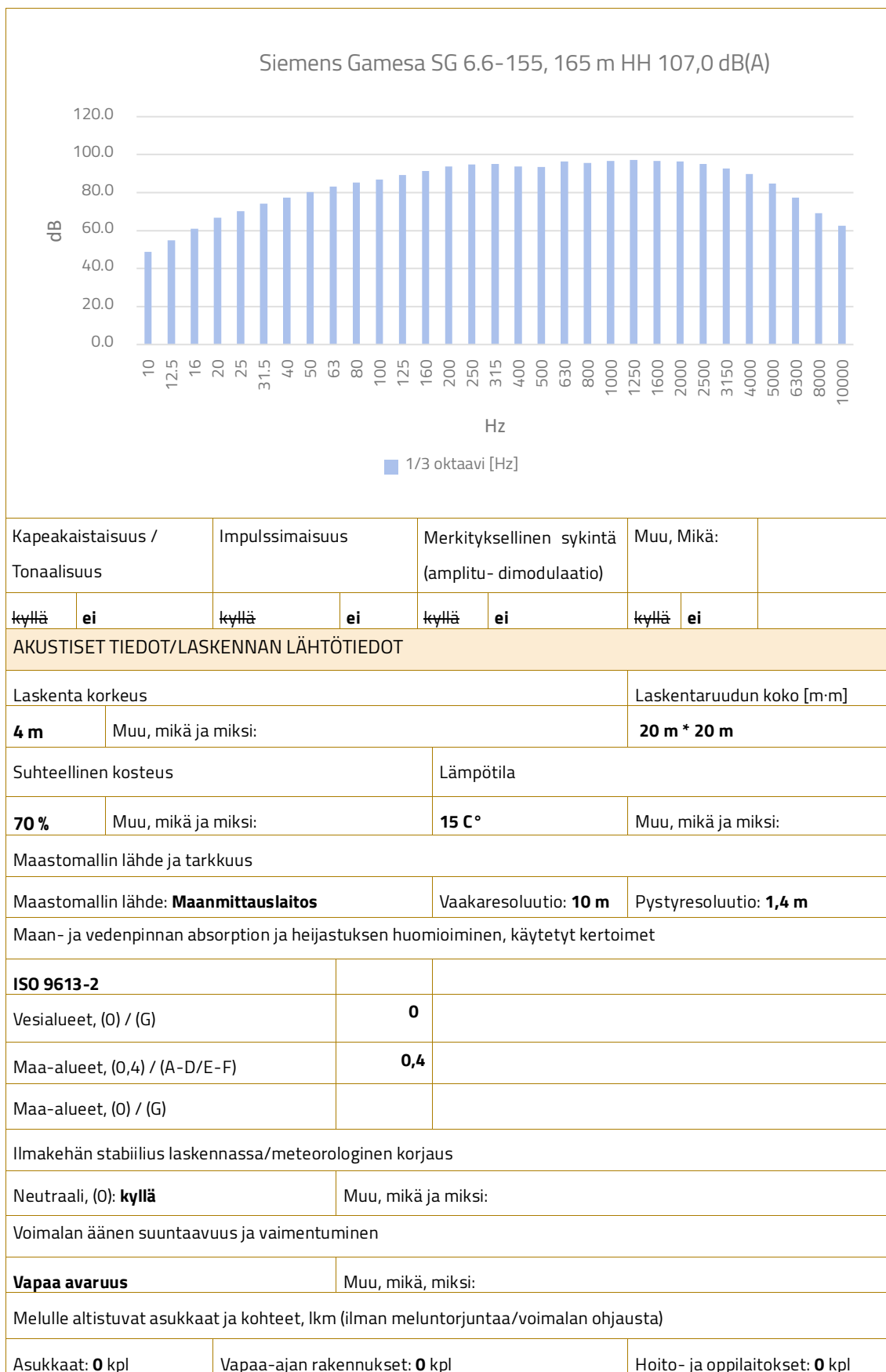
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79057>

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

Ympäristöministeriö (2018). *Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä*. Saatavilla:
<https://www.ymp.fi/download/noname/%7B2852D34E-DA43-4DCA-9CEE-47DBB9EFCB08%7D/138568>

9 MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, KIRVESVUORI

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT			
Mallinnusraportti numero/tunniste: ArM240222-1		Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 1.3.2024	
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: Etha Wind Oy, Vaasanpuistikko 14 B11, 65100 VAASA, puh. +358 2900 20440			
Vastuhenkilöt: Arina Makarova			
Laatija: Arina Makarova		Tarkastaja/hyväksyjä: Christian Granlund	
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT			
Mallinnusohjelma ja versio: windPRO Ver 4.0		Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)			
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex		Tyyppi:	Sarjanumero/t:
Nimellisteho: 7,0	Napakorkeus: 200 m	Roottorin halkaisija: 163 m	Tornin tyyppi: Putkitorni
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun			
Lapakulman säätö	Pyörimisnopeus	Muu, mikä	
Kyllä dB	Kyllä dB	dB	
Ei Ei tiedossa	Ei Ei tiedossa	dB	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT			
Melupäästötiedot Nordex N163 7,0 MW 200 HH 107,4 dB(A)+2,0 dB(A)			
<p>Nordex N163, 200 m HH 109,4 dB(A)</p> 			
Melupäästötiedot Siemens Gamesa SG 155-6.6 MW 165 HH 105,0 dB(A)+2,0 dB(A)			



Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)		
Asukkaat: 0 kpl	Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl	Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille		
Virkistysalueet: 0 kpl	Luonnonsuojelualueet: 0 kpl	

LIITE 1: MELUMALLINNUKSEN TULOKSET

Taulukko 7. Kirvesvuoren 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	Vakituinen asunto	379425	7004580	40	39,7	37,9	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	40	35,0	34,3	Ei
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	40	39,3	38,0	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	40	39,0	37,4	Ei
e	Vakituinen asunto	380220	7000288	40	38,8	36,7	Ei
f	Vakituinen asunto	377921	6998758	40	34,1	29,6	Ei
g	Vakituinen asunto	377015	7001657	40	39,5	36,6	Ei
h	Vakituinen asunto	376412	7002435	40	38,4	35,7	Ei
i	Vakituinen asunto	375818	7003284	40	36,8	34,0	Ei
j	Vakituinen asunto	375776	7004525	40	35,8	33,2	Ei
k	Vakituinen asunto	378573	7005281	40	37,5	35,6	Ei
l	Vakituinen asunto	379232	7005033	40	37,9	36,1	Ei
m	Vakituinen asunto	380602	7005991	40	35,4	34,4	Ei

LIITE 2: MELUMALLINNUKSEN TULOKSET: YHTEISVAIKUTUKSET

Taulukko 8. Kirvesvuoren ja naapuripuiston yhteisvaikutukset. 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	Vakituinen asunto	379425	7004580	40	39,7	37,9	Ei
b	Vapaa-ajan asunto	383218	7004295	40	35,1	34,3	Ei
c	Vapaa-ajan asunto	381971	7002315	40	39,4	38,0	Ei
d	Vapaa-ajan asunto	381408	7001721	40	39,0	37,4	Ei
e	Vakituinen asunto	380220	7000288	40	38,9	36,7	Ei
f	Vakituinen asunto	377921	6998758	40	34,4	30,4	Ei
g	Vakituinen asunto	377015	7001657	40	39,8	37,1	Ei
h	Vakituinen asunto	376412	7002435	40	38,9	36,4	Ei
i	Vakituinen asunto	375818	7003284	40	37,5	35,2	Ei
j	Vakituinen asunto	375776	7004525	40	36,3	34,1	Ei
k	Vakituinen asunto	378573	7005281	40	37,6	35,7	Ei
l	Vakituinen asunto	379232	7005033	40	38,0	36,2	Ei
m	Vakituinen asunto	380602	7005991	40	35,5	34,5	Ei

LIITE 3: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA (VE1)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoissa toimenpiderajat alittuvat, koska pienitaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat. Pienitaajuinen melu on laskettu Kirvesvuoren vaihtoehdolle VE1, jossa on 20 tuulivoimalaa.

Taulukko 9. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

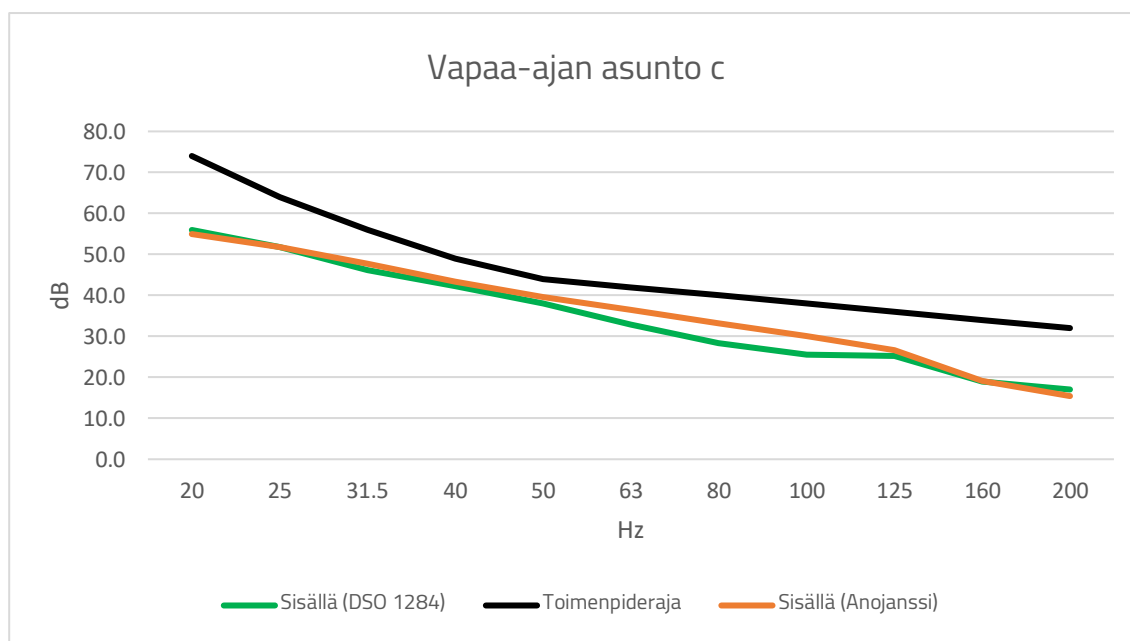
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	63,7	59,8	62,5	63,0	62,8	59,5	63,4	62,6	61,3	60,5	62,0	62,5	60,4
25	61,2	57,4	60,1	60,5	60,3	57,0	61,0	60,2	58,8	58,0	59,6	60,0	57,9
31,5	58,0	54,1	56,9	57,3	57,1	53,8	57,8	56,9	55,6	54,8	56,4	56,8	54,7
40	54,8	50,9	53,6	54,1	53,9	50,5	54,5	53,7	52,4	51,5	53,1	53,5	51,4
50	52,2	48,3	51,1	51,5	51,3	47,9	52,0	51,1	49,8	49,0	50,6	51,0	48,9
63	50,6	46,7	49,5	49,9	49,7	46,3	50,4	49,5	48,2	47,4	48,9	49,4	47,3
80	49,1	45,1	48,0	48,4	48,2	44,7	48,9	48,0	46,7	45,8	47,4	47,9	45,7
100	47,9	43,9	46,8	47,2	47,0	43,4	47,7	46,8	45,4	44,6	46,2	46,7	44,4
125	46,6	42,4	45,4	45,8	45,6	41,9	46,3	45,4	44,0	43,1	44,8	45,2	43,0
160	41,4	37,0	40,2	40,6	40,4	36,5	41,1	40,2	38,7	37,8	39,5	40,0	37,6
200	39,4	35,0	38,2	38,7	38,5	34,4	39,2	38,2	36,7	35,7	37,5	38,0	35,5

Taulukko 10. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

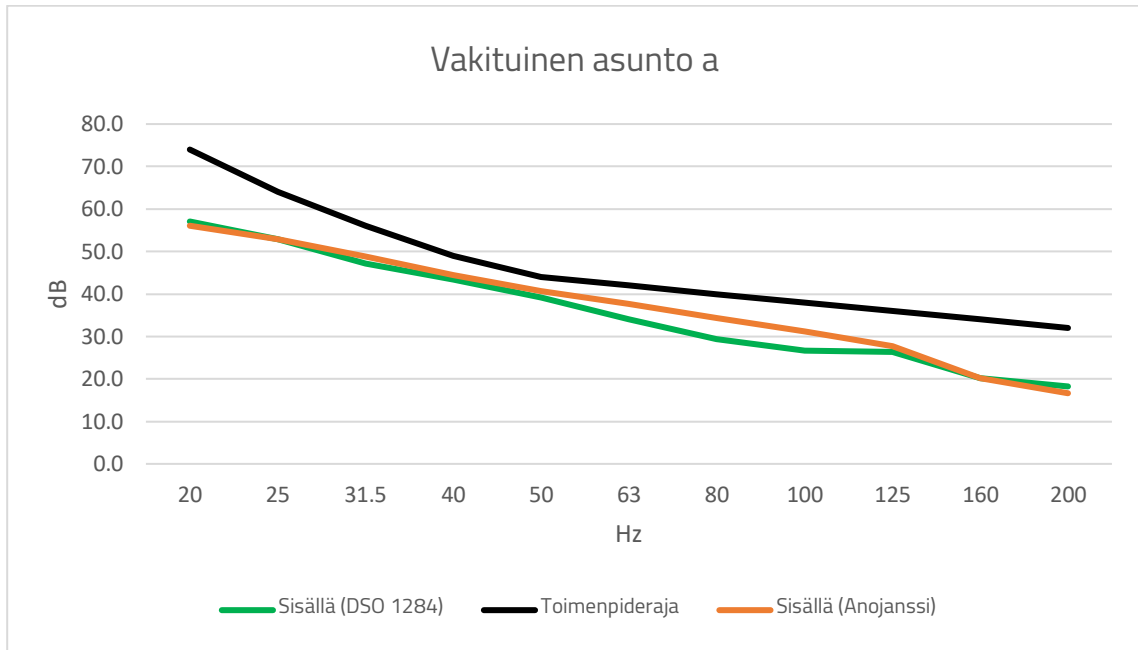
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	57,1	53,2	55,9	56,4	56,2	52,9	56,8	56,0	54,7	53,9	55,4	55,9	53,8
25	52,8	49,0	51,7	52,1	51,9	48,6	52,6	51,8	50,4	49,6	51,2	51,6	49,5
31,5	47,2	43,3	46,1	46,5	46,3	43,0	47,0	46,1	44,8	44,0	45,6	46,0	43,9
40	43,4	39,5	42,2	42,7	42,5	39,1	43,1	42,3	41,0	40,1	41,7	42,1	40,0
50	39,2	35,3	38,1	38,5	38,3	34,9	39,0	38,1	36,8	36,0	37,6	38,0	35,9
63	34,0	30,1	32,9	33,3	33,1	29,7	33,8	32,9	31,6	30,8	32,3	32,8	30,7
80	29,4	25,4	28,3	28,7	28,5	25,0	29,2	28,3	27,0	26,1	27,7	28,2	26,0
100	26,7	22,7	25,6	26,0	25,8	22,2	26,5	25,6	24,2	23,4	25,0	25,5	23,2
125	26,4	22,2	25,2	25,6	25,4	21,7	26,1	25,2	23,8	22,9	24,6	25,0	22,8
160	20,2	15,8	19,0	19,4	19,2	15,3	19,9	19,0	17,5	16,6	18,3	18,8	16,4
200	18,2	13,8	17,0	17,5	17,3	13,2	18,0	17,0	15,5	14,5	16,3	16,8	14,3

Taulukko 11. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen Anojanssi-projektin mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	56,1	52,2	54,9	55,4	55,2	51,9	55,8	55,0	53,7	52,9	54,4	54,9	52,8
25	52,9	49,1	51,8	52,2	52,0	48,7	52,7	51,9	50,5	49,7	51,3	51,7	49,6
31,5	48,8	44,9	47,7	48,1	47,9	44,6	48,6	47,7	46,4	45,6	47,2	47,6	45,5
40	44,5	40,6	43,3	43,8	43,6	40,2	44,2	43,4	42,1	41,2	42,8	43,2	41,1
50	40,7	36,8	39,6	40,0	39,8	36,4	40,5	39,6	38,3	37,5	39,1	39,5	37,4
63	37,6	33,7	36,5	36,9	36,7	33,3	37,4	36,5	35,2	34,4	35,9	36,4	34,3
80	34,3	30,3	33,2	33,6	33,4	29,9	34,1	33,2	31,9	31,0	32,6	33,1	30,9
100	31,1	27,1	30,0	30,4	30,2	26,6	30,9	30,0	28,6	27,8	29,4	29,9	27,6
125	27,8	23,6	26,6	27,0	26,8	23,1	27,5	26,6	25,2	24,3	26,0	26,4	24,2
160	20,3	15,9	19,1	19,5	19,3	15,4	20,0	19,1	17,6	16,7	18,4	18,9	16,5
200	16,6	12,2	15,4	15,9	15,7	11,6	16,4	15,4	13,9	12,9	14,7	15,2	12,7



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



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

LIITE 4: 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 Kirvesvuoren vaihtoehdolle VE2, jossa on 13 tuulivoimalaa.

Taulukko 12. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	61,9	58,8	61,2	61,4	60,7	56,2	60,9	60,1	58,9	58,2	60,2	60,7	59,1
25	59,5	56,3	58,7	59,0	58,3	53,7	58,4	57,7	56,4	55,7	57,7	58,3	56,6
31,5	56,3	53,1	55,5	55,8	55,1	50,5	55,2	54,4	53,2	52,5	54,5	55,0	53,4
40	53,0	49,8	52,2	52,5	51,8	47,2	51,9	51,2	49,9	49,2	51,2	51,8	50,2
50	50,5	47,3	49,7	50,0	49,3	44,6	49,4	48,6	47,4	46,6	48,7	49,2	47,6
63	48,9	45,7	48,1	48,4	47,7	42,9	47,8	47,0	45,7	45,0	47,1	47,6	46,0
80	47,4	44,1	46,6	46,9	46,2	41,3	46,3	45,5	44,2	43,5	45,6	46,1	44,4
100	46,2	42,9	45,4	45,7	44,9	40,0	45,1	44,3	42,9	42,2	44,3	44,9	43,2
125	44,8	41,4	44,0	44,3	43,6	38,4	43,7	42,9	41,5	40,7	42,9	43,5	41,7

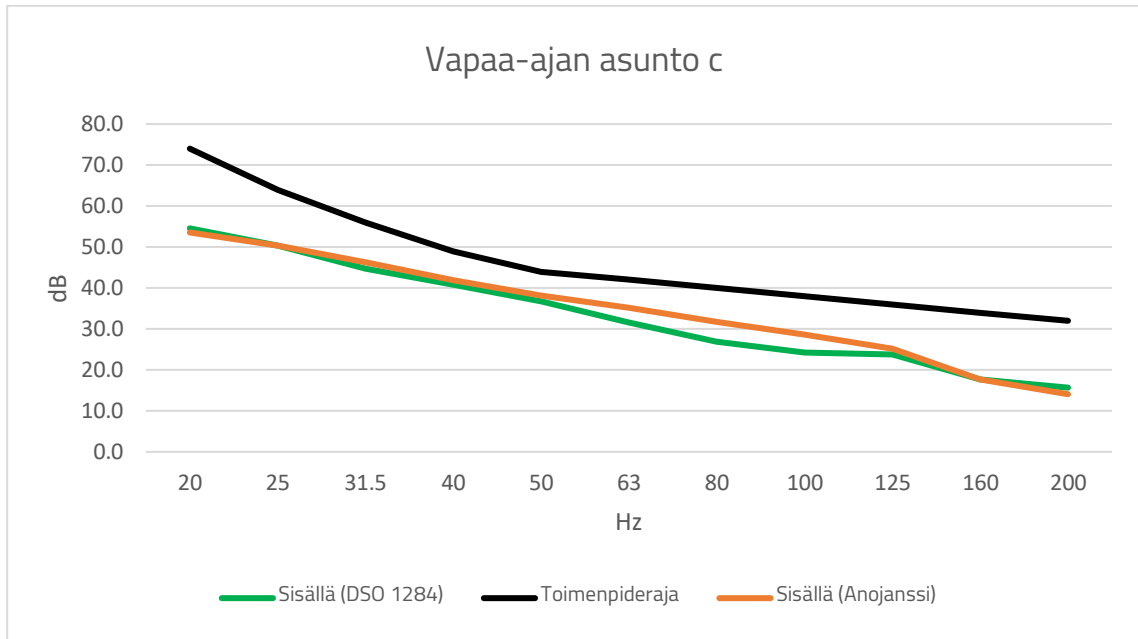
160	39,6	36,1	38,8	39,1	38,3	32,8	38,5	37,6	36,2	35,4	37,6	38,2	36,4
200	37,7	34,1	36,9	37,2	36,4	30,4	36,5	35,6	34,1	33,3	35,6	36,2	34,4

Taulukko 13. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

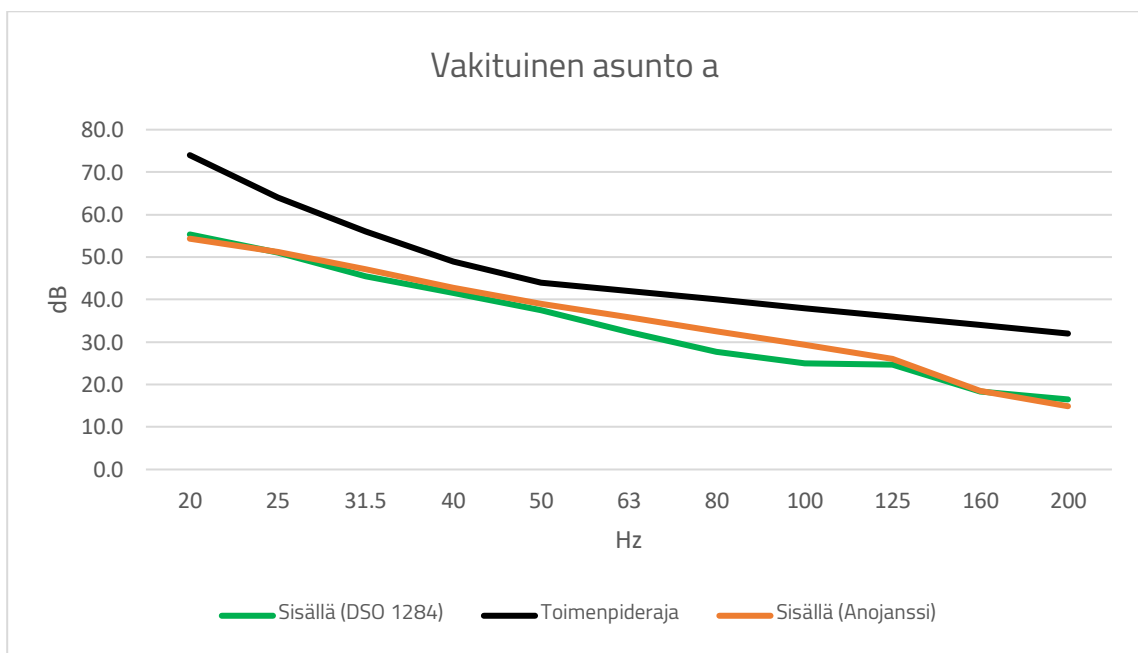
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	55,3	52,2	54,6	54,8	54,1	49,6	54,3	53,5	52,3	51,6	53,6	54,1	52,5
25	51,1	47,9	50,3	50,6	49,9	45,3	50,0	49,3	48,0	47,3	49,3	49,9	48,2
31,5	45,5	42,3	44,7	45,0	44,3	39,7	44,4	43,6	42,4	41,7	43,7	44,2	42,6
40	41,6	38,4	40,8	41,1	40,4	35,8	40,5	39,8	38,5	37,8	39,8	40,4	38,8
50	37,5	34,3	36,7	37,0	36,3	31,6	36,4	35,6	34,4	33,6	35,7	36,2	34,6
63	32,3	29,1	31,5	31,8	31,1	26,3	31,2	30,4	29,1	28,4	30,5	31,0	29,4
80	27,7	24,4	26,9	27,2	26,5	21,6	26,6	25,8	24,5	23,8	25,9	26,4	24,7
100	25,0	21,7	24,2	24,5	23,7	18,8	23,9	23,1	21,7	21,0	23,1	23,7	22,0
125	24,6	21,2	23,8	24,1	23,4	18,2	23,5	22,7	21,3	20,5	22,7	23,3	21,5
160	18,4	14,9	17,6	17,9	17,1	11,6	17,3	16,4	15,0	14,2	16,4	17,0	15,2
200	16,5	12,9	15,7	16,0	15,2	9,2	15,3	14,4	12,9	12,1	14,4	15,0	13,2

Taulukko 14. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen Anojanssi-projektin mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	54,3	51,2	53,6	53,8	53,1	48,6	53,3	52,5	51,3	50,6	52,6	53,1	51,5
25	51,2	48,0	50,4	50,7	50,0	45,4	50,1	49,4	48,1	47,4	49,4	50,0	48,3
31,5	47,1	43,9	46,3	46,6	45,9	41,3	46,0	45,2	44,0	43,3	45,3	45,8	44,2
40	42,7	39,5	41,9	42,2	41,5	36,9	41,6	40,9	39,6	38,9	40,9	41,5	39,9
50	39,0	35,8	38,2	38,5	37,8	33,1	37,9	37,1	35,9	35,1	37,2	37,7	36,1
63	35,9	32,7	35,1	35,4	34,7	29,9	34,8	34,0	32,7	32,0	34,1	34,6	33,0
80	32,6	29,3	31,8	32,1	31,4	26,5	31,5	30,7	29,4	28,7	30,8	31,3	29,6
100	29,4	26,1	28,6	28,9	28,1	23,2	28,3	27,5	26,1	25,4	27,5	28,1	26,4
125	26,0	22,6	25,2	25,5	24,8	19,6	24,9	24,1	22,7	21,9	24,1	24,7	22,9
160	18,5	15,0	17,7	18,0	17,2	11,7	17,4	16,5	15,1	14,3	16,5	17,1	15,3
200	14,9	11,3	14,1	14,4	13,6	7,6	13,7	12,8	11,3	10,5	12,8	13,4	11,6



Kuva 7. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa c.



Kuva 8. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituuisessa asunnossa a.

LIITE 5: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA, YHTEISVAIKUTUKSET (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 tilanteessa, jossa Kirvesvuoren (20 voimalaa) ja Kämpäkankaan (12 tuulivoimalaa) tuulivoimapaistot ovat toiminnassa.

Taulukko 15. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

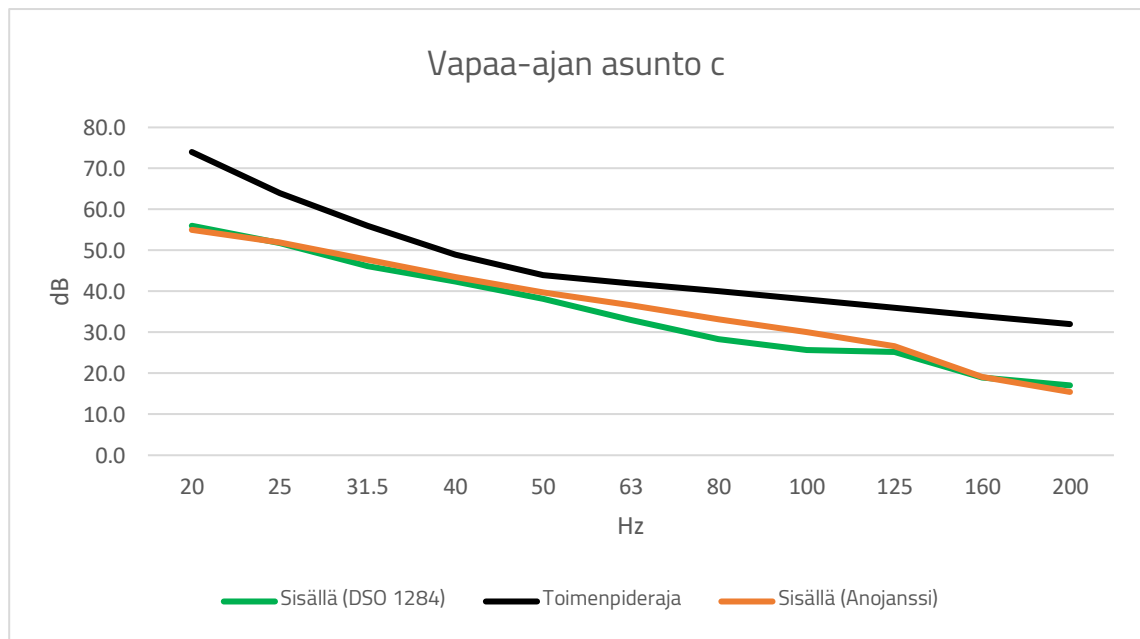
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	63,7	59,9	62,6	63,0	62,9	59,7	63,6	62,9	61,7	60,9	62,1	62,5	60,5
25	61,3	57,4	60,1	60,6	60,4	57,2	61,2	60,4	59,3	58,4	59,7	60,1	58,0
31,5	58,1	54,2	56,9	57,4	57,2	54,1	58,0	57,3	56,2	55,3	56,5	56,9	54,8
40	54,9	51,0	53,7	54,2	54,0	50,9	54,9	54,2	53,2	52,2	53,3	53,7	51,6
50	52,3	48,5	51,2	51,6	51,5	48,5	52,4	51,8	50,8	49,8	50,8	51,2	49,1
63	50,7	46,8	49,6	50,0	49,9	46,8	50,8	50,2	49,1	48,1	49,1	49,6	47,4
80	49,2	45,2	48,0	48,5	48,3	45,1	49,2	48,5	47,4	46,5	47,6	48,0	45,8
100	48,0	43,9	46,8	47,3	47,1	43,7	48,0	47,2	46,0	45,0	46,3	46,7	44,5
125	46,6	42,4	45,4	45,9	45,7	42,2	46,5	45,7	44,5	43,5	44,9	45,3	43,0
160	41,4	37,1	40,2	40,7	40,5	36,9	41,4	40,7	39,4	38,4	39,6	40,1	37,7
200	39,5	35,0	38,2	38,7	38,5	34,7	39,6	38,8	37,6	36,5	37,6	38,1	35,6

Taulukko 16. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

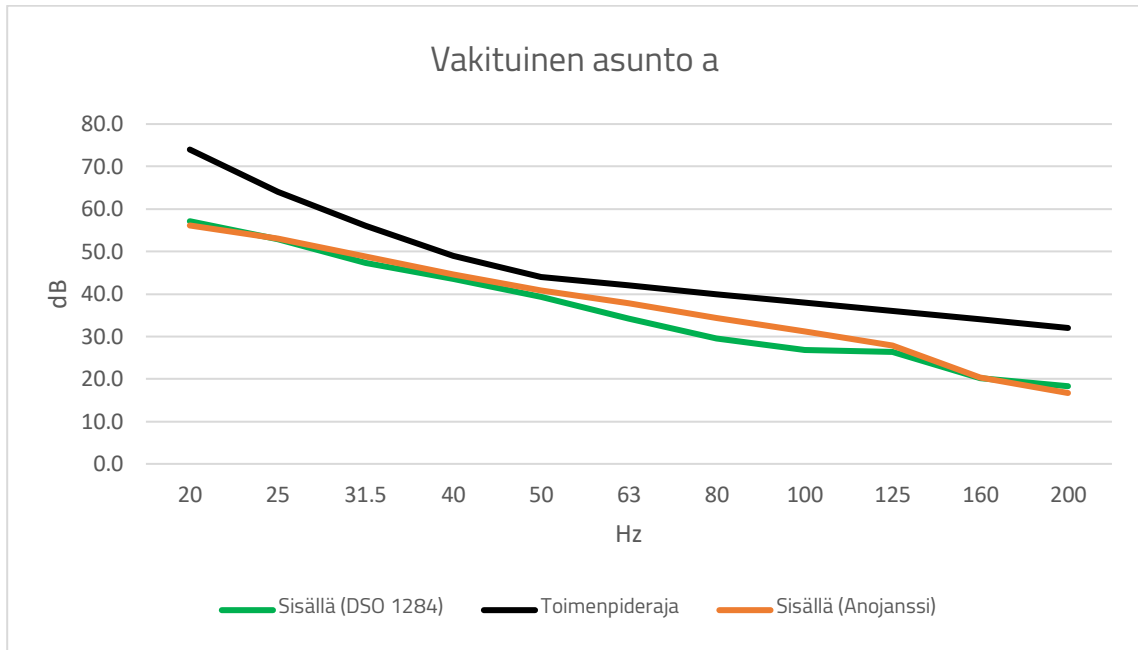
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	57,1	53,3	56,0	56,4	56,3	53,1	57,0	56,3	55,1	54,3	55,5	55,9	53,9
25	52,9	49,0	51,7	52,2	52,0	48,8	52,8	52,0	50,9	50,0	51,3	51,7	49,6
31,5	47,3	43,4	46,1	46,6	46,4	43,3	47,2	46,5	45,4	44,5	45,7	46,1	44,0
40	43,5	39,6	42,3	42,8	42,6	39,5	43,5	42,8	41,8	40,8	41,9	42,3	40,2
50	39,3	35,5	38,2	38,6	38,5	35,5	39,4	38,8	37,8	36,8	37,8	38,2	36,1
63	34,1	30,2	33,0	33,4	33,3	30,2	34,2	33,6	32,5	31,5	32,5	33,0	30,8
80	29,5	25,5	28,3	28,8	28,6	25,4	29,5	28,8	27,7	26,8	27,9	28,3	26,1
100	26,8	22,7	25,6	26,1	25,9	22,5	26,8	26,0	24,8	23,8	25,1	25,5	23,3
125	26,4	22,2	25,2	25,7	25,5	22,0	26,3	25,5	24,3	23,3	24,7	25,1	22,8
160	20,2	15,9	19,0	19,5	19,3	15,7	20,2	19,5	18,2	17,2	18,4	18,9	16,5
200	18,3	13,8	17,0	17,5	17,3	13,5	18,4	17,6	16,4	15,3	16,4	16,9	14,4

Taulukko 17. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen Anojanssi-projektin mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	56,1	52,3	55,0	55,4	55,3	52,1	56,0	55,3	54,1	53,3	54,5	54,9	52,9
25	53,0	49,1	51,8	52,3	52,1	48,9	52,9	52,1	51,0	50,1	51,4	51,8	49,7
31,5	48,9	45,0	47,7	48,2	48,0	44,9	48,8	48,1	47,0	46,1	47,3	47,7	45,6
40	44,6	40,7	43,4	43,9	43,7	40,6	44,6	43,9	42,9	41,9	43,0	43,4	41,3
50	40,8	37,0	39,7	40,1	40,0	37,0	40,9	40,3	39,3	38,3	39,3	39,7	37,6
63	37,7	33,8	36,6	37,0	36,9	33,8	37,8	37,2	36,1	35,1	36,1	36,6	34,4
80	34,4	30,4	33,2	33,7	33,5	30,3	34,4	33,7	32,6	31,7	32,8	33,2	31,0
100	31,2	27,1	30,0	30,5	30,3	26,9	31,2	30,4	29,2	28,2	29,5	29,9	27,7
125	27,8	23,6	26,6	27,1	26,9	23,4	27,7	26,9	25,7	24,7	26,1	26,5	24,2
160	20,3	16,0	19,1	19,6	19,4	15,8	20,3	19,6	18,3	17,3	18,5	19,0	16,6
200	16,7	12,2	15,4	15,9	15,7	11,9	16,8	16,0	14,8	13,7	14,8	15,3	12,8



Kuva 9. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa c.



Kuva 10. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituksessa asunnossa a.

LIITE 6: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA, YHTEISVAIKUTUKSET (VE2)

Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat pienitaajuiselle melulle alittuvat lähimmissä asunnoissa. Myös kauempana sijaitsevilla asunnoilla toimenpiderajat alittuvat, koska pientaajuinen melu vähenee etäisyyden kasvaessa. Vapaa-ajan asuntojenkin kohdalla toimenpiderajat alittuvat. Pientaajuinen melu on laskettu tilanteessa, jossa Kirvesvuoren (13 voimalaa) ja Kämpäkankaan (12 tuulivoimalaa) tuulivoimapaistot ovat toiminnassa.

Taulukko 18. Pientaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	62,0	58,9	61,2	61,5	60,8	56,7	61,2	60,6	59,6	58,8	60,3	60,8	59,2
25	59,6	56,4	58,8	59,1	58,4	54,2	58,8	58,2	57,1	56,3	57,9	58,4	56,7
31,5	56,4	53,2	55,6	55,9	55,2	51,2	55,7	55,1	54,2	53,3	54,7	55,2	53,6
40	53,2	50,0	52,4	52,7	52,0	48,1	52,6	52,1	51,3	50,3	51,5	52,0	50,4
50	50,7	47,5	49,8	50,1	49,5	45,7	50,2	49,8	49,0	48,0	49,0	49,5	47,8
63	49,1	45,8	48,2	48,5	47,9	44,0	48,5	48,1	47,2	46,3	47,4	47,9	46,2
80	47,5	44,2	46,7	47,0	46,3	42,2	46,9	46,4	45,4	44,5	45,8	46,3	44,6
100	46,3	43,0	45,5	45,8	45,1	40,6	45,5	45,0	43,9	43,0	44,5	45,0	43,3

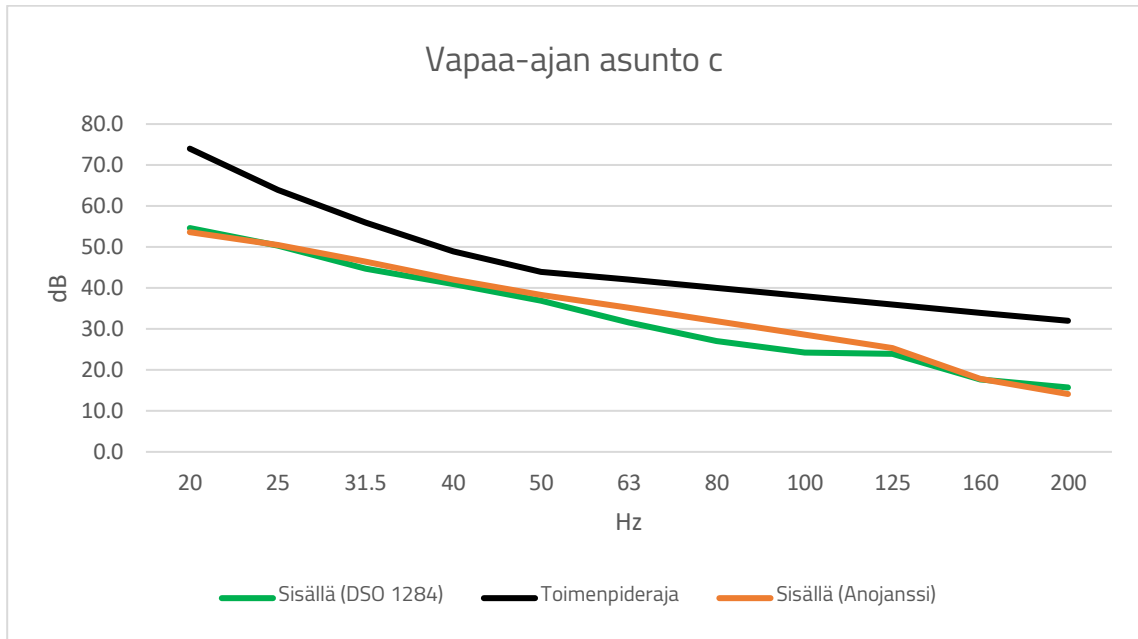
125	44,9	41,5	44,1	44,4	43,6	38,9	44,0	43,4	42,3	41,4	43,0	43,6	41,8
160	39,7	36,2	38,9	39,2	38,4	33,5	39,0	38,4	37,4	36,3	37,8	38,3	36,5
200	37,8	34,2	36,9	37,2	36,5	31,3	37,1	36,6	35,6	34,5	35,8	36,3	34,5

Taulukko 19. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen DSO 1284 mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

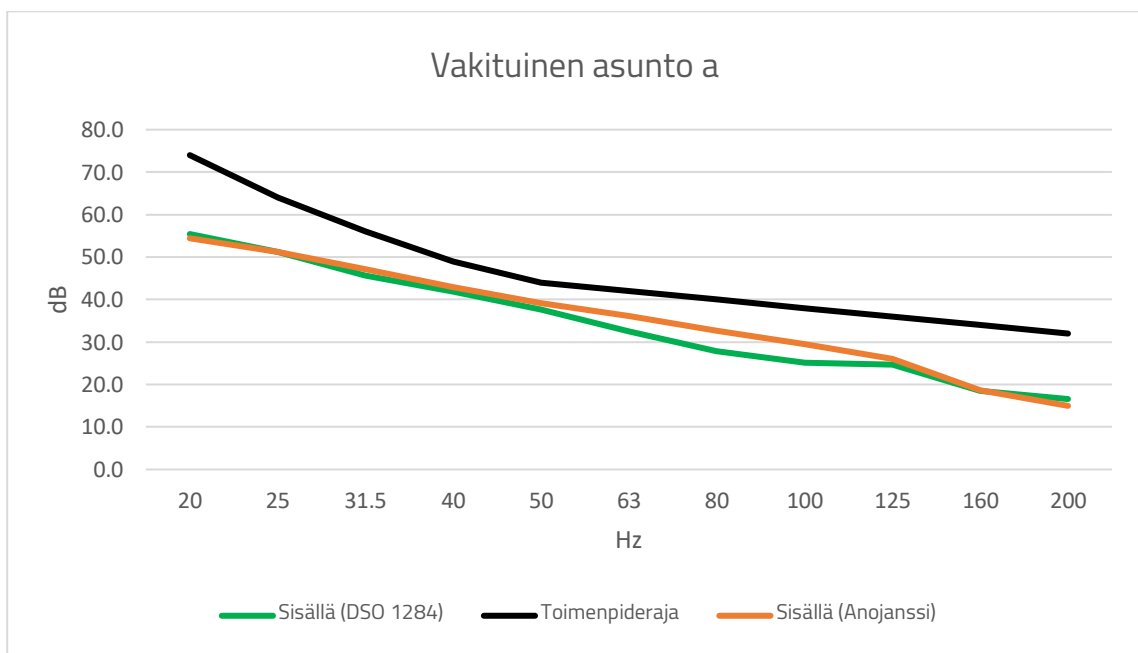
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	55,4	52,3	54,6	54,9	54,2	50,1	54,6	54,0	53,0	52,2	53,7	54,2	52,6
25	51,2	48,0	50,4	50,7	50,0	45,8	50,4	49,8	48,7	47,9	49,5	50,0	48,3
31,5	45,6	42,4	44,8	45,1	44,4	40,4	44,9	44,3	43,4	42,5	43,9	44,4	42,8
40	41,8	38,6	41,0	41,3	40,6	36,7	41,2	40,7	39,9	38,9	40,1	40,6	39,0
50	37,7	34,5	36,8	37,1	36,5	32,7	37,2	36,8	36,0	35,0	36,0	36,5	34,8
63	32,5	29,2	31,6	31,9	31,3	27,4	31,9	31,5	30,6	29,7	30,8	31,3	29,6
80	27,8	24,5	27,0	27,3	26,6	22,5	27,2	26,7	25,7	24,8	26,1	26,6	24,9
100	25,1	21,8	24,3	24,6	23,9	19,4	24,3	23,8	22,7	21,8	23,3	23,8	22,1
125	24,7	21,3	23,9	24,2	23,4	18,7	23,8	23,2	22,1	21,2	22,8	23,4	21,6
160	18,5	15,0	17,7	18,0	17,2	12,3	17,8	17,2	16,2	15,1	16,6	17,1	15,3
200	16,6	13,0	15,7	16,0	15,3	10,1	15,9	15,4	14,4	13,3	14,6	15,1	13,3

Taulukko 20. Pienitaajuinen melu sisätiloissa, käyttäen Anojanssi-projektin mukaisia ääneneristävyyssarvoja.

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)												
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
20	54,4	51,3	53,6	53,9	53,2	49,1	53,6	53,0	52,0	51,2	52,7	53,2	51,6
25	51,3	48,1	50,5	50,8	50,1	45,9	50,5	49,9	48,8	48,0	49,6	50,1	48,4
31,5	47,2	44,0	46,4	46,7	46,0	42,0	46,5	45,9	45,0	44,1	45,5	46,0	44,4
40	42,9	39,7	42,1	42,4	41,7	37,8	42,3	41,8	41,0	40,0	41,2	41,7	40,1
50	39,2	36,0	38,3	38,6	38,0	34,2	38,7	38,3	37,5	36,5	37,5	38,0	36,3
63	36,1	32,8	35,2	35,5	34,9	31,0	35,5	35,1	34,2	33,3	34,4	34,9	33,2
80	32,7	29,4	31,9	32,2	31,5	27,4	32,1	31,6	30,6	29,7	31,0	31,5	29,8
100	29,5	26,2	28,7	29,0	28,3	23,8	28,7	28,2	27,1	26,2	27,7	28,2	26,5
125	26,1	22,7	25,3	25,6	24,8	20,1	25,2	24,6	23,5	22,6	24,2	24,8	23,0
160	18,6	15,1	17,8	18,1	17,3	12,4	17,9	17,3	16,3	15,2	16,7	17,2	15,4
200	15,0	11,4	14,1	14,4	13,7	8,5	14,3	13,8	12,8	11,7	13,0	13,5	11,7



Kuva 11. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vapaa-ajan asunnossa c.



Kuva 12. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen pienitaajuisen melun laskenta sekä sosiaali- ja terveysministeriön toimenpiderajat vakituuisessa asunnossa a.

LIITE 7: SIOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevassa taulukossa

Taulukko 21. Kirvesvuoren voimaloiden sijaintitiedot, VE1 (20 voimalaa).

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	381356	7004669	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
2	381670	7004023	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
3	380761	7003682	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
4	381057	7003254	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
5	380259	7003023	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
6	380321	7002458	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
7	379636	7001985	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
8	379223	7001147	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
9	378724	7000355	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
10	378311	7000758	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
11	378841	7001546	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
12	378580	7002042	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
13	378263	7002528	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
14	379336	7002520	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
15	378904	7002834	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
16	378406	7003176	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
17	377758	7003110	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
18	377957	7003809	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
19	377286	7003659	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
20	377248	7004219	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)

Taulukko 22. Kirvesvuoren voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (13 voimalaa).

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	381356	7004669	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
2	381670	7004023	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
3	381037	7003300	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
4	380352	7002993	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
5	379710	7002174	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
6	379538	7001464	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
7	378827	7001453	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
8	378925	7002132	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
9	379616	7002835	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
10	378776	7002689	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)

11	378121	7002829	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
12	377716	7003644	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)
13	377411	7004095	Nordex N163 7,0 MW 200 HH, 107,4 +2 dB(A)

Taulukko 23. Kämpäkankaan voimaloiden sijaintitiedot, VE2 (12 voimalaa).

Voimala	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	372788	7003262	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
2	372055	7003257	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
3	371230	7002647	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
4	370500	7002372	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
5	371863	7002149	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
6	373330	7001925	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
7	374109	7001475	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
8	370288	7001462	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
9	372411	7001104	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
10	371511	7001025	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
11	373330	7000875	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)
12	374200	7000720	Siemens-Gamesa SG 6,6-155 165 HH, 105,0 +2 dB(A)