



# MELUSELVITYS

Kvarnbackenin Tuulivoimahanke

24.6.2024

## 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 .....	12
6.1	Nykytilanne .....	12
6.2	Rakentamisen aikaiset vaikutukset .....	12
6.3	Toiminnan aikaiset vaikutukset.....	12
6.4	Pienitaajuinen melu .....	14
6.5	Käytön lopettamisen aikaiset vaikutukset.....	14
6.6	Vaikutusten arvioinnin epävarmuustekijät .....	14
7	HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA.....	15
8	LÄHTEET .....	16
9	MALLINNUSTIETOJEN RAPORTTI, KVARNBACKEN.....	17
	Liite 1: Melumallinnuksen tulokset .....	19
	Liite 2: Pienitaajuisen melun laskenta.....	20
	Liite 3: Sijoitussuunnitelmat.....	23

## VASTUUVAPAAUSLAUSEKE

*Tämä meluselvitysraportti on laadittu kahdella kieliversiolla: ruotsiksi ja suomeksi. Suurta huolellisuutta on noudatettu varmistettaessa, että molemmat versiot ovat johdonmukaisia ja tarkkoja. Mahdollisissa eroavaisuuksissa tai tulkintaeroissa näiden kahden version välillä ruotsinkielinen versio on kuitenkin määräävä ja sitä pidetään virallisena tekstinä kaikissa tämän raportin perusteella tehtävissä päätöksissä ja toimenpiteissä.*

## VERSIONHISTORIA

Versio	Tekijä	Tarkastettu	Hyväksytty	Tiivistelmä
Ver 1	Christian Granlund, 2024-06-24	Alexander Ehres 2024-08-16	Alexander Ehres 2024-08-16	Kvarnbackenin tuulipuiston meluselvitys

# 1 YHTEENVETO

## **Tehtävä:**

Meluselvitys Kvarnbackenin tuulivoimapuistolle.

## **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). Myös matalataajuisen melun mallinnus tehdään ympäristöministeriön ohjeiden mukaisesti. 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 vakituisille asunnoille ja vapaa-ajan asunnoille ei ylitetä. Myöskään sosiaali- ja terveysministeriön antamia sisätilojen pienitaajuisen melun ohjearvoja ei ylitetä.

## 2 TAUSTA

Meluselvitys on tehty Kvarnbackenin tuulivoimapuistolle Kruunupyyn kunnan alueella. Suunniteltu hanke koostuu yhteensä kuudesta tuulivoimalasta. Melumallinnuksessa on käytetty SG-170 6,6 MW voimalan lähtötietoja. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus on 210 metriä ja lähtömelutaso 106,0 dB(A) + 2,0 dB(A) varmuusmarginaali. Mallinnuksessa on käytetty valmistajan Siemens Gamesan melutietoja (lokakuusta 2022 alkaen).

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, kuin 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. Jaksoittainen ääni syntyy, kun ilmakerrokset puristuvat lavan

ohittaessa tornin, ja kun ääni heijastuu tornista. Kovalla tuulella äänet ovat voimakkaimmillaan etenkin, kun tuuli puhalttaa voimalan suunnasta. Lämpötila ja ilmankosteus vaikuttavat melun voimakkuuteen. Oleellimmat tekijät äänen voimakkuuden kannalta ovat kuitenkin etäisyys tuulivoimalasta ja lähistöllä olevien voimaloiden lukumäärä. (Ympäristöministeriö, 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 (noin vuoden) ja tilapäisiä suhteessa toiminta-aikaan (n. 25 vuotta). Lisäksi rakentamisen aikaista meluhaittaa esiintyy vain päivällä, ei yöllä.

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.

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

Äänitehotasot ilmoitetaan valmistajasta ja käytetystä voimalatyyppistä riippuen joko kokonaisäänitehotasoina tai 1/3-oktaavikaistan tasoina. Tässä tapauksessa äänitehotasot on ilmoitettu 1/3 oktaavikaistoittain. Siemens Gamesan käyttämät melupäästöarvot eivät ole suoraan verrattavissa IEC TS 61400-14-standardiin, eikä varmuusmarginaalia ole erikseen ilmoitettu. Tämän takia lähtömelutasoon on mallinnuksessa lisätty 2,0 dB:n varmuusmarginaali ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2016).

Lähtötietoina on käytetty alla olevissa taulukoissa olevia arvoja.

Taulukko 4. Hankkeen voimalatiedot.

Hankealue	Voimalat	Voimalan tornin korkeus (m)	Voimalan äänitehotaso (L <sub>wa</sub> )	1/3 oktaavikaistoittainen äänispektri
Kvarnbacken	SG-170 6.6 MW	210	106,0 + 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 kahden metrin korkeusmallia ja alueen maanpeitteisyys on Suomen ympäristökeskuksen OIVA-tietokannasta. Maaston vaimentava vaikutus on huomioitu ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisella kertoimella 0,4. Rakennustiedot perustuvat Maanmittauslaitoksen maastotietokantaan.

Laskennassa on otettu lähtökohdaksi voimalan tuottama äänenvoimakkuus ja tämän pohjalta on mallinnettu äänen vaimeneminen (geometrinen vaimeneminen sekä ilmakehän vaimentava vaikutus) koko tuulivoimapuiston alueella. Mallinnuksessa on oletettu, että kaikki asunnot ovat tuulen alapuolella kaikkiin voimaloihin nähden ja tuulennopeus 10 metrin korkeudella maan pinnasta on 8 m/s. Useiden voimaloiden yhteismeluvaikutukset on otettu huomioon. Alueelta valittiin 15 havainnointipistettä, joiden kohdalta voimaloiden aiheuttamat äänenvoimakkuudet ilmoitetaan.

## 5.2 MENETELMÄT

Melumallinnus on suoritettu WindPRO ohjelmiston DECIBEL-moduulia käyttäen. WindPRO on tanskalaisen EMD International A/S:n kehittämä tuulivoiman mallinnusohjelmisto. Ohjelmistolla mallinnetaan ja visualisoidaan äänen eteneminen ja vaimeneminen, mutta sitä käytetään myös muiden vaikutusten mallintamiseen sekä tuuliresurssien laskemiseen.

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

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

Ympäristöministeriön ohjeessa (2/2014) mainitaan äänivaikutuksiin liittyvä ilmiö, Amplitudimodulaatio (EAM, excessive amplitude modulation). Esiintyessään ilmiö aiheuttaa sen, että äänenvoimakkuuden merkittävät jaksottaiset vaihtelut lisäävät melun häiritsevyyttä. Amplitudimodulaatio on paikallisista olosuhteista ja voimalatyypistä riippuva ilmiö. Ilmiötä ei pysty mallintamaan etukäteen, vaan se pystytään varmistamaan ainoastaan käytönaikaisilla melumittauksilla. Amplitudimodulaatiota ei mainita valtioneuvoston asetuksessa (2015) 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. Sisätilojen melutasot on myös laskettu ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti.

Matalataajuisen äänen 1/3-oktaavitaso rakennuksen ulkopuolella olevissa altistuvissa pisteissä arvioidaan yhtälöllä:

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

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).

Rakennusten äänieristys on laskettu DSO 1284 menetelmän mukaisesti, ja tuloksia on vertailtu sosiaali- ja terveysministeriön 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

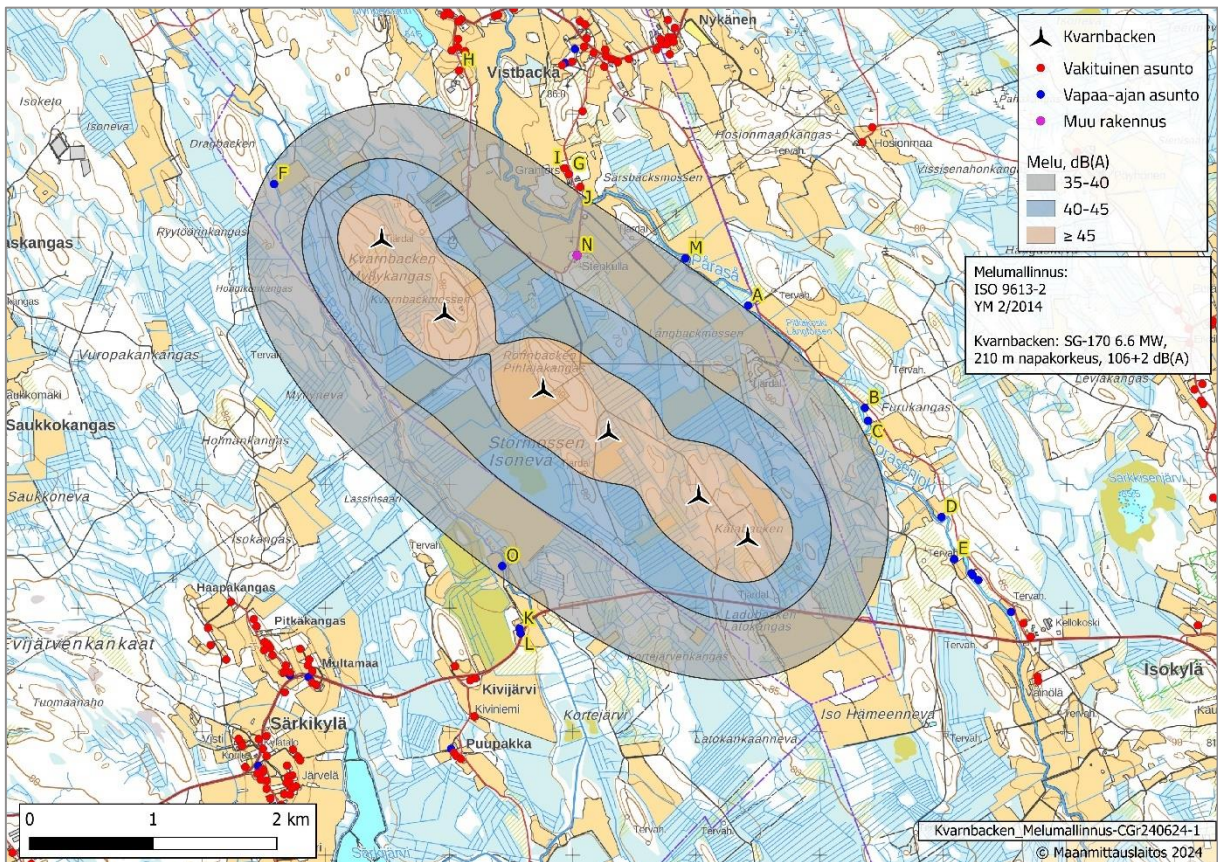
Kvarnbackenin tuulivoimapuiston alue on pääasiassa metsätalousaluetta ja sen äänimaisema on tällaiselle alueelle tyypillistä.

### 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 rakentamisen aikana. Tiestön ja perustusten rakentaminen tuottaa eniten melua ja lisääntyvä liikenne saattaa nostaa alueen melutasoa hieman. Rakentaminen kestää vain lyhyen ajan suhteessa tuulivoimaloiden elinkaareen, joten meluvaikutuksetkin voidaan katsoa lyhytkestoisiksi.

### 6.3 TOIMINNAN AIKAISET VAIKUTUKSET

Kvarnbackenin melumallinnuksessa on käytetty SG-170 6.6 MW -voimalaa, jonka kokonaisäänitaso on 106,0+2,0 dB(A) ja napakorkeus 210 metriä. Melumallinnuksessa on käytetty 6 voimalan sijoitussuunnitelmaa. Voimaloiden koordinaatit löytyvät liitteestä 3.



Kuva 1. Kvarnbackenin tuulivoimapuiston melumallinnus SG-170 6.6 MW, 106,0 +2,0 dB(A). 15 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 15 havainnointipistettä, joiden melutasot on lueteltu liitteessä 1.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että meluvaikutukset Kvarnbackenin tuulivoimaloista ovat pienet. Äänitaso lähimpien asuinrakennusten ja loma-asuntojen alueella on alle 36 dB(A), eli selvästi alle ympäristöministeriön ohjearvon. Korkein äänitaso lähialueella sijaitsevan havaintopisteen kohdalla on 35,9 dB(A) (vapaa-ajan asunto F). Mallinnuksen mukainen melutaso rakennuksessa N on 37,9 dB(A). Tämä rakennus on tällä hetkellä luokiteltu asunnoksi, mutta sitä ei ole huomioitu ohjearvoihin verrattessa, sillä sen käyttötarkoitus tullaan muuttamaan luokitukseen "muu rakennus", jos Kvarnbackenin tuulivoimapuiston osayleiskaava hyväksytään.

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 Kvarnbackenin tuulivoimaloiden pienitaajuisen melun vaikutukset ovat vähäiset.

## 6.5 KÄYTÖN LOPETTAMISEN AIKAISET VAIKUTUKSET

Käytön lopettamisen aikaiset meluvaikutukset ovat samankaltaiset rakennusvaiheen vaikutusten kanssa. Ajallisesti meluvaikutukset ovat tuolloin lyhytkestoiset ja ne johtuvat työmaakoneiden äänistä ja liikenteestä.

Käytön lopettamisen jälkeen alueen äänimaisema palaa samaan tilaan, kuin ennen tuulivoimapuiston rakentamista.

## 6.6 VAIKUTUSTEN ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT

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

## 7 HAITTOJEN EHKÄISEMINEN JA SEURANTA

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

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

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



## 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*. Sisäinen työohje.

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

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

Maanmittauslaitos (2023). *Maanmittauslaitoksen avoimen tietoaaineiston CC 4.0 -lisenssi*.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>

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

Siemens Gamesa (2022). SG-F18.16-TR-00891\_R00\_Standard Acoustic Emission Document, SG 6.6-170. Date: 2022-10-04

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

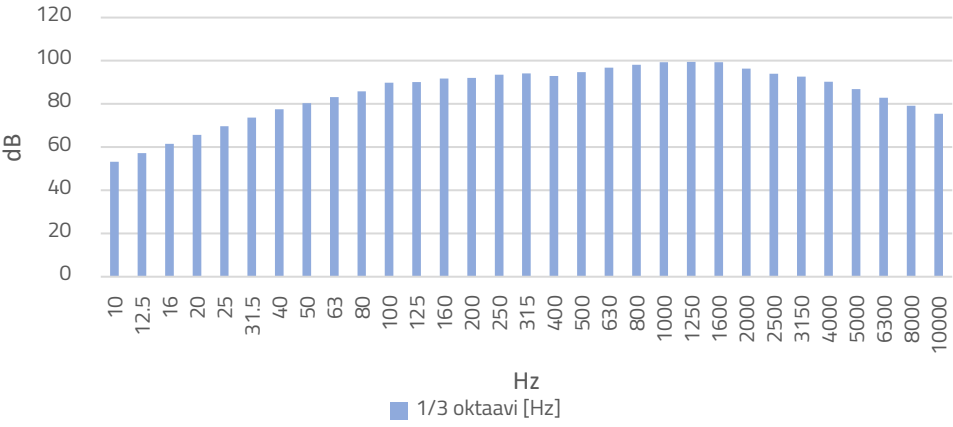
Ympäristöministeriö (2016). *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016*. Saatavilla:  
<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42937>

Ympäristöministeriö (2014). *Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Helsinki*. Saatavilla:  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH\\_2\\_2014.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42937/OH_2_2014.pdf?sequence=1)

Ympäristöministeriö, (2016). Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon 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, KVARNBACKEN

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT		*tarkentavat tiedot voi esittää kartalla tai muissa liitteissä																																																																	
Mallinnusraportti numero/tunniste: <b>CGr240624-1</b>		Raportin hyväksyntäpäivämäärä:																																																																	
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Etha Oy, Vaasanpuistikko 14 B11, 65100 VAASA, puh. +358 2900 20440</b>																																																																			
Vastuuhenkilöt: <b>Christian Granlund</b>																																																																			
Laatija: <b>Christian Granlund</b>		Tarkastaja/hyväksyjä: Alexander Ehms																																																																	
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT																																																																			
Mallinnusohjelma ja versio: <b>windPRO Ver3.6</b>		Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>																																																																	
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)																																																																			
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Siemens Gamesa</b>		Tyyppi: <b>SG-170</b>	Sarjanumero/t:																																																																
Nimellisteho: <b>6.6 MW</b>	Napakorkeus: <b>210 m</b>	Roottorin halkaisija: <b>170 m</b>	Tornin tyyppi: <b>Putkitorni</b>																																																																
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun																																																																			
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus																																																																	
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB																																																																
<b>Ei</b>	<b>Ei tiedossa</b>	<b>Ei</b>	<b>Ei tiedossa</b>																																																																
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT																																																																			
Melupäästötiedot SG-170 6.6 MW 210 m napakorkeus 106.0 + 2 dB(A)																																																																			
<p style="text-align: center;">Siemens Gamesa SG-170, 210 m HH 106 + 2 dB(A)</p>  <table border="1"> <caption>Estimated data from the sound spectrum chart</caption> <thead> <tr> <th>Frequency [Hz]</th> <th>Sound Pressure Level [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10</td><td>50</td></tr> <tr><td>12.5</td><td>55</td></tr> <tr><td>16</td><td>60</td></tr> <tr><td>20</td><td>65</td></tr> <tr><td>25</td><td>70</td></tr> <tr><td>31.5</td><td>75</td></tr> <tr><td>40</td><td>80</td></tr> <tr><td>50</td><td>82</td></tr> <tr><td>63</td><td>85</td></tr> <tr><td>80</td><td>88</td></tr> <tr><td>100</td><td>90</td></tr> <tr><td>125</td><td>92</td></tr> <tr><td>160</td><td>93</td></tr> <tr><td>200</td><td>94</td></tr> <tr><td>250</td><td>95</td></tr> <tr><td>315</td><td>95</td></tr> <tr><td>400</td><td>95</td></tr> <tr><td>500</td><td>95</td></tr> <tr><td>630</td><td>95</td></tr> <tr><td>800</td><td>95</td></tr> <tr><td>1000</td><td>95</td></tr> <tr><td>1250</td><td>95</td></tr> <tr><td>1600</td><td>95</td></tr> <tr><td>2000</td><td>95</td></tr> <tr><td>2500</td><td>95</td></tr> <tr><td>3150</td><td>95</td></tr> <tr><td>4000</td><td>95</td></tr> <tr><td>5000</td><td>95</td></tr> <tr><td>6300</td><td>95</td></tr> <tr><td>8000</td><td>95</td></tr> <tr><td>10000</td><td>95</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">■ 1/3 oktaavi [Hz]</p>				Frequency [Hz]	Sound Pressure Level [dB]	10	50	12.5	55	16	60	20	65	25	70	31.5	75	40	80	50	82	63	85	80	88	100	90	125	92	160	93	200	94	250	95	315	95	400	95	500	95	630	95	800	95	1000	95	1250	95	1600	95	2000	95	2500	95	3150	95	4000	95	5000	95	6300	95	8000	95	10000	95
Frequency [Hz]	Sound Pressure Level [dB]																																																																		
10	50																																																																		
12.5	55																																																																		
16	60																																																																		
20	65																																																																		
25	70																																																																		
31.5	75																																																																		
40	80																																																																		
50	82																																																																		
63	85																																																																		
80	88																																																																		
100	90																																																																		
125	92																																																																		
160	93																																																																		
200	94																																																																		
250	95																																																																		
315	95																																																																		
400	95																																																																		
500	95																																																																		
630	95																																																																		
800	95																																																																		
1000	95																																																																		
1250	95																																																																		
1600	95																																																																		
2000	95																																																																		
2500	95																																																																		
3150	95																																																																		
4000	95																																																																		
5000	95																																																																		
6300	95																																																																		
8000	95																																																																		
10000	95																																																																		

Kapeakaistaisuus / Tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitu- dimodulaatio)		Muu, Mikä:		
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNA LÄHTÖTIEDOT								
Laskenta korkeus						Laskentaruudun koko [m-m]		
4 m		Muu, mikä ja miksi:				20 m * 20 m		
Suhteellinen kosteus				Lämpötila				
70 %		Muu, mikä ja miksi:			15 C°		Muu, mikä ja miksi:	
Maastomallin lähde ja tarkkuus								
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 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. Kvarnbackenin mallinnuksen meluarvot havainnointipisteissä.

Asunto	Asunnon luokka	Itäinen Koord. (ETRS-TM35FIN)	Pohjoinen koord. (ETRS-TM35FIN)	Ohjearvo [dB(A)]	Melu [dB(A)]	Ohjearvojen ylitys
A	Vapaa-ajan asunto	334421	7035450	40	34,8	Ei
B	Vapaa-ajan asunto	335366	7034620	40	34,2	Ei
C	Vapaa-ajan asunto	335393	7034516	40	34,4	Ei
D	Vapaa-ajan asunto	335986	7033736	40	31,7	Ei
E	Vapaa-ajan asunto	336089	7033397	40	30,8	Ei
F**	Vapaa-ajan asunto	330584	7036433	40	35,9	Ei
G	Vakituinen asunto	332971	7036513	40	34,5	Ei
H	Vakituinen asunto	332080	7037352	40	32,3	Ei
I	Vakituinen asunto	332935	7036561	40	34,4	Ei
J	Vakituinen asunto	333062	7036409	40	34,7	Ei
K	Vapaa-ajan asunto	332570	7032833	40	33,4	Ei
L	Vapaa-ajan asunto	332580	7032794	40	33,2	Ei
M	Vapaa-ajan asunto	333912	7035830	40	34,8	Ei
N*	Muu rakennus	333037	7035855	-	37,9	Ei
O	Vapaa-ajan asunto	332431	7033340	40	35,5	Ei

\*Rakennusta N ei oteta huomioon vertailtaessa ohjearvoon, koska käyttötarkoitus muutetaan "muu rakennus" luokitukseen

\*\*Vapaa-ajan asunnolla F on rakennuslupa, mutta se on ollut pitkään keskeneräinen.

## LIITE 2: PIENITAAJUISEN MELUN LASKENTA

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 Kvarnbackenin tuulivoimapuistolle 6 voimalalla.

*Taulukko 8. Pienitaajuinen melu rakennuksen ulkopuolella.*

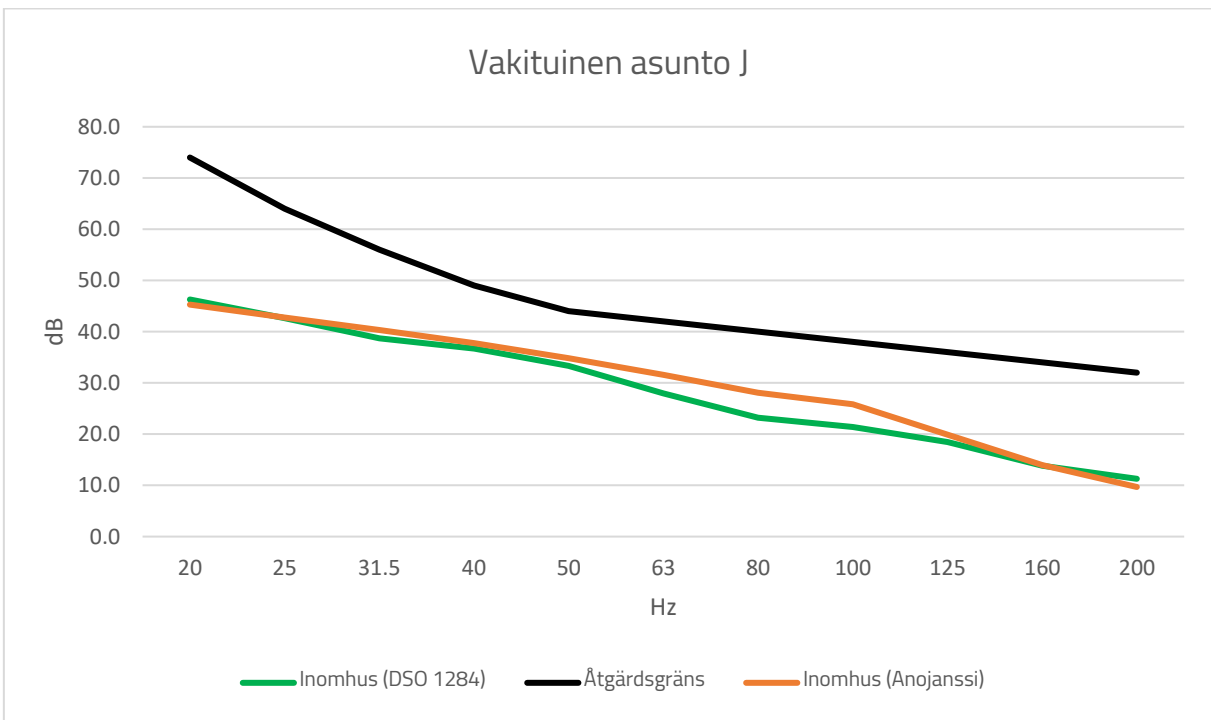
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)														
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
20	53.0	52.3	52.4	50.5	49.9	52.9	52.7	50.9	52.6	52.9	52.0	51.9	53.0	55.0	53.5
25	51.1	50.4	50.6	48.7	48.1	51.1	50.9	49.1	50.8	51.0	50.2	50.1	51.2	53.2	51.6
31,5	49.6	48.9	49.0	47.1	46.6	49.6	49.4	47.6	49.3	49.5	48.7	48.6	49.6	51.7	50.1
40	48.2	47.5	47.6	45.7	45.1	48.1	47.9	46.1	47.8	48.1	47.2	47.1	48.2	50.3	48.7
50	46.4	45.7	45.9	43.9	43.4	46.4	46.2	44.4	46.1	46.4	45.5	45.4	46.5	48.5	46.9
63	44.7	44.0	44.1	42.2	41.6	44.6	44.4	42.6	44.3	44.6	43.7	43.6	44.7	46.8	45.2
80	43.0	42.3	42.4	40.4	39.8	43.0	42.7	40.9	42.6	42.9	42.0	41.9	43.0	45.1	43.5
100	42.7	42.0	42.1	40.1	39.5	42.7	42.5	40.6	42.4	42.6	41.7	41.6	42.7	44.9	43.2
125	38.8	38.1	38.2	36.1	35.5	38.8	38.5	36.6	38.4	38.7	37.7	37.6	38.8	41.0	39.3
160	35.1	34.4	34.5	32.4	31.8	35.2	34.9	32.9	34.8	35.0	34.1	33.9	35.2	37.4	35.7
200	32.6	31.8	32.0	29.8	29.1	32.8	32.3	30.3	32.2	32.5	31.4	31.3	32.6	35.0	33.1

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

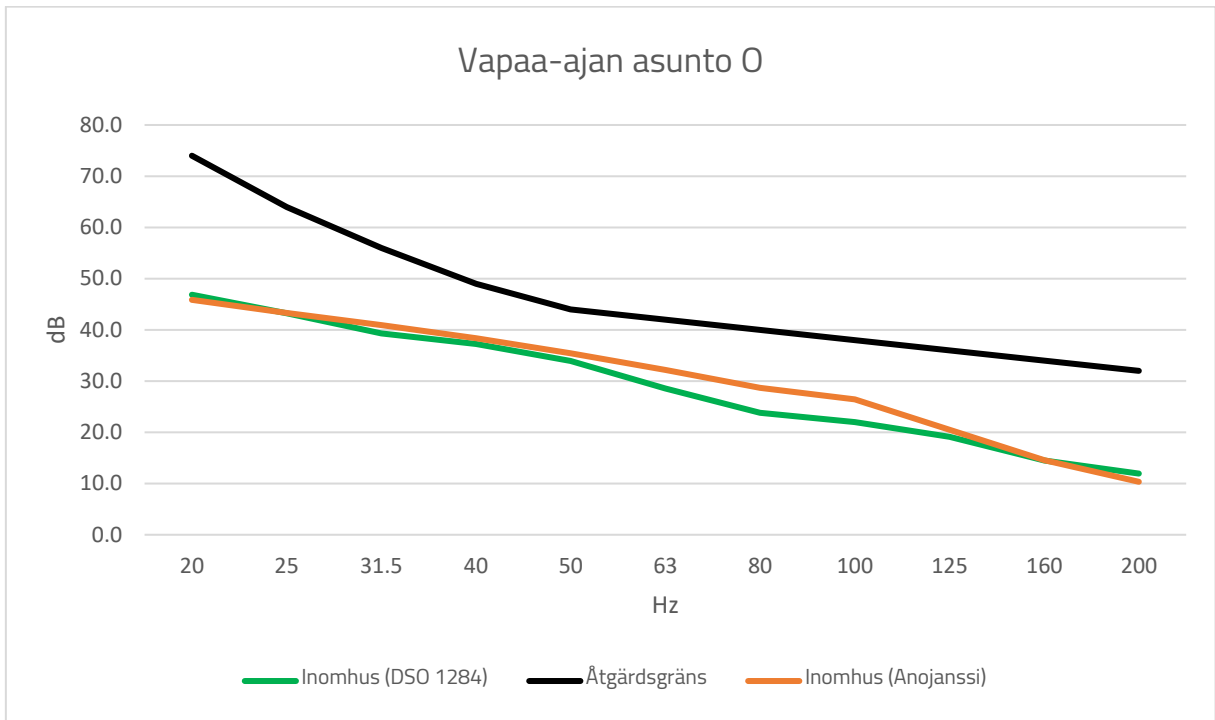
Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)														
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
20	46.4	45.7	45.8	43.9	43.3	46.3	46.1	44.3	46.0	46.3	45.4	45.3	46.4	48.4	46.9
25	42.7	42.0	42.2	40.3	39.7	42.7	42.5	40.7	42.4	42.6	41.8	41.7	42.8	44.8	43.2
31,5	38.8	38.1	38.2	36.3	35.8	38.8	38.6	36.8	38.5	38.7	37.9	37.8	38.8	40.9	39.3
40	36.8	36.1	36.2	34.3	33.7	36.7	36.5	34.7	36.4	36.7	35.8	35.7	36.8	38.9	37.3
50	33.4	32.7	32.9	30.9	30.4	33.4	33.2	31.4	33.1	33.4	32.5	32.4	33.5	35.5	33.9
63	28.1	27.4	27.5	25.6	25.0	28.0	27.8	26.0	27.7	28.0	27.1	27.0	28.1	30.2	28.6
80	23.3	22.6	22.7	20.7	20.1	23.3	23.0	21.2	22.9	23.2	22.3	22.2	23.3	25.4	23.8
100	21.5	20.8	20.9	18.9	18.3	21.5	21.3	19.4	21.2	21.4	20.5	20.4	21.5	23.7	22.0
125	18.6	17.9	18.0	15.9	15.3	18.6	18.3	16.4	18.2	18.5	17.5	17.4	18.6	20.8	19.1
160	13.9	13.2	13.3	11.2	10.6	14.0	13.7	11.7	13.6	13.8	12.9	12.7	14.0	16.2	14.5
200	11.4	10.6	10.8	8.6	7.9	11.6	11.1	9.1	11.0	11.3	10.2	10.1	11.4	13.8	11.9

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

Taajuus (Hz)	Melutaso kohteissa (dB)														
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
20	45.4	44.7	44.8	42.9	42.3	45.3	45.1	43.3	45.0	45.3	44.4	44.3	45.4	47.4	45.9
25	42.8	42.1	42.3	40.4	39.8	42.8	42.6	40.8	42.5	42.7	41.9	41.8	42.9	44.9	43.3
31,5	40.4	39.7	39.8	37.9	37.4	40.4	40.2	38.4	40.1	40.3	39.5	39.4	40.4	42.5	40.9
40	37.9	37.2	37.3	35.4	34.8	37.8	37.6	35.8	37.5	37.8	36.9	36.8	37.9	40.0	38.4
50	34.9	34.2	34.4	32.4	31.9	34.9	34.7	32.9	34.6	34.9	34.0	33.9	35.0	37.0	35.4
63	31.7	31.0	31.1	29.2	28.6	31.6	31.4	29.6	31.3	31.6	30.7	30.6	31.7	33.8	32.2
80	28.2	27.5	27.6	25.6	25.0	28.2	27.9	26.1	27.8	28.1	27.2	27.1	28.2	30.3	28.7
100	25.9	25.2	25.3	23.3	22.7	25.9	25.7	23.8	25.6	25.8	24.9	24.8	25.9	28.1	26.4
125	20.0	19.3	19.4	17.3	16.7	20.0	19.7	17.8	19.6	19.9	18.9	18.8	20.0	22.2	20.5
160	14.0	13.3	13.4	11.3	10.7	14.1	13.8	11.8	13.7	13.9	13.0	12.8	14.1	16.3	14.6
200	9.8	9.0	9.2	7.0	6.3	10.0	9.5	7.5	9.4	9.7	8.6	8.5	9.8	12.2	10.3



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



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

## LIITE 3: SIOITUSSUUNNITELMAT

Voimaloiden sijainnit on esitetty alla olevissa taulukoissa.

*Taulukko 11. Kvarnbackenin voimaloiden sijaintitiedot (6 voimalaa).*

Voimalan ID	Itäinen (ETRS-TM35-FIN)	Pohjoinen (ETRS-TM35-FIN)	Tuulivoimalatyyppi
1	331454	7036001	SG-170 6,6MW 210 m HH, 106,0+2 dB(A)
2	331963	7035403	SG-170 6,6MW 210 m HH, 106,0+2 dB(A)
3	332761	7034784	SG-170 6,6MW 210 m HH, 106,0+2 dB(A)
4	333290	7034438	SG-170 6,6MW 210 m HH, 106,0+2 dB(A)
5	334020	7033922	SG-170 6,6MW 210 m HH, 106,0+2 dB(A)
6	334417	7033582	SG-170 6,6MW 210 m HH, 106,0+2 dB(A)