

# Tuulivoimahankkeen meluselvitys

KOLSA-JUVANSUO – LAITILA JA MYNÄMÄKI

MIKA LAITINEN

12.04.2022

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen melueselvitys: Kolsa-Juvansuo – Laitila ja Mynämäki  
TV-2022-607-1, 12.04.2022

## Asiakas

Mika Manninen  
Sweco Finland Oy

## Raportin tekijät

Mika Laitinen, Numerola Oy  
[mika.laitinen@numerola.fi](mailto:mika.laitinen@numerola.fi)

## Asiatarkastus

Erkki Heikkola ja Pasi Tarvainen

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvon Laitilan kaupungin ja Mynämäen kunnan alueelle suunnitellun Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla 11 ja 12 voimalan sijoitussuunnitelmille. Tuulivoimaloiden aiheuttamat äänitasot lasketaan käyttäen turbiinityyppien GE 5.5-158 ja GE 6.0-164 teknisiä tietoja. Tulosten arvioinnissa käytetään valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön sekä ympäristöhallinnon esittämiä ohjeistoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Aineistojen käyttöoikeudet

Selvityksessä on käytetty Maanmittauslaitoksen ja Suomen ympäristökeskuksen avoimien aineistojen käyttö lupien alaista materiaalia, jotka on lisensoitu Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	12.04.2022		Mika Laitinen

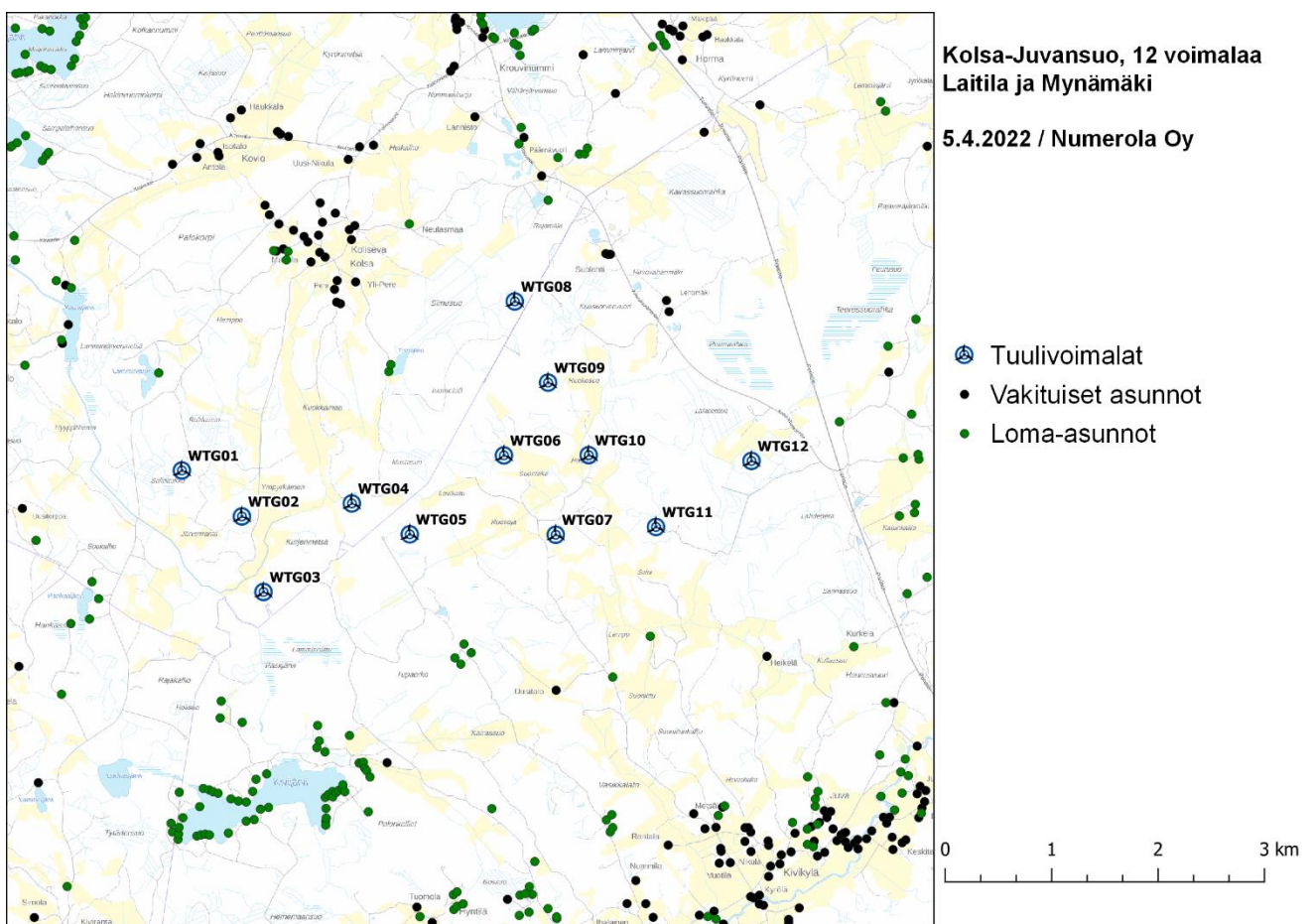
## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Tuulivoimaloiden melu .....	5
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	5
2.2	Melumallinnusohjeistus .....	6
2.3	Ohjeavot.....	7
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	9
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	9
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	13
4	Yhteenveto .....	18
5	Viitteet .....	19
6	Melumallinnuksen tiedot .....	21

# 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Laitilan kaupungin ja Mynämäen kunnan alueille suunnitellun Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi tehdään 11 ja 12 voimalan sijoitussuunnitelmille. Molemmissa sijoitussuunnitelmissa voimaloiden koordinaatit ovat samat lukuun ottamatta voimalaa WTG08, jota ei ole 11 voimalan suunnitelmassa. 12 voimalan sijoitussuunnitelma on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m. 12 voimalan sijoitussuunnitelmalle käytetty turbiinityypin GE 5.5-158 taajuusjakaumaa äänitehotasolla 107,9 dB(A). 11 voimalan sijoitussuunnitelmalle on käytetty turbiinityypin GE 6.0-164 taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A). Nämä äänitehotasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston 12 voimalan sijoitussuunnitelmalla. 11 voimalan sijoitussuunnitelmasta puuttuu voimala WTG08 ja muiden voimaloiden koordinaatit ovat samat molemmissa suunnitelmissa.**

**Taulukko 1: Kolsa-Juvansuon 12 voimalan sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. 11 voimalan sijoitussuunnitelma ei sisällä voimalaa WTG08.**

<b>Turbiinit</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Maaston korkeus [m]</b>
<b>WTG01</b>	216270	6746640	23
<b>WTG02</b>	216835	6746208	31
<b>WTG03</b>	217038	6745498	25
<b>WTG04</b>	217869	6746330	37
<b>WTG05</b>	218413	6746040	36
<b>WTG06</b>	219299	6746782	33
<b>WTG07</b>	219786	6746036	31
<b>WTG08</b>	219401	6748229	38
<b>WTG09</b>	219714	6747466	39
<b>WTG10</b>	220096	6746784	30
<b>WTG11</b>	220729	6746109	35
<b>WTG12</b>	221627	6746730	45

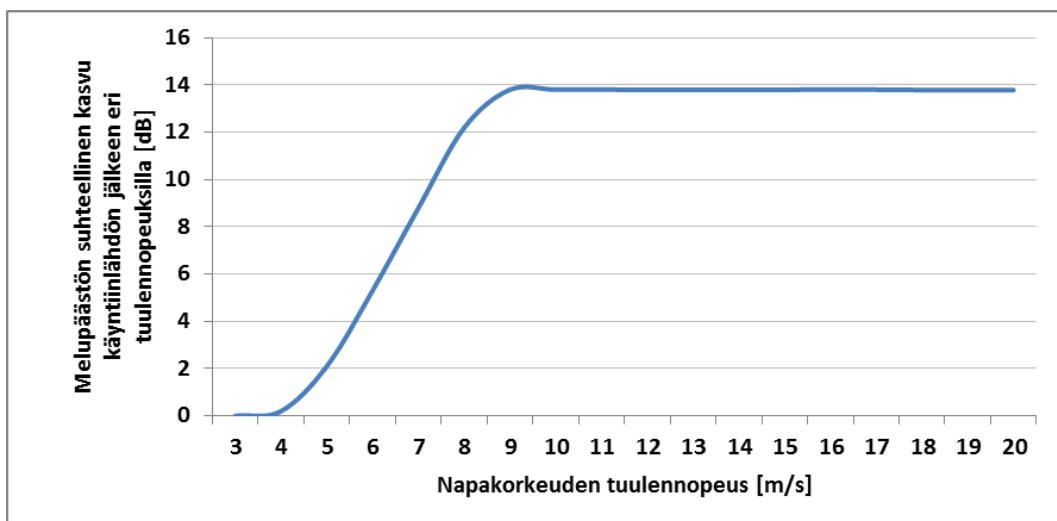
## 2 Tuulivoimaloiden melu

### 2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi [14]. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä [18].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 2).



**Kuva 2: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.**

Äänipäästön  $L_{WA}$  huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa tyypillisesti yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun roottorin pyörimisnopeuden pysyessä ennallaan.

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi

puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenaikasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmakehän turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s modernin voimalan napakorkeudella 139–149 m [16].

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantototeeseen. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

## 2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämistavat. Yksityiskohtainen ohjeistus on koettu tarpeelliseksi, jotta mallinnustulokset olisivat aina tekijöistä riippumatta vertailukelpoisia keskenään. Tämän raportin melumallinnus on toteutettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti.

Melumallinnuksen lähtötietona tulisi käyttää teknisen spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaista turbiinin melupäästön tunnusarvoa (declared value)  $L_{WAd}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta  $L_{WA}$  sekä varmuusarvosta K, joka vastaa turbiinityyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitaajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjeisiin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhteita.

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen sykinnän vaikutukset oletetaan sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, eikä mallinnusohjeistuksessa edellytetä niiden erillistä tarkastelua.

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia ISO 9613-2 -standardiin perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuuden äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuuden äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneristävyydellä.

### 2.3 Ohjearvot

Valtioneuvoston 1.9.2015 voimaan astunut asetus 1107/2015 määrittää tuulivoimaloiden aiheuttaman ulkomelutason ohjearvot [9]. Päätöstä sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä. Ohjearvot määritetään melun A-painotettuina päivä- (klo 07–22) ja yöajan (klo 22–07) ekvivalenttimelutasoina ulkoalueille asumiseen käytettävillä alueilla. Valtioneuvoston asetus korvaa aiemmat ympäristöministeriön suosittamat suunnitteluarvot tuulivoimaloiden ulkomelutasoille [8].

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja.

Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2).

**Taulukko 2: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.**

	Päivä 07-22 L <sub>Aeq</sub> [dB]	Yö 22-07 L <sub>Aeq</sub> [dB]
Pysyvä asutus, loma-asutus, hoitolaitokset, leirintäalueet	45	40
Kansallispuistot	40	40
Oppilaitokset, virkistysalueet	45	-

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa enimmäisarvot matalataajuudelle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuuden melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.



**Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>Äänitaso</b> $L_{eq,1h}$ <b>[dB]</b>	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

## 3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

### 3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu ISO 9613-2 -laskentastandardin mukaisesti Numerola Oy:n implementoimalla ohjelmistolla. 12 voimalan sijoitussuuntelmalle on käytetty turbiinityypin GE 5.5-158 taajuusjakaumaa ja 11 voimalan sijoitussuuntelmalle turbiinityypin GE 6.0-164 taajuusjakaumaa. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems 5.3/5.5-158 - 50 Hz. Product Acoustic Specifications Normal Operation according to IEC. Noise\_Emission-NO\_5.3\_5.5-158-50Hz\_IEC\_EN\_r01, 2019.
- Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems Cypress 6.0-164 - 50Hz. Product Acoustic Specifications According to IEC 61400-11. Noise\_Emission-NO\_Cypress\_6.0-164-50Hz\_LNTE\_EN\_r02, 2021-03-16.

Näiden turbiinityyppien keskimääräiset äänitehotasot ovat 106 dB(A) turbiinityypille GE 5.5-158 ja 107 dB(A) turbiinityypille GE 6.0-164. Turbiinivalmistajan mukaan lisäämällä näihin äänitehotasoihin varmuusarvo 1,9 dB(A), saadaan spesifikaation IEC TS 61400-14 mukaiset melupäästön tunnusarvot. Tällä perusteella mallinnuksessa käytettiin äänitehotasoja 107,9 dB(A) (GE 5.5-158) ja 108,9 dB(A) (GE 6.0-164), joita voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisina melupäästön tunnusarvoina.

Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

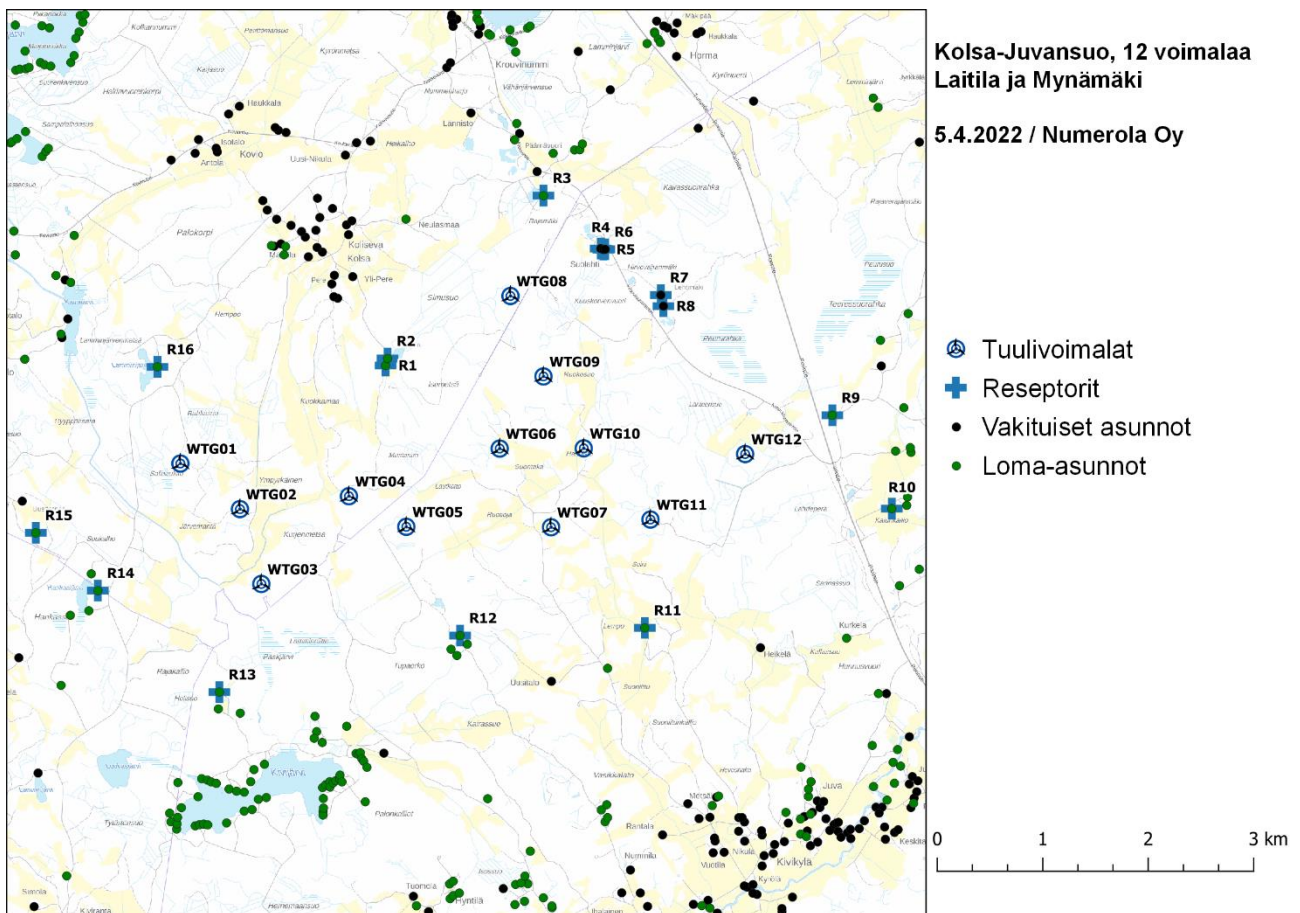
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 6 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorptio aiheuttama vaimennus, äänen suuntaavuus ja sääolosuhteiden vaikutus äänen etenemiseen on määritetty ympäristöministeriön ohjeistusten mukaisesti. Tuulivoimalan sijoituspaikan ympäristössä maaston vaikutuskerroin on ollut maa-alueilla 0,4 ja vesialueilla 0,0. Mallinnusohjeistuksen mukaisesti tuulivoimalan melupäästöön lisätään 2 dB, mikäli voimalan ja melulle altistuvan kohteen välinen korkeusero ylittää 60 m. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 16 rakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Pisteet sijaitsevat lähimmillään noin 0,9–1,5 km etäisyydellä voimaloista. Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	218217	6747568	31	loma-asunto
R2	218236	6747634	32	loma-asunto
R3	219715	6749179	39	loma-asunto
R4	220258	6748677	42	vakituinen asuinrakennus
R5	220283	6748668	43	vakituinen asuinrakennus
R6	220301	6748670	43	vakituinen asuinrakennus
R7	220828	6748236	43	vakituinen asuinrakennus
R8	220853	6748131	43	vakituinen asuinrakennus
R9	222455	6747096	40	loma-asunto
R10	223019	6746211	36	loma-asunto
R11	220676	6745080	27	loma-asunto
R12	218924	6745007	33	loma-asunto
R13	216641	6744471	33	loma-asunto
R14	215488	6745433	31	loma-asunto
R15	214900	6745981	31	loma-asunto
R16	216054	6747555	30	loma-asunto



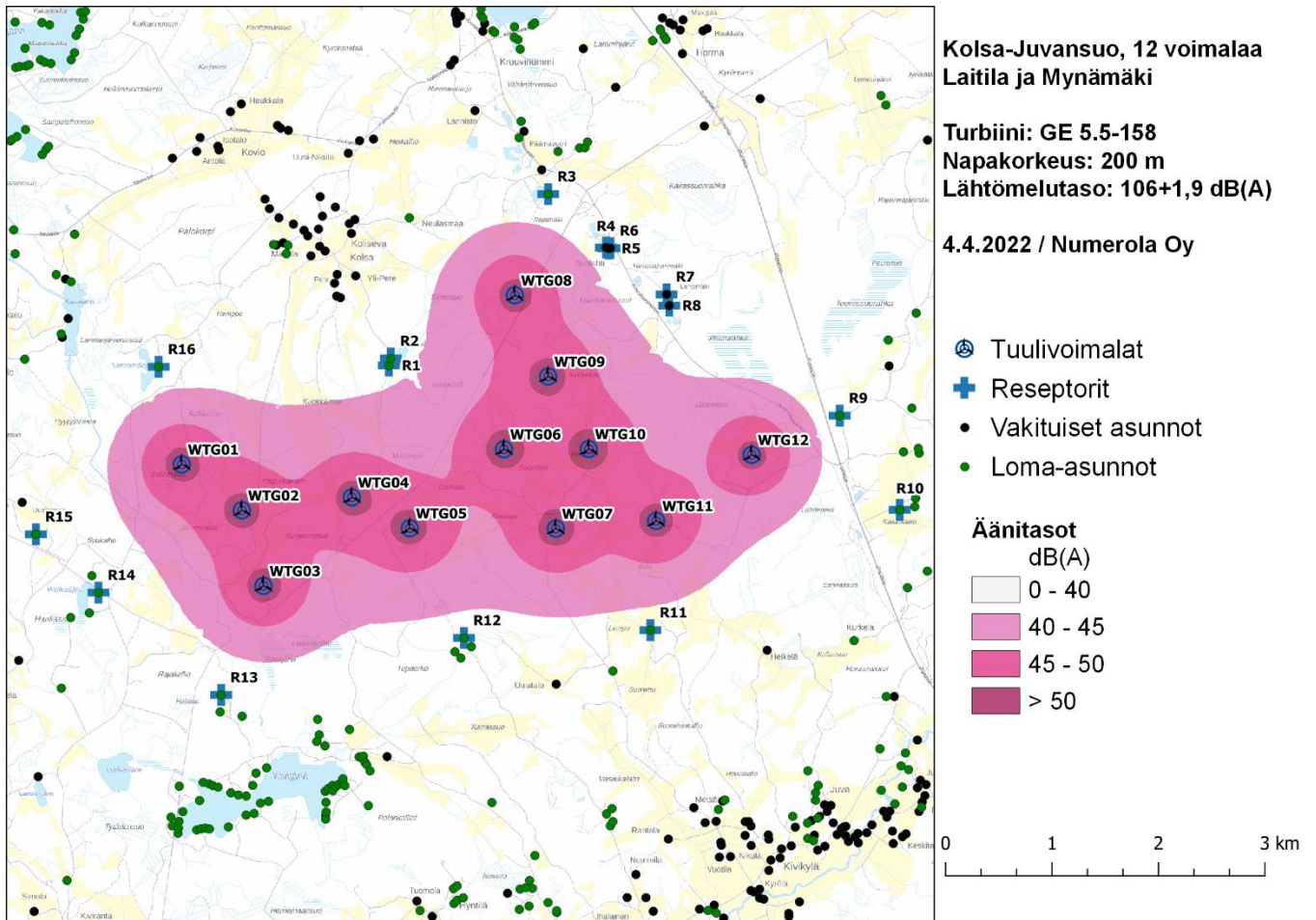
Kuva 3: Vertailupisteiden paikat Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston alueella.

Numerola Oy  
Ylistönmäentie 31  
PL 126  
40101 Jyväskylä

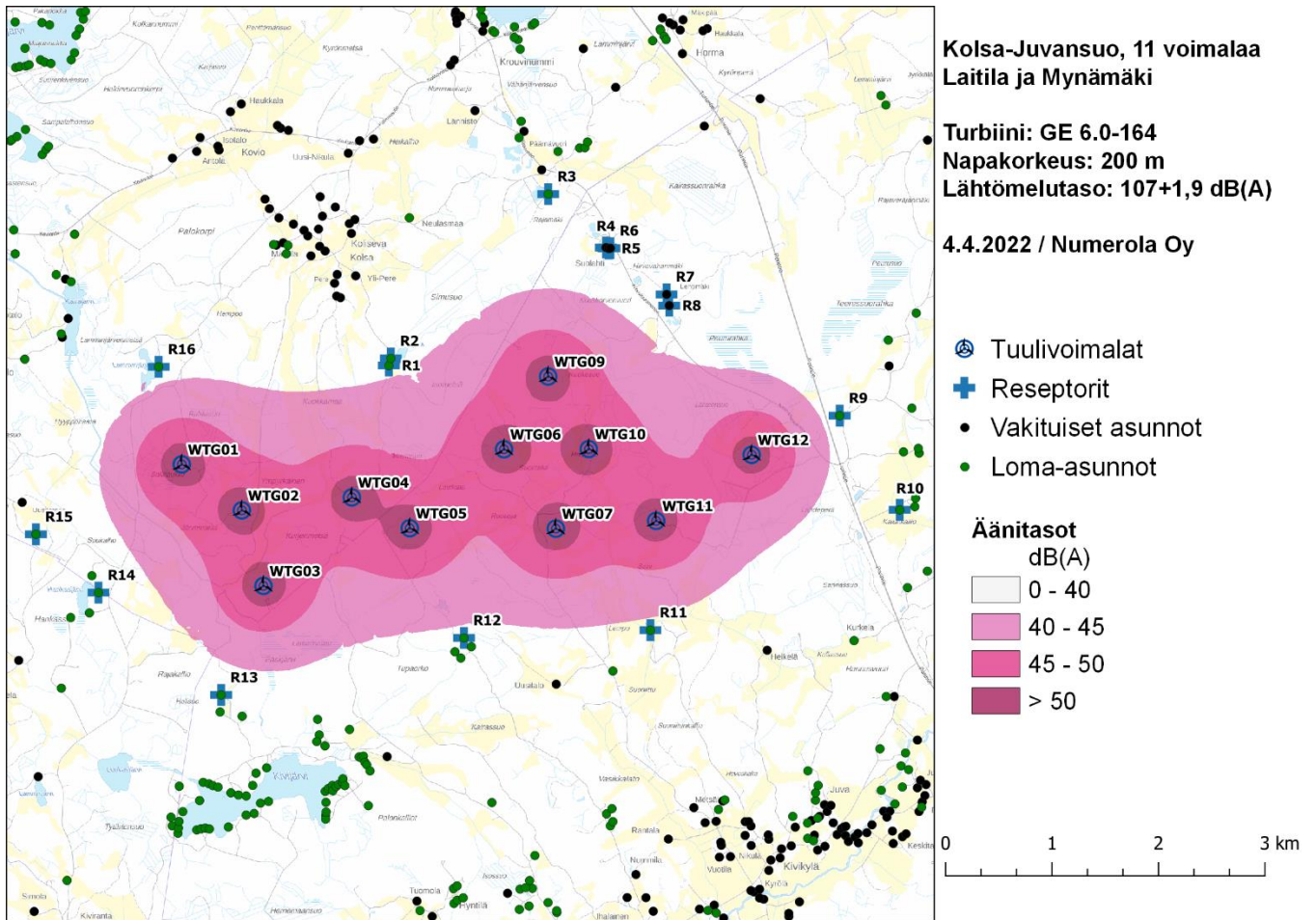
*Simuloimme parempaa  
tulevaisuutta.*

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvina (Kuva 4 ja Kuva 5). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät molemmilla sijoitus suunnitelmilla valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen rakennusten kohdilla.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Kolsa-Juvansuon tuulivoimapaiston 12 voimalan sijoitus suunnitelmalla.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston 11 voimalan sijoitusuunnitelmalla.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	12 voimalaa Äänitaso dB(A)	11 voimalaa Äänitaso dB(A)
R1	39,1	39,3
R2	38,8	38,9
R3	35,7	29,6
R4	38,2	36,1
R5	38,1	36,1
R6	37,9	36,0
R7	37,2	37,1
R8	37,6	37,6
R9	37,2	38,0
R10	32,6	33,5
R11	38,1	39,0
R12	38,2	39,2
R13	36,3	37,2
R14	35,4	36,3
R15	33,3	34,3
R16	37,4	38,3

### 3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia kuin keskiäänitasojen mallinnuksessa, mutta rajoittuen 1/3-oktaaveittain taajuuksille 20–200 Hz. Matalataajuisen melun laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla.

#### Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulkinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisen melun laskenta perustuu Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa esitettyyn menetelmään [3], jonka parametreihin on tehty joitakin Suomen olosuhteisiin perustuvia tarkennuksia. Tanskan menetelmässä on määritelty rakennuksen ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_{\sigma}$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyyssparametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt

arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyysarvot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailukiinteistöjen matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

**Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)</b>	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
<b>Ääneneristävyys [dB] (viite [4])</b>	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,0	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 7 ja Taulukko 8). Taulukoihin on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Molemmilla sijoitussuunnitelmilla korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön R1, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 6 ja Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä molemmilla sijoitussuunnitelmilla.

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 3) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unhäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisen melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Näin tapahtuu tämän raportin mallinnusten perusteella (lukujen 3.1 ja 3.2 tulokset), eikä sisätilojen kokonaismelutasojen tarkistus edellytä erillisiä mallinnuksia. Tätä johtopäätöstä tukevat tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmastoineristykseen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

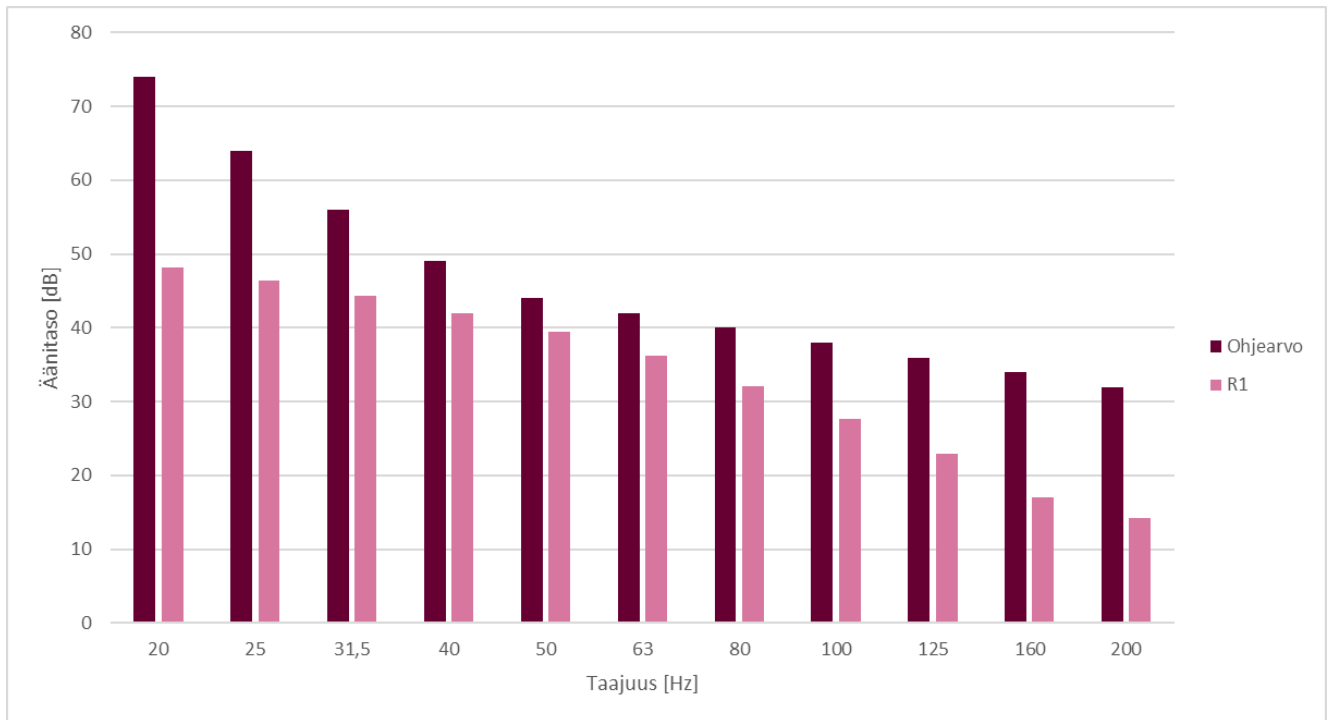
**Taulukko 7: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla 12 voimalan sijoitus suunnitelmalla.**

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	55,8	54,7	53,6	52,3	51,0	49,2	46,9	44,5	41,8	38,2	37,0
<b>R2</b>	55,7	54,6	53,5	52,1	50,8	49,1	46,8	44,4	41,6	38,1	36,8
<b>R3</b>	53,5	52,4	51,3	50,0	48,7	47,0	44,6	42,2	39,4	35,8	34,5
<b>R4</b>	54,6	53,5	52,4	51,0	49,7	48,0	45,7	43,3	40,5	36,9	35,7
<b>R5</b>	54,5	53,4	52,3	51,0	49,7	48,0	45,6	43,2	40,4	36,9	35,6
<b>R6</b>	54,5	53,3	52,2	50,9	49,6	47,9	45,6	43,2	40,4	36,8	35,6
<b>R7</b>	54,2	53,1	52,0	50,7	49,4	47,6	45,3	42,9	40,1	36,5	35,2
<b>R8</b>	54,5	53,3	52,2	50,9	49,6	47,9	45,6	43,1	40,3	36,7	35,5
<b>R9</b>	53,5	52,3	51,2	49,9	48,6	46,9	44,6	42,1	39,4	35,8	34,6
<b>R10</b>	50,8	49,7	48,6	47,2	45,9	44,1	41,8	39,3	36,4	32,6	31,2
<b>R11</b>	54,7	53,6	52,5	51,1	49,8	48,1	45,8	43,4	40,6	37,0	35,8
<b>R12</b>	55,1	54,0	52,9	51,5	50,2	48,5	46,2	43,8	41,0	37,4	36,2
<b>R13</b>	53,2	52,1	51,0	49,7	48,4	46,6	44,3	41,9	39,0	35,4	34,1
<b>R14</b>	52,7	51,6	50,5	49,1	47,8	46,1	43,7	41,3	38,5	34,8	33,5
<b>R15</b>	51,3	50,1	49,0	47,7	46,4	44,6	42,3	39,8	36,9	33,2	31,8
<b>R16</b>	53,9	52,8	51,7	50,3	49,0	47,3	45,0	42,6	39,8	36,2	35,0

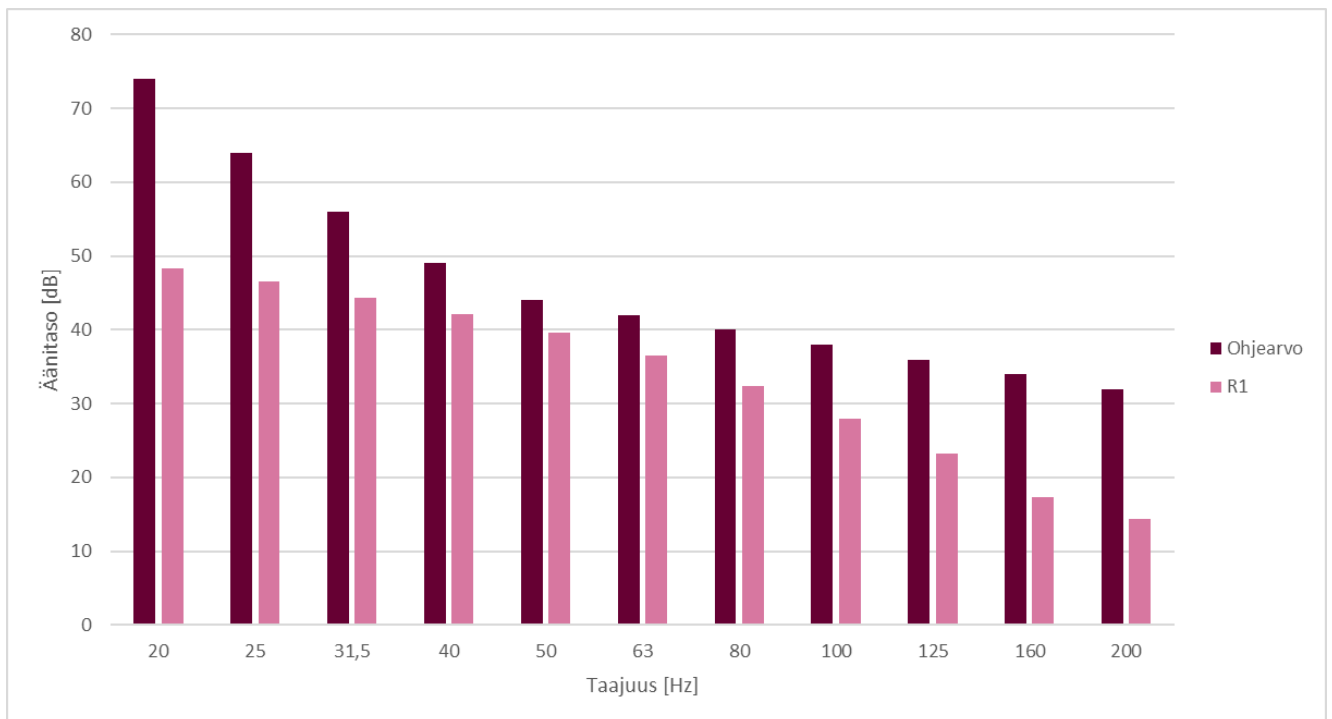


Taulukko 8: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla 11 voimalan sijoitus suunnitelmalla.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	55,9	54,8	53,6	52,4	51,1	49,5	47,2	44,8	42,1	38,5	37,2
R2	55,7	54,6	53,4	52,2	50,9	49,3	47,0	44,6	41,9	38,3	37,0
R3	51,8	50,8	49,6	48,4	47,0	45,4	43,0	40,5	37,7	33,9	32,4
R4	53,4	52,3	51,1	49,9	48,6	46,9	44,6	42,1	39,4	35,7	34,3
R5	53,4	52,3	51,1	49,9	48,6	46,9	44,6	42,2	39,4	35,7	34,3
R6	53,3	52,3	51,1	49,9	48,6	46,9	44,6	42,1	39,4	35,7	34,3
R7	54,0	53,0	51,8	50,6	49,3	47,7	45,3	42,9	40,2	36,5	35,2
R8	54,4	53,4	52,1	50,9	49,6	48,0	45,7	43,2	40,5	36,9	35,5
R9	54,0	53,0	51,8	50,5	49,2	47,6	45,3	42,9	40,2	36,6	35,3
R10	51,3	50,3	49,1	47,8	46,5	44,8	42,5	40,0	37,2	33,4	31,9
R11	55,3	54,3	53,0	51,8	50,5	48,9	46,6	44,2	41,5	37,9	36,6
R12	55,7	54,6	53,4	52,2	50,9	49,3	47,0	44,6	41,9	38,3	37,0
R13	53,8	52,8	51,6	50,4	49,1	47,4	45,1	42,7	40,0	36,4	35,0
R14	53,3	52,3	51,1	49,8	48,5	46,9	44,6	42,1	39,4	35,8	34,4
R15	51,8	50,8	49,6	48,4	47,0	45,4	43,0	40,6	37,8	34,1	32,6
R16	54,4	53,4	52,2	51,0	49,7	48,1	45,8	43,3	40,7	37,1	35,8



Kuva 6: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla 12 voimalan sijoitussuunnitelmalla.



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla 11 voimalan sijoitussuunnitelmalla.

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Laitilan kaupungin ja Mynämäen kunnan alueelle suunnitellun Kolsa-Juvansuon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Vaikutusten arvio on tehty 11 ja 12 voimalan sijoitussuunnitelmille turbiinityyppien GE 5.5-158 ja GE 6.0-164 teknisillä tiedoilla. Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

## 5 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntyvat ja leviäminen, Suomen Ympäristö 4, 2007.
- [2] D. Siponen: Noise Annoyance of Wind Turbines, VTT Research Report VTTR-00951-11, 2011.
- [3] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.
- [4] J. Keränen, J. Hakala, V. Hongisto: The sound insulation of façades at frequencies 5–5000Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö 2015.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Päivitys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5|2016. Ympäristöministeriö, 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [12] IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] G.P. van den Berg: The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.

- [17] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [18] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>TV-2022-607-1</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>12.04.2022</b>			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Mika Laitinen ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Mika Laitinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Pasi Tarvainen</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: <b>General Electric General Electric</b>				Tyyppi: <b>GE 5.5-158 GE 6.0-164</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>5,5 MW 6,0 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m 200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>158 m 164 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
Kyllä	dB	Kyllä	dB				dB
Ei	<b>Ei tiedossa</b>	Ei	<b>Ei tiedossa</b>				dB
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
<b>Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems 5.3/5.5-158 - 50 Hz. Product Acoustic Specifications Normal Operation according to IEC. Noise_Emission-NO_5.3_5.5-158-50Hz_IEC_EN_r01, 2019.</b>							
<b>Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems Cypress 6.0-164 - 50Hz. Product Acoustic Specifications According to IEC 61400-11. Noise_Emission-NO_Cypress_6.0-164-50Hz_LNTE_EN_r02, 2021-03-16.</b>							
Melupäästötiedot, turbiini GE 5.5-158 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	65,0	200	92,7	2000	96,2
63	89,1	25	69,7	250	94,2	2500	94,2
125	94,5	31,5	74,1	315	95,5	3150	91,6
250	99,1	40	78,0	400	96,0	4000	87,8
500	101,6	50	81,3	500	96,8	5000	83,7
1000	103,2	63	84,1	630	97,4	6300	77,4
2000	101,0	80	86,3	800	97,9	8000	67,8
4000	93,6	100	88,0	1000	98,4	10000	55,2
8000	77,9	125	89,6	1250	98,9		
		160	91,1	1600	97,6		

Melupäästötiedot, turbiini GE 6.0-164 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	65,7	200	93,6	2000	97,2
63	90,0	25	70,5	250	95,2	2500	95,2
125	95,5	31,5	74,8	315	96,5	3150	92,5
250	100,0	40	78,8	400	97,0	4000	88,7
500	102,6	50	82,1	500	97,8	5000	84,5
1000	104,2	63	85,0	630	98,5	6300	78,2
2000	102,0	80	87,2	800	98,9	8000	68,5
4000	94,5	100	88,9	1000	99,4	10000	55,8
8000	78,7	125	90,6	1250	99,9		
		160	92,1	1600	98,6		
Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi-modulaatio)		Muu, mikä:	
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei
Laskentakorkeus				Laskentaruudun koko [m x m]			
4 m				10 m x 10 m			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
70 %				15 C°			
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)							
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)							
Maa-alueet (0) / (G)							
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus							
<b>Neutraali</b>							
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen							
<b>Vapaa avaruus</b>							
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)							
Asukkaat: <b>0 kpl</b>		Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>		Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)							
Asukkaat: <b>0 kpl</b>		Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>		Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille							
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>				Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>			
Matalataajuisen melun laskentamenetelmä:							

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella 12 voimalan suunnitelmalle:

Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	55,8	55,7	53,5	54,6	54,5	54,5	54,2	54,5	53,5	50,8
25	54,7	54,6	52,4	53,5	53,4	53,3	53,1	53,3	52,3	49,7
31,5	53,6	53,5	51,3	52,4	52,3	52,2	52,0	52,2	51,2	48,6
40	52,3	52,1	50,0	51,0	51,0	50,9	50,7	50,9	49,9	47,2
50	51,0	50,8	48,7	49,7	49,7	49,6	49,4	49,6	48,6	45,9
63	49,2	49,1	47,0	48,0	48,0	47,9	47,6	47,9	46,9	44,1
80	46,9	46,8	44,6	45,7	45,6	45,6	45,3	45,6	44,6	41,8
100	44,5	44,4	42,2	43,3	43,2	43,2	42,9	43,1	42,1	39,3
125	41,8	41,6	39,4	40,5	40,4	40,4	40,1	40,3	39,4	36,4
160	38,2	38,1	35,8	36,9	36,9	36,8	36,5	36,7	35,8	32,6
200	37,0	36,8	34,5	35,7	35,6	35,6	35,2	35,5	34,6	31,2
Hz	R11	R12	R13	R14	R15	R16				
20	54,7	55,1	53,2	52,7	51,3	53,9				
25	53,6	54,0	52,1	51,6	50,1	52,8				
31,5	52,5	52,9	51,0	50,5	49,0	51,7				
40	51,1	51,5	49,7	49,1	47,7	50,3				
50	49,8	50,2	48,4	47,8	46,4	49,0				
63	48,1	48,5	46,6	46,1	44,6	47,3				
80	45,8	46,2	44,3	43,7	42,3	45,0				
100	43,4	43,8	41,9	41,3	39,8	42,6				
125	40,6	41,0	39,0	38,5	36,9	39,8				
160	37,0	37,4	35,4	34,8	33,2	36,2				
200	35,8	36,2	34,1	33,5	31,8	35,0				



Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella 11 voimalan suunnitelmalle:										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	55,9	55,7	51,8	53,4	53,4	53,3	54,0	54,4	54,0	51,3
25	54,8	54,6	50,8	52,3	52,3	52,3	53,0	53,4	53,0	50,3
31,5	53,6	53,4	49,6	51,1	51,1	51,1	51,8	52,1	51,8	49,1
40	52,4	52,2	48,4	49,9	49,9	49,9	50,6	50,9	50,5	47,8
50	51,1	50,9	47,0	48,6	48,6	48,6	49,3	49,6	49,2	46,5
63	49,5	49,3	45,4	46,9	46,9	46,9	47,7	48,0	47,6	44,8
80	47,2	47,0	43,0	44,6	44,6	44,6	45,3	45,7	45,3	42,5
100	44,8	44,6	40,5	42,1	42,2	42,1	42,9	43,2	42,9	40,0
125	42,1	41,9	37,7	39,4	39,4	39,4	40,2	40,5	40,2	37,2
160	38,5	38,3	33,9	35,7	35,7	35,7	36,5	36,9	36,6	33,4
200	37,2	37,0	32,4	34,3	34,3	34,3	35,2	35,5	35,3	31,9
Hz	R11	R12	R13	R14	R15	R16				
20	55,3	55,7	53,8	53,3	51,8	54,4				
25	54,3	54,6	52,8	52,3	50,8	53,4				
31,5	53,0	53,4	51,6	51,1	49,6	52,2				
40	51,8	52,2	50,4	49,8	48,4	51,0				
50	50,5	50,9	49,1	48,5	47,0	49,7				
63	48,9	49,3	47,4	46,9	45,4	48,1				
80	46,6	47,0	45,1	44,6	43,0	45,8				
100	44,2	44,6	42,7	42,1	40,6	43,3				
125	41,5	41,9	40,0	39,4	37,8	40,7				
160	37,9	38,3	36,4	35,8	34,1	37,1				
200	36,6	37,0	35,0	34,4	32,6	35,8				