



Pohjan Voima Oy

Santakankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE1)

101021203-004

Tekijä
Erkki Heikkola

pvm
15/01/2024

Osasto
Wind and Solar Finland

Projektinnumero
101021203-004

E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Raporttiversio
003

Raportin tila
LOPULLINEN

Asiakas

Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Santakankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE1)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	07.08.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	07.08.2023/ Riku Suutari, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	02.10.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	02.10.2023/ Riku Suutari, Senior Consultant	Esitetty Santakankaan vaikutukset ja yhteisvaikutukset erikseen
003	15.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	15.01.2024/ Riku Suutari, Senior Consultant	Lisätty karttakuva pelkän Santakankaan vaikutuksista ja arvioitu yhteisvaikutus Kolmihaaran kohteen kanssa.

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>.

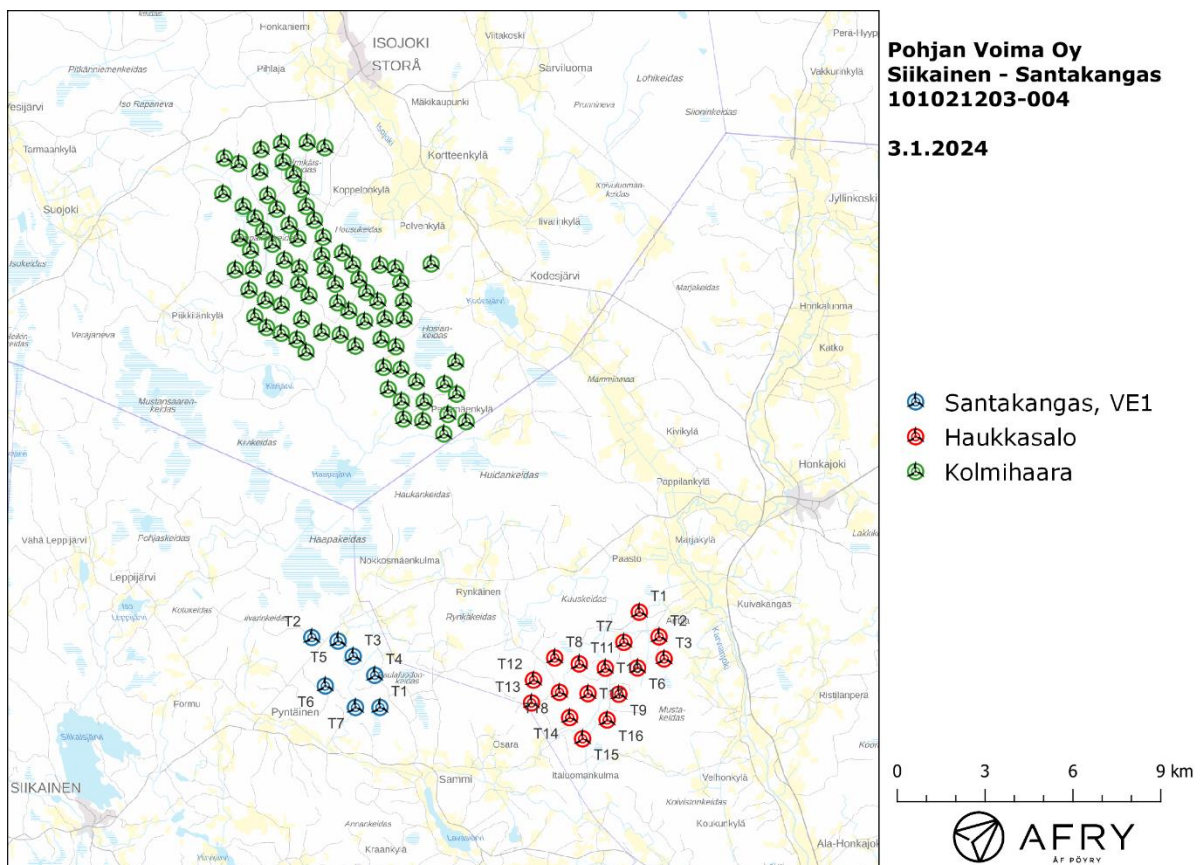
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	15
4	Yhteenveto	19
5	Viitteet	20
6	Melumallinnuksen tiedot	21

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Siikaisten kuntaan suunnitellun Santakankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 7 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1. Arvioinnissa huomioidaan myös lähelle suunniteltavat Kankaanpään Haukkasalon tuulipuisto (16 voimalaa) ja Isojoen Kolmihaaran tuulipuisto (77 voimalaa). Selvityksessä huomioitujen voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1). Santakankaan, Haukkasalon ja Kolmihaaran voimaloiden koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1-Taulukko 3).

Mallinnuksissa kaikille tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 3 dB(A)). Valmistajan ilmoittamaan melupäästön lukuarvoon lisätään siis 3 dB varmuusarvo, joka on korkeampi kuin ympäristöministeriön ohjeistama 2 dB ohjeistuksen mukaisen tunnusarvon saavuttamiseksi. Tällä tavoin otetaan kohteen suunnittelussa huomioon myös turbiinityypit, joiden melupäästö on korkeampi kuin tässä selvityksessä käytetty V172.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE1.

Taulukko 1: Santakankaan VE1 turbiinipaikkojen (7 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	237718,8	6875364,9	75,7
T2	235391,1	6877752,4	79,5
T3	236804,8	6877111,5	79,8
T4	237541,4	6876463,1	80,4
T5	236287,4	6877631,4	77,8
T6	235851,0	6876098,0	78,0
T7	236883,6	6875364,3	75,7

Taulukko 2: Haukkasalon turbiinien sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246581,9	6878618,7	95,7
T2	247257,4	6877777,1	98,1
T3	247430,2	6877022,4	96,0
T6	246522,8	6876714,0	95,3
T7	246053,8	6877590,2	93,6
T8	243691,2	6877054,4	94,4
T9	245881,6	6875816,8	90,3
T10	245420,6	6876703,7	92,9
T11	244529,8	6876851,6	91,1
T12	242967,8	6876299,3	90,4
T13	242898,4	6875519,6	87,2
T14	244202,0	6875018,5	87,0
T15	244644,8	6874294,8	83,8
T16	245483,1	6874937,6	87,9
T17	244829,3	6875835,4	90,4
T18	243854,8	6875880,5	87,2

Taulukko 3: Kolmihaaran turbiinien sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]	Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	239901	6884705	95,8	T44	238433	6889875	105,6
T2	238525	6885215	87,9	T45	234113	6889985	90,1
T3	239182	6885153	92,8	T46	237001	6889992	106,3
T4	238451	6885827	89,3	T47	235848	6890297	97,8
T5	240041	6885371	98,3	T48	232774	6890309	85,5
T6	239231	6885801	94,4	T49	233390	6890327	90,8
T7	238963	6886493	97,6	T50	234965	6890367	96,0
T9	238002	6886232	89,7	T51	238250	6890369	104,7
T11	239927	6886411	100,4	T52	237720	6890473	106,0
T12	237841	6886980	93,6	T53	239469	6890510	106,4
T13	238435	6886912	95,9	T54	236788	6890491	106,9
T16	240666	6885123	95,4	T55	235733	6890798	98,7
T17	240308	6887159	100,7	T56	234454	6890643	93,8
T18	240340	6886066	97,8	T57	236436	6890887	103,2
T19	236882	6887706	94,9	T58	233300	6890978	89,3
T20	235194	6887504	83,3	T59	234048	6891185	91,8
T21	237760	6887935	96,2	T60	232927	6891396	91,9
T22	238266	6887683	95,8	T61	234915	6891379	94,8
T23	237195	6888555	97,6	T62	235781	6891424	101,1
T24	236364	6888092	93,6	T63	233749	6891633	92,0
T25	233844	6888339	85,5	T64	234614	6891841	96,0
T26	234881	6887928	86,0	T65	233451	6892081	92,3
T27	235730	6888176	87,0	T66	235482	6892003	100,7
T28	238544	6888622	100,3	T67	234197	6892379	95,6
T29	234345	6888144	85,5	T68	235200	6892478	98,7
T30	237889	6888635	99,3	T69	233044	6892478	92,8
T31	236656	6888909	98,5	T70	235026	6893057	100,1
T32	233442	6888701	82,9	T71	232352	6892910	92,5
T33	237645	6889241	102,1	T72	233881	6892849	97,5
T34	235041	6888614	88,3	T73	233617	6893654	96,5
T35	234346	6889096	87,6	T74	234410	6893994	98,9
T36	236273	6889183	98,2	T75	232897	6893936	94,8
T37	233804	6889272	86,0	T76	232403	6894127	92,5
T38	238523	6889226	101,7	T77	233658	6894421	98,4
T39	235295	6889421	90,9	T78	235232	6894662	105,9
T40	237262	6889535	101,3	T79	234352	6894628	102,6
T41	233245	6889623	84,1	T80	235838	6894480	103,0
T42	236194	6889817	97,2	T81	234769	6893579	97,9
T43	234943	6889842	91,7				

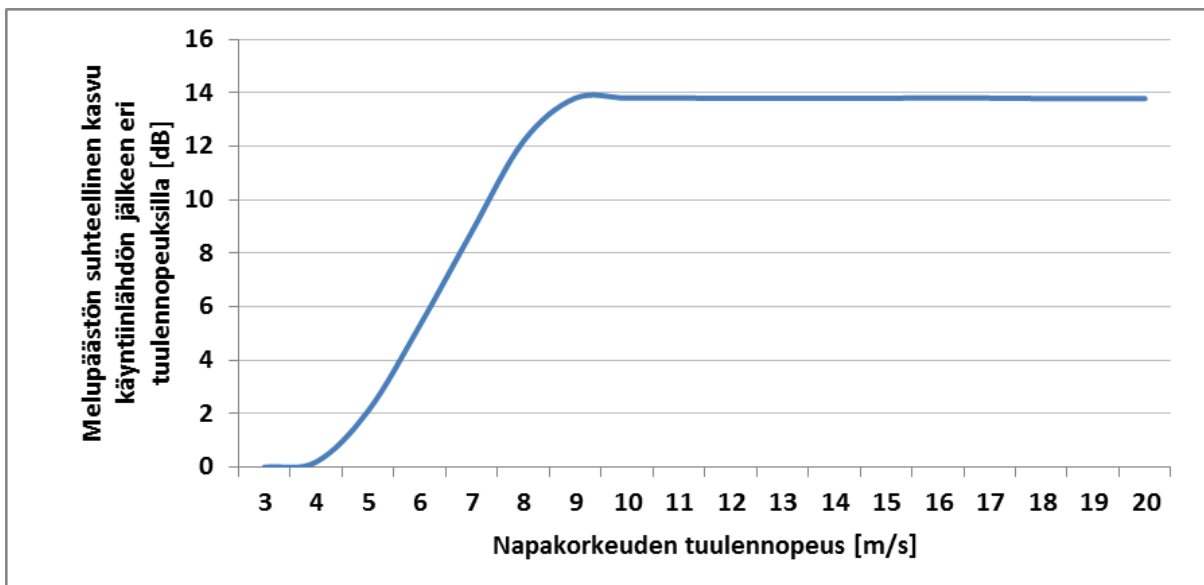
2 Tuulivoimaloiden melu

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 kokonaisäänienenergiasta 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 etupuolessa 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 siipikulmasääto 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, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran 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 tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaoiduksen, 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 suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huo-

mioon. Lisäksi matalataajuisen 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. Matalataajuisen 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 ääneneneristävyydellä.

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 suosittelemat 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 4).

Taulukko 4: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA _{eq} yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 5: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainotamattomia.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitaso $L_{eq,1h}$ [dB]	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 laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336_00. 2022-06-30.

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty 3 dB:n varmuusarvo, joka on korkeampi kuin ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB [10]:

”Takuuarvoa ei ole aina esitetty dokumentissa IEC 61400-14 standardin määrittämällä tavalla ja takuuarvo joudutaan tällöin arvioimaan hankekehittäjän tai meluselvitystä tekevän konsultin toimesta. Tässä tapauksessa laskeminen tulee suorittaa IEC 61400-14 mukaisesti. Mikäli takuuarvoa ei ole mahdollista määrittää standardin IEC 61400-14 mukaisesti, tulee tuulivoimalan melupäästön lukuarvoon lisätä varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi.”

Turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinuksissa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksessa.

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.

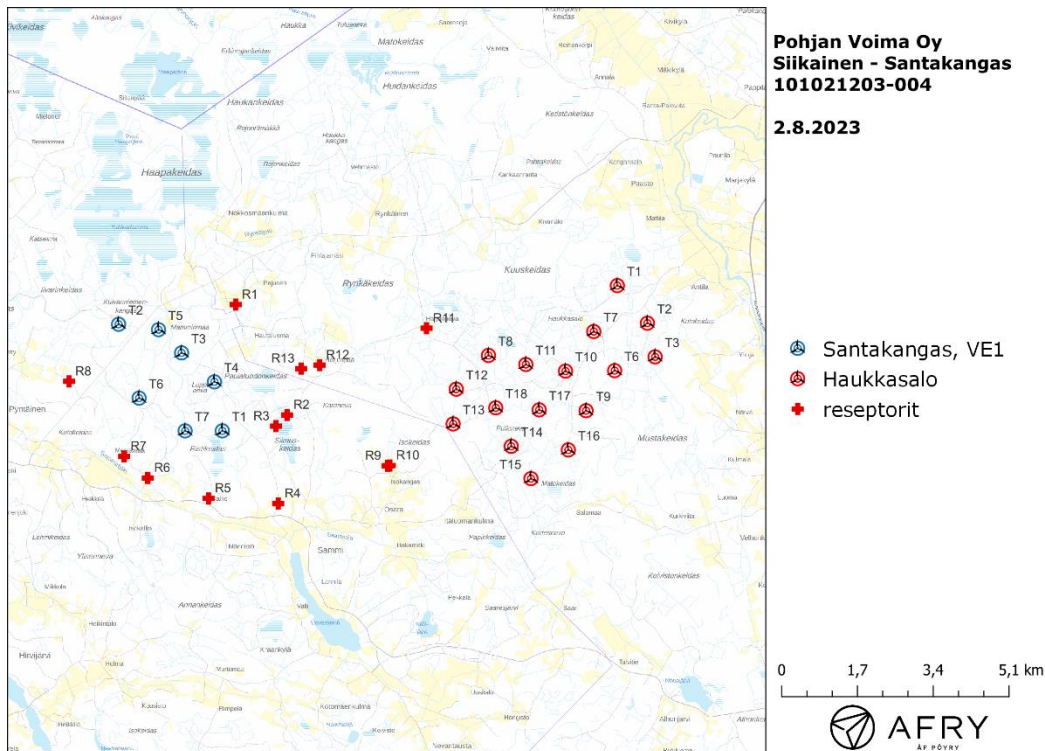
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorption 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 6) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 vertailurakennusta, joiden kohdilla LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla

(Kuva 3). Reseptoripisteet sijaitsevat lähimmillään noin 1,2 km etäisyydellä Santakankaan voimaloista.

Taulukko 6: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	238022	6878190	78,8	lomarakennus
R2	239174	6875717	84,8	lomarakennus
R3	238925	6875467	83,9	rakenteilla oleva lomarakennus
R4	238975	6873732	77,8	vakituinen asuinrakennus
R5	237411	6873848	67,2	lomarakennus
R6	236048	6874305	65,8	lomarakennus
R7	235518	6874788	68,0	lomarakennus
R8	234283	6876471	73,0	vakituinen asuinrakennus
R9	241432	6874577	81,6	vakituinen asuinrakennus
R10	241478	6874585	81,5	vakituinen asuinrakennus
R11	242303	6877661	90,0	vakituinen asuinrakennus
R12	239905	6876834	90,9	vakituinen asuinrakennus
R13	239490	6876755	90,9	vakituinen asuinrakennus

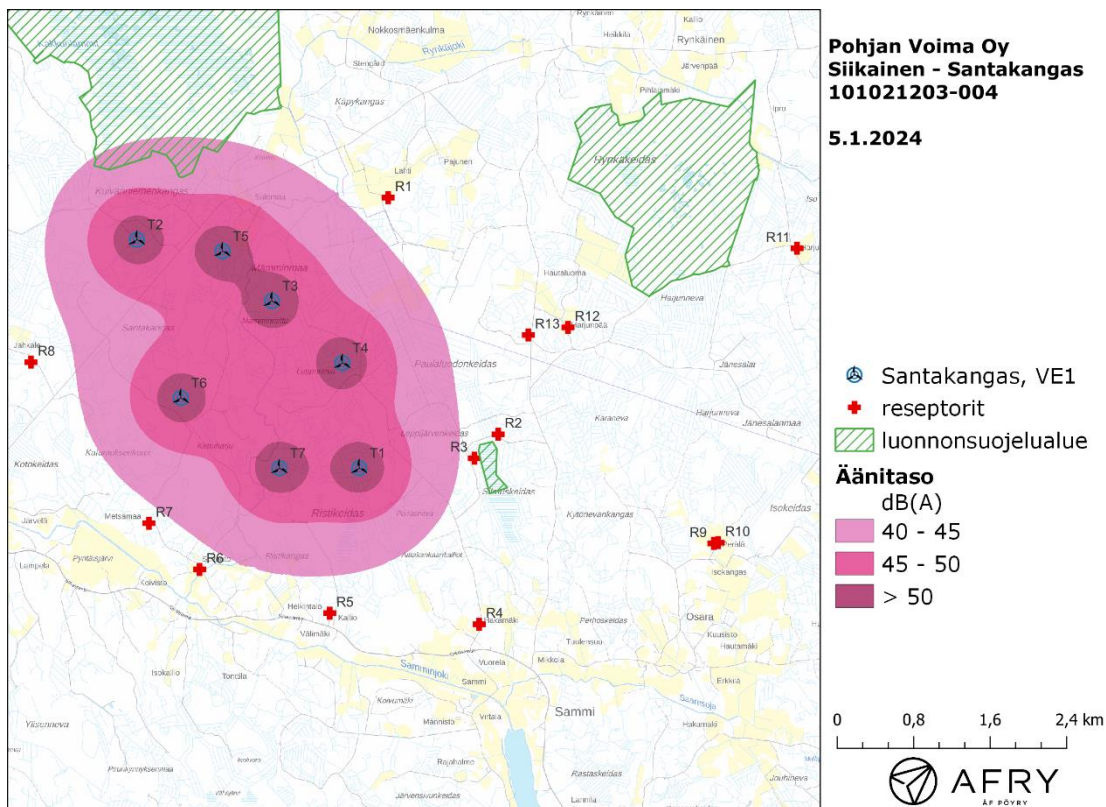


Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

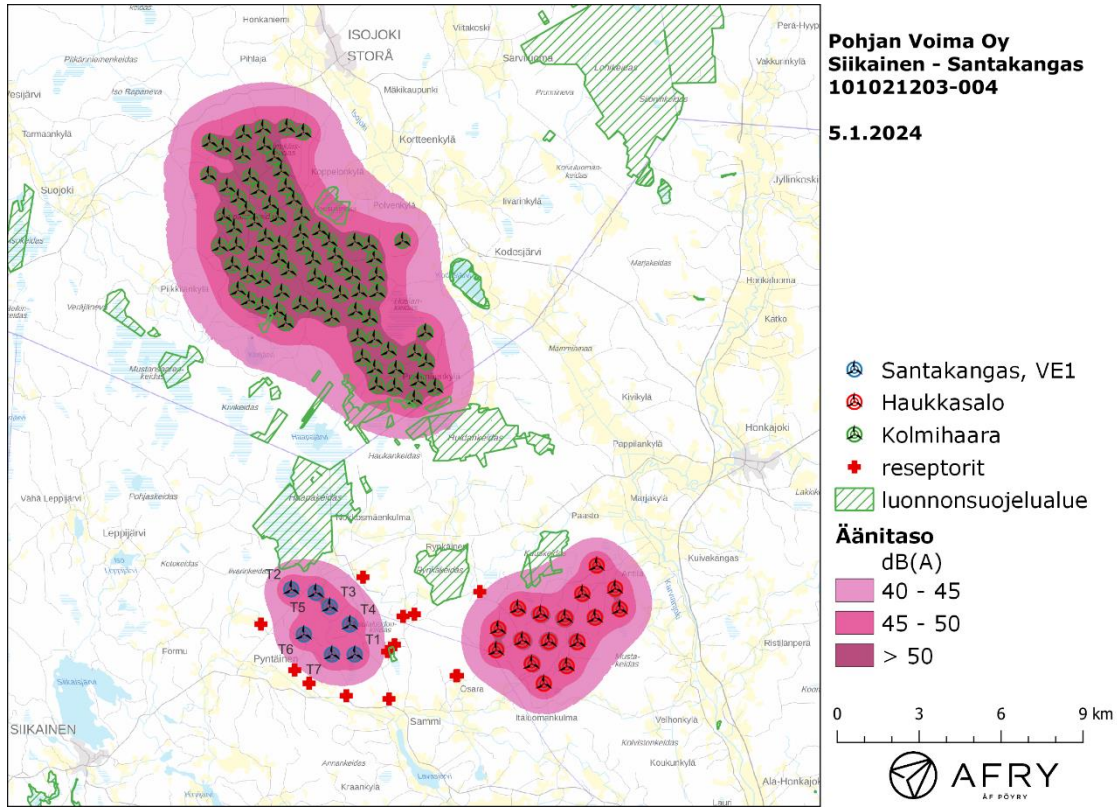
Meluvaikutus

Santakankaan tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{Aeq} on esitetty karttakuvana (Kuva 4) ja vastaava karttakuva yhteisvaikutuksista naapurivoimaloiden kanssa on kuvassa (Kuva 5). Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa, ja melutasoja arvioidaan tarkemmin karttaan merkityissä reseptoripisteissä. Karttakuviin on lisäksi merkitty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet, joista yksi altistuu Santakankaan tuulivoimaloiden melulle.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7), jossa on eroteltuna pelkästään Santakankaan voimaloista aiheutuvat melutasot sekä yhteisvaikutuksista aiheutuvat tasot. Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot eivät ylitä valtioneuvoston asetuksen 40 dB:n ohjearvoa kummassakaan tapauksessa.



Kuva 4: Santakankaan voimaloiden aiheuttamat keskiäänitasot L_{Aeq} sijoitussuunnitelmalla VE1.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE1.

Taulukko 7: Santakangas voimaloiden aiheuttamat keskiäänitasot LAeq sekä yhteisvaikutuksista aiheutuvat tasot reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A) Santakangas	Äänitaso dB(A) Santakangas + naapurit
R1	38,1	38,7
R2	37,4	38,2
R3	38,9	39,4
R4	33,6	34,8
R5	37,3	37,5
R6	38,4	38,6
R7	38,9	39,1
R8	37,6	37,8
R9	27,4	37,2
R10	27,3	37,3
R11	25,1	39,5
R12	33,3	35,9
R13	35,2	36,9

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 5). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulokinnassa 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 ääneneristävyysparametri (ΔL_{σ}) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyysparametrit 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 vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 8) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 8: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Ääneneristävyys [dB] (viite [4])	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 8) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Pelkästään Santakankaan turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Kun otetaan huomioon yhteisvaikutukset naapurivoimaloiden kanssa saadaan taulukossa (Taulukko 10) esitetyt matalataajuiset äänitasot.

Korkeimmat Santakankaan aiheuttamat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R7, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 6). Kun otetaan huomioon yhteisvaikutukset naapurivoimaloiden

kanssa, korkeammat matalataajuiset melutasot Santakankaan lähellä saavutetaan rakennuksen R3 kohdalla (Kuva 6). Korkeimmat melutasot saavutetaan pisteen R11 kohdalla, mutta nämä aiheutuvat pääosin Haukkasalon voimaloista. Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät kaikissa pisteissä asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

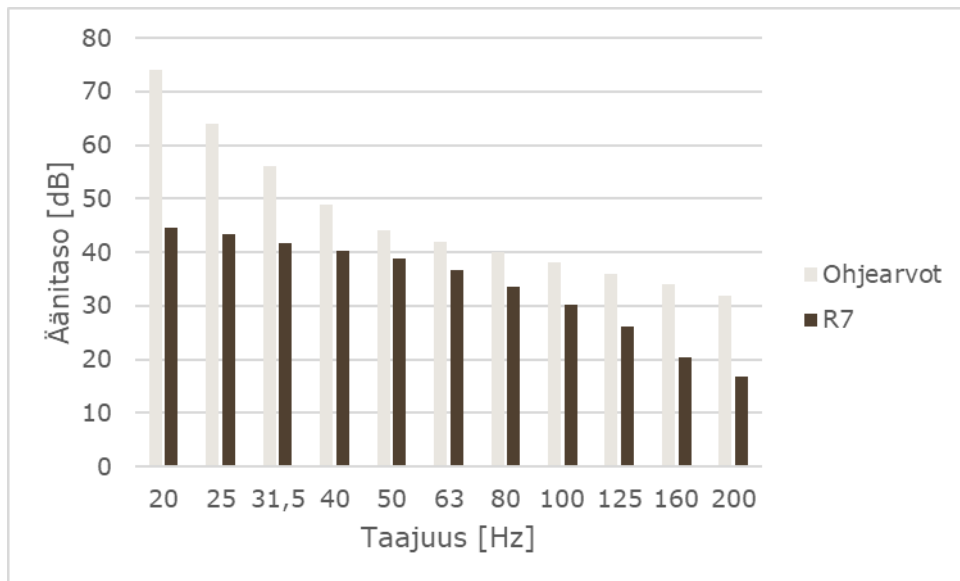
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 5) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti 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.

Taulukko 9: Santakankaan voimaloiden aiheuttamat matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

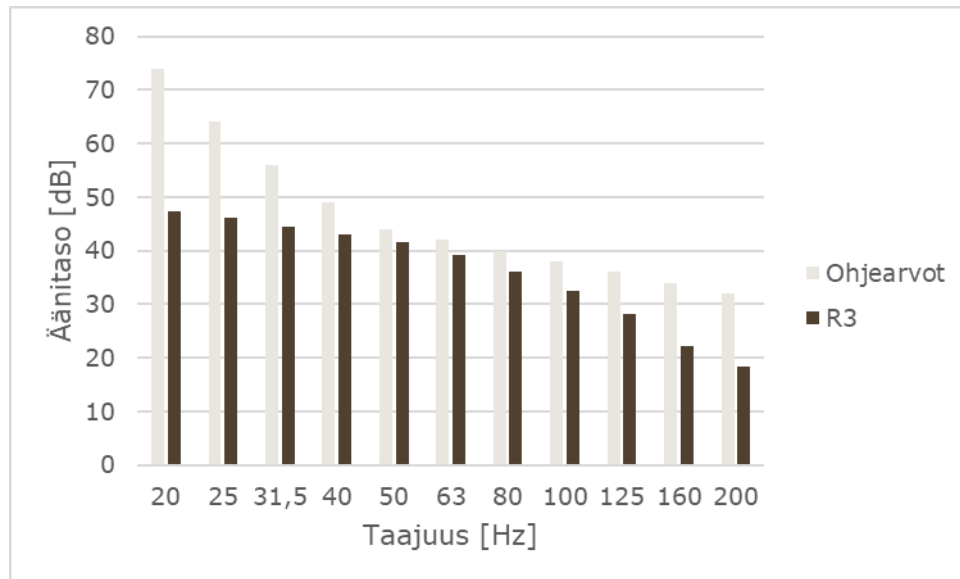
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,6	51,0	50,3	49,9	49,7	48,9	47,7	46,4	44,1	40,7	38,9
R2	51,1	50,5	49,8	49,3	49,1	48,4	47,2	45,8	43,6	40,1	38,3
R3	52,1	51,5	50,8	50,4	50,1	49,4	48,2	46,9	44,7	41,3	39,5
R4	48,4	47,7	47,0	46,5	46,3	45,5	44,3	42,9	40,5	36,9	34,9
R5	51,1	50,4	49,7	49,3	49,1	48,3	47,1	45,8	43,5	40,1	38,3
R6	51,8	51,2	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,6	44,4	40,9	39,2
R7	52,3	51,6	50,9	50,5	50,3	49,6	48,4	47,0	44,8	41,4	39,7
R8	51,3	50,7	50,0	49,5	49,3	48,6	47,4	46,0	43,8	40,3	38,5
R9	44,5	43,9	43,1	42,6	42,4	41,5	40,2	38,6	36,0	32,0	29,6
R10	44,5	43,8	43,0	42,6	42,3	41,5	40,1	38,5	35,9	31,9	29,5
R11	43,3	42,6	41,8	41,3	41,0	40,2	38,8	37,1	34,4	30,3	27,6
R12	48,4	47,7	47,0	46,6	46,3	45,5	44,3	42,8	40,5	36,9	34,8
R13	49,6	49,0	48,3	47,8	47,6	46,9	45,6	44,2	41,9	38,4	36,4

Taulukko 10: Santakankaan, Haukkasalon ja Kolmihaaran aiheuttamat matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB).

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



Kuva 6: Santakankaan voimaloiden aiheuttamat matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R7 kohdalla.



Kuva 7: Santakankaan, Haukkasalon ja Kolmihaaran voimaloiden aiheuttamat matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R3 kohdalla.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Siikaisten kuntaan suunnitellun Santakankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 7 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE1 ottaen huomioon yhteisvaikutukset lähelle suunniteltujen Haukkasalon ja Kolmihaaran tuulipuistojen kanssa. Vaikutusten arviointi on tehty napakorkeudella 200 m, voimalatyypin V172 7.2 MW taajuusjakaumilla ja käyttäen 3 dB:n varmuusarvoa valmistajan ilmoittamalle melupäästölle.

Mallinnusten perusteella melutasot eivät ylitä valtioneuvoston ohjearvoja alueen rakennusten kohdilla. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla Asumis-terveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

5 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat 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 ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto 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: 101021203-004.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 15.1.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Erkki Heikkola							
Laatija: Erkki Heikkola				Tarkastaja/hyväksyjä: Riku Suutari			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 200 m		Roottorin halkaisija: 172 m		Tornin tyyppi:	
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							
Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,0	200	98,1	2000	92,2
63	92,5	25	69,2	250	98,7	2500	89,8
125	100,2	31,5	74,0	315	98,8	3150	87,1
250	103,3	40	78,8	400	99,0	4000	84,1
500	103,5	50	83,2	500	98,7	5000	80,7
1000	101,8	63	87,0	630	98,5	6300	76,9
2000	97,2	80	90,3	800	98,0	8000	72,8
4000	89,5	100	93,1	1000	97,1	10000	68,3
8000	78,7	125	95,3	1250	95,8		
		160	97,0	1600	94,2		



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: Maanmittauslaitos					Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet									
ISO 9613-2									
Vesialueet, (0) / (G)									
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)									
Maa-alueet (0) / (G)									
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus									
Neutraali									
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen									
Vapaa avaruus									
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)									
Asuinrakennukset: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)									
Asuinrakennukset: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille									
Virkistysalueet: 0 kpl					Luonnonsuojelualueet: 1 kpl				
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
20	53,8	53,5	54	51,5	52,7	53,1			
25	53,1	52,8	53,3	50,8	52	52,5			
31,5	52,4	52	52,6	50	51,3	51,7			
40	51,9	51,6	52,1	49,5	50,8	51,2			
50	51,7	51,3	51,8	49,2	50,5	51			
63	50,8	50,5	51	48,3	49,7	50,2			
80	49,5	49,1	49,7	46,9	48,3	48,8			
100	47,9	47,6	48,2	45,2	46,8	47,3			
125	45,4	45,1	45,8	42,6	44,4	44,9			
160	41,7	41,4	42,2	38,7	40,7	41,3			
200	39,6	39,3	40,2	36,3	38,7	39,3			

Hz	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
20	53,5	52,9	53	53,1	54,5	52,7	53
25	52,8	52,2	52,3	52,4	53,9	52	52,3
31,5	52,1	51,4	51,6	51,7	53,1	51,2	51,5
40	51,6	51	51,1	51,2	52,7	50,7	51
50	51,3	50,7	50,8	50,9	52,4	50,4	50,8
63	50,5	49,8	50	50,1	51,6	49,6	49,9
80	49,2	48,5	48,6	48,7	50,3	48,2	48,5
100	47,7	47	47,1	47,2	48,8	46,5	46,9
125	45,4	44,5	44,6	44,7	46,4	43,9	44,3
160	41,8	40,8	40,8	40,9	42,7	40	40,5
200	39,9	38,8	38,6	38,8	40,7	37,6	38,2



Pohjan Voima Oy

Santakankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE2)

101021203-004

Tekijä
Erkki Heikkola

pvm
15/01/2024

Osasto
Wind and Solar Finland

Projektinnumero
101021203-004

E-mail
erkki.heikkola@afry.com

Raporttiversio
003

Raportin tila
LOPULLINEN

Asiakas

Pohjan Voima Oy
Sami Merelä

Santakankaan tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	07.08.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	07.08.2023/ Riku Suutari, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	02.10.2023/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	02.10.2023/ Riku Suutari, Senior Consultant	Esitetty Santakankaan vaikutukset ja yhteisvaikutukset erikseen
003	15.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	15.01.2024/ Riku Suutari, Senior Consultant	Lisätty karttakuva pelkän Santakankaan vaikutuksista ja arvioitu yhteisvaikutus Kolmihaaran kohteen kanssa.

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>.

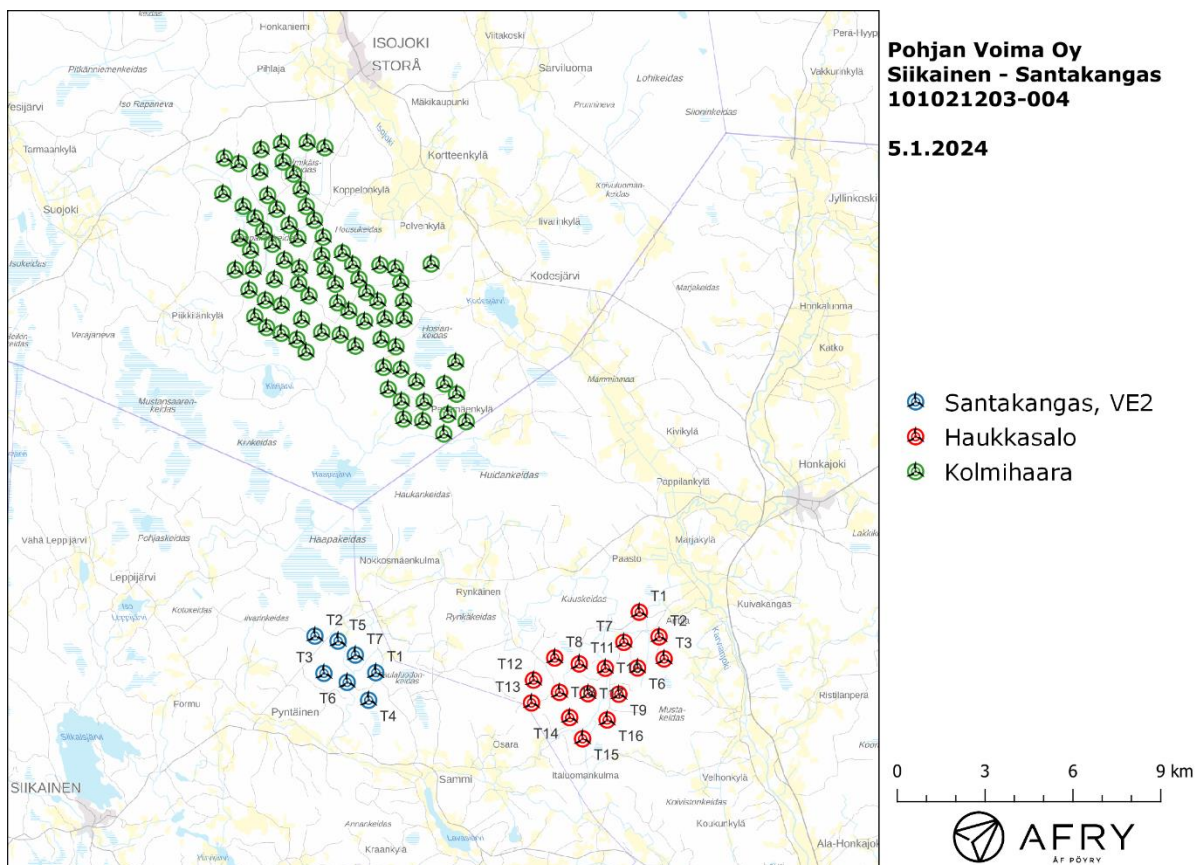
Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	15
4	Yhteenveto	19
5	Viitteet	20
6	Melumallinnuksen tiedot	21

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Siikaisten kuntaan suunnitellun Santakankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 7 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2. Arvioinnissa huomioidaan myös lähelle suunniteltu Kankaanpään Haukkasalon tuulipuisto (16 voimalaa) ja Isojoen Kolmihaaran tuulipuisto (77 voimalaa). Selvityksessä huomioitujen voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1). Santakankaan, Haukkasalon ja Kolmihaaran voimaloiden koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1-Taulukko 3).

Mallinnuksissa molempien tuulipuistojen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 3 dB(A)). Valmistajan ilmoittamaan melupäästön lukuarvoon lisätään siis 3 dB varmuusarvo, joka on korkeampi kuin ympäristöministeriön ohjeistama 2 dB ohjeistuksen mukaisen tunnusarvon saavuttamiseksi. Tällä tavoin otetaan kohteen suunnittelussa huomioon myös turbiinityypit, joiden melupäästö on korkeampi kuin tässä selvityksessä käytetty V172.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE2.

Taulukko 1: Santakankaan VE2 turbiinipaikkojen (7 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	237576,5	6876552,4	80,8
T2	235497,0	6877803,0	80,2
T3	235804,0	6876530,4	77,1
T4	237332,8	6875611,6	76,8
T5	236287,4	6877631,4	77,8
T6	236598,8	6876222,0	74,1
T7	236877,4	6877155,4	80,5

Taulukko 2: Haukkasalon turbiinien sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	246581,9	6878618,7	95,7
T2	247257,4	6877777,1	98,1
T3	247430,2	6877022,4	96,0
T6	246522,8	6876714,0	95,3
T7	246053,8	6877590,2	93,6
T8	243691,2	6877054,4	94,4
T9	245881,6	6875816,8	90,3
T10	245420,6	6876703,7	92,9
T11	244529,8	6876851,6	91,1
T12	242967,8	6876299,3	90,4
T13	242898,4	6875519,6	87,2
T14	244202,0	6875018,5	87,0
T15	244644,8	6874294,8	83,8
T16	245483,1	6874937,6	87,9
T17	244829,3	6875835,4	90,4
T18	243854,8	6875880,5	87,2

Taulukko 3: Kolmihaaran turbiinien sijaintikoordinaatit ja maaston korkeudet.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]	Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	239901	6884705	95,8	T44	238433	6889875	105,6
T2	238525	6885215	87,9	T45	234113	6889985	90,1
T3	239182	6885153	92,8	T46	237001	6889992	106,3
T4	238451	6885827	89,3	T47	235848	6890297	97,8
T5	240041	6885371	98,3	T48	232774	6890309	85,5
T6	239231	6885801	94,4	T49	233390	6890327	90,8
T7	238963	6886493	97,6	T50	234965	6890367	96,0
T9	238002	6886232	89,7	T51	238250	6890369	104,7
T11	239927	6886411	100,4	T52	237720	6890473	106,0
T12	237841	6886980	93,6	T53	239469	6890510	106,4
T13	238435	6886912	95,9	T54	236788	6890491	106,9
T16	240666	6885123	95,4	T55	235733	6890798	98,7
T17	240308	6887159	100,7	T56	234454	6890643	93,8
T18	240340	6886066	97,8	T57	236436	6890887	103,2
T19	236882	6887706	94,9	T58	233300	6890978	89,3
T20	235194	6887504	83,3	T59	234048	6891185	91,8
T21	237760	6887935	96,2	T60	232927	6891396	91,9
T22	238266	6887683	95,8	T61	234915	6891379	94,8
T23	237195	6888555	97,6	T62	235781	6891424	101,1
T24	236364	6888092	93,6	T63	233749	6891633	92,0
T25	233844	6888339	85,5	T64	234614	6891841	96,0
T26	234881	6887928	86,0	T65	233451	6892081	92,3
T27	235730	6888176	87,0	T66	235482	6892003	100,7
T28	238544	6888622	100,3	T67	234197	6892379	95,6
T29	234345	6888144	85,5	T68	235200	6892478	98,7
T30	237889	6888635	99,3	T69	233044	6892478	92,8
T31	236656	6888909	98,5	T70	235026	6893057	100,1
T32	233442	6888701	82,9	T71	232352	6892910	92,5
T33	237645	6889241	102,1	T72	233881	6892849	97,5
T34	235041	6888614	88,3	T73	233617	6893654	96,5
T35	234346	6889096	87,6	T74	234410	6893994	98,9
T36	236273	6889183	98,2	T75	232897	6893936	94,8
T37	233804	6889272	86,0	T76	232403	6894127	92,5
T38	238523	6889226	101,7	T77	233658	6894421	98,4
T39	235295	6889421	90,9	T78	235232	6894662	105,9
T40	237262	6889535	101,3	T79	234352	6894628	102,6
T41	233245	6889623	84,1	T80	235838	6894480	103,0
T42	236194	6889817	97,2	T81	234769	6893579	97,9
T43	234943	6889842	91,7				

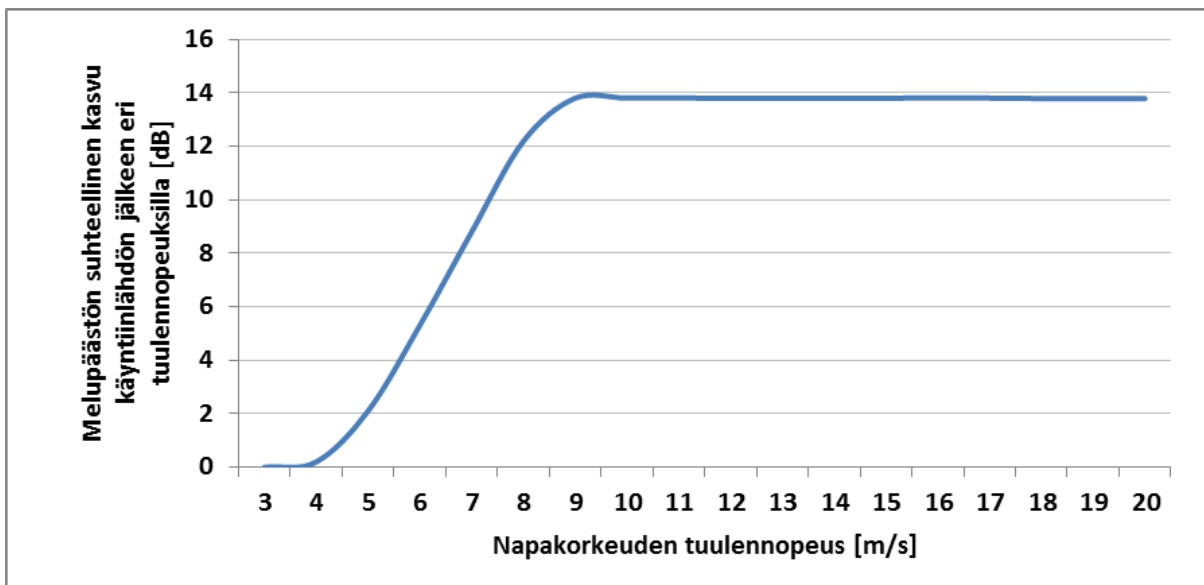
2 Tuulivoimaloiden melu

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 kokonaisäänienenergiasta 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 etupuolessa 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, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [17].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran 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 tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaoiduksen, 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) $L_{WA,d}$. 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 suunnitteluohjearvoihin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huo-

mioon. Lisäksi matalataajuisen 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. Matalataajuisen 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 ääneneneristävyydellä.

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 suosittelemat 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 4).

Taulukko 4: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA _{eq} yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa enimmäisarvot matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 5). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 5: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainotamattomia.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitaso $L_{eq,1h}$ [dB]	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 laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336_00. 2022-06-30.

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty 3 dB:n varmuusarvo, joka on korkeampi kuin ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB [10]:

”Takuuarvoa ei ole aina esitetty dokumentissa IEC 61400-14 standardin määrittämällä tavalla ja takuuarvo joudutaan tällöin arvioimaan hankekehittäjän tai meluselvitystä tekevän konsultin toimesta. Tässä tapauksessa laskeminen tulee suorittaa IEC 61400-14 mukaisesti. Mikäli takuuarvoa ei ole mahdollista määrittää standardin IEC 61400-14 mukaisesti, tulee tuulivoimalan melupäästön lukuarvoon lisätä varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi.”

Turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,9 dB(A). Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksissa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksissa.

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.

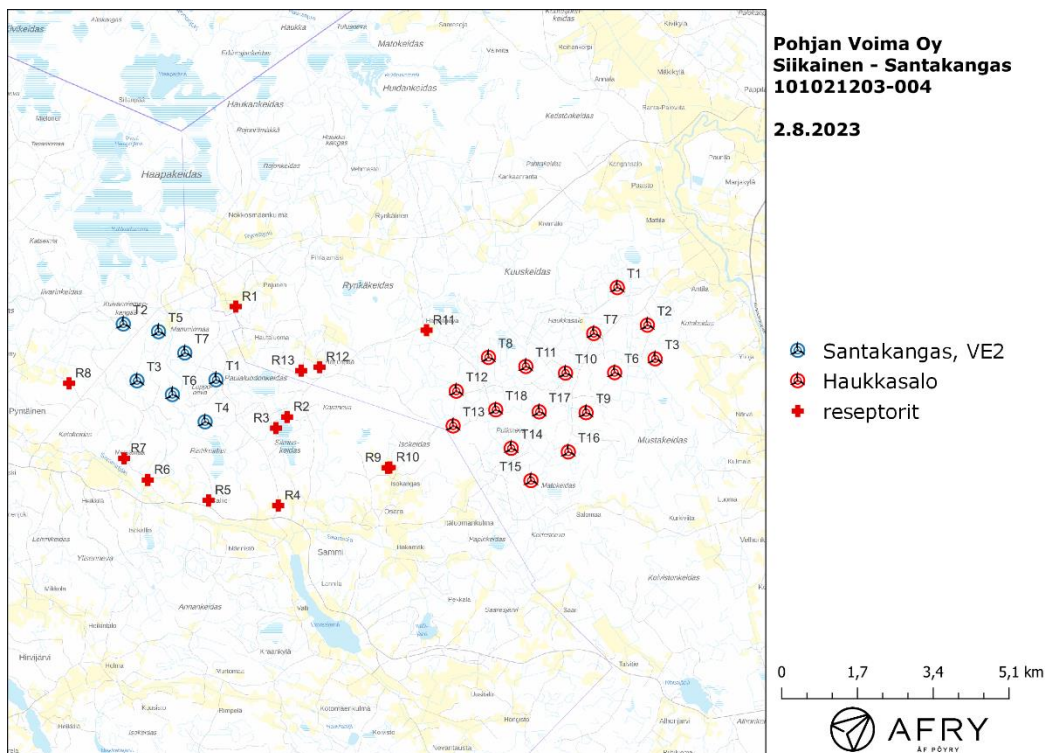
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorption 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 6) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 vertailurakennusta, joiden kohdilla LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla

(Kuva 3). Reseptoripisteet sijaitsevat lähimmillään noin 1,2 km etäisyydellä Santakankaan voimaloista.

Taulukko 6: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	238022	6878190	78,8	lomarakennus
R2	239174	6875717	84,8	lomarakennus
R3	238925	6875467	83,9	rakenteilla oleva lomarakennus
R4	238975	6873732	77,8	vakituinen asuinrakennus
R5	237411	6873848	67,2	lomarakennus
R6	236048	6874305	65,8	lomarakennus
R7	235518	6874788	68,0	lomarakennus
R8	234283	6876471	73,0	vakituinen asuinrakennus
R9	241432	6874577	81,6	vakituinen asuinrakennus
R10	241478	6874585	81,5	vakituinen asuinrakennus
R11	242303	6877661	90,0	vakituinen asuinrakennus
R12	239905	6876834	90,9	vakituinen asuinrakennus
R13	239490	6876755	90,9	vakituinen asuinrakennus

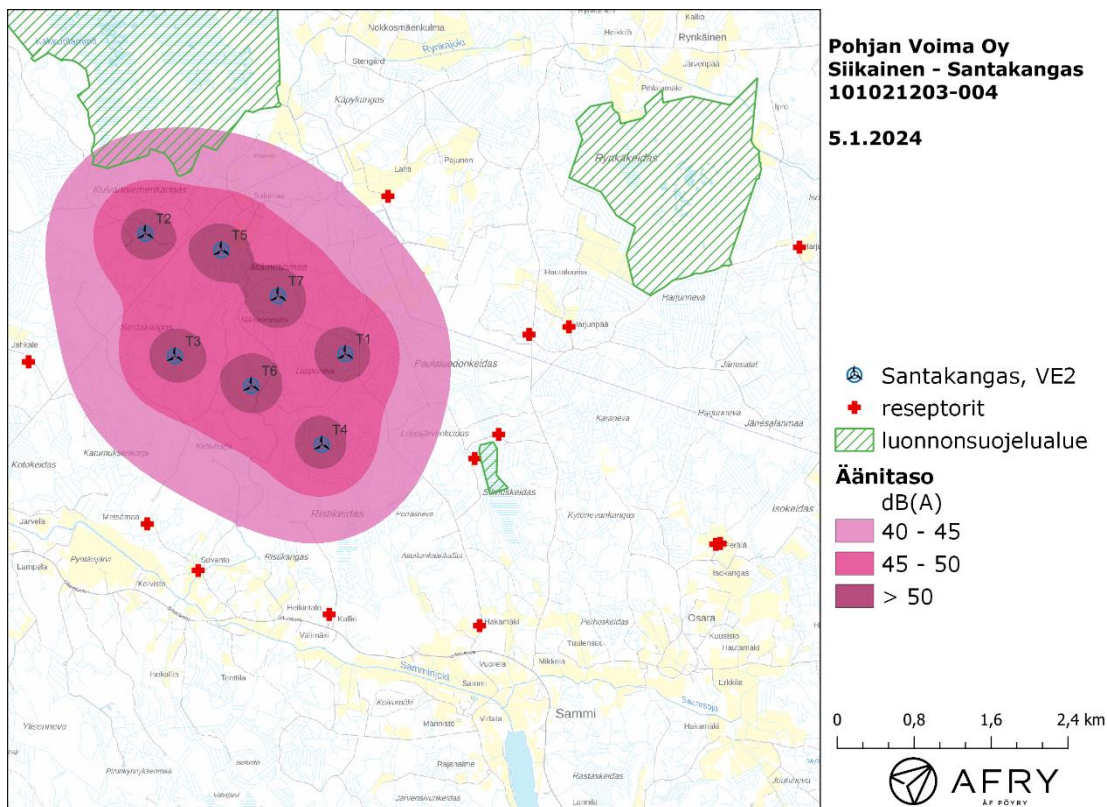


Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapauston hankealueella.

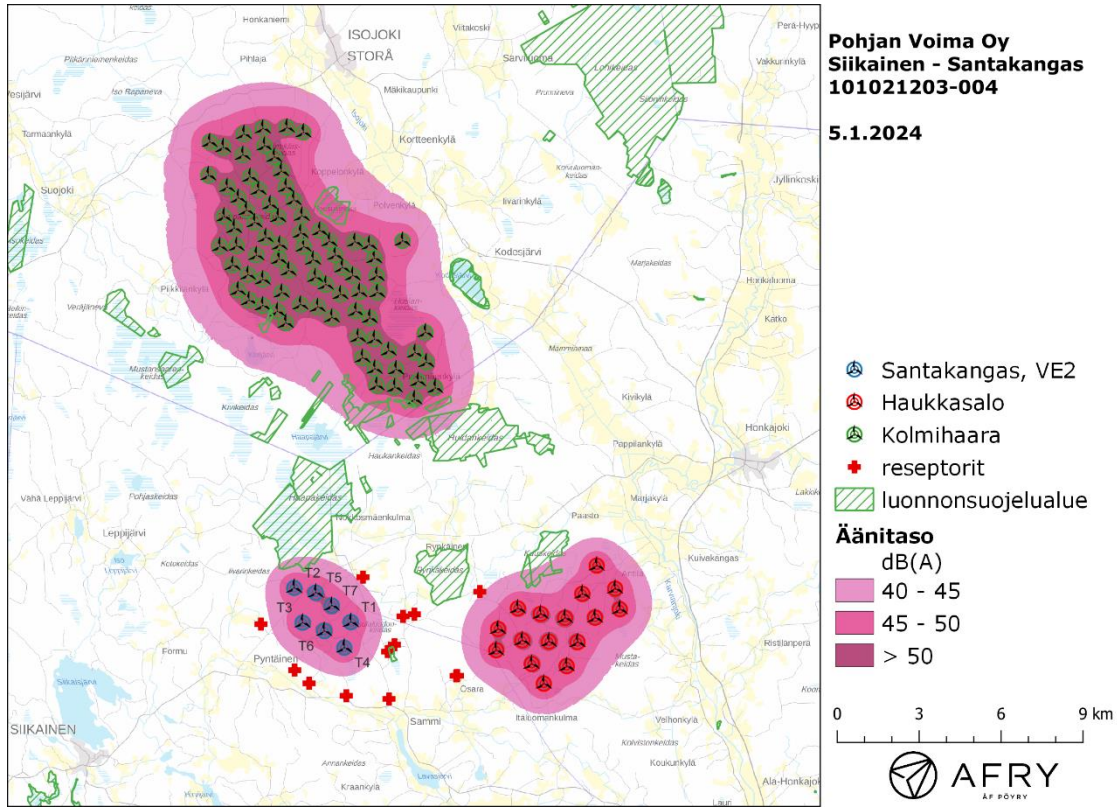
Meluvaikutus

Santakankaan tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{Aeq} on esitetty karttakuvana (Kuva 4) ja vastaava karttakuva yhteisvaikutuksista naapurivoimaloiden kanssa on kuvassa (Kuva 5). Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa, ja melutasoja arvioidaan tarkemmin karttaan merkityissä reseptoripisteissä. Karttakuviin on lisäksi merkitty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet, joista yksi altistuu Santakankaan tuulivoimaloiden melulle.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 7), jossa on eroteltuna pelkästään Santakankaan voimaloista aiheutuvat melutasot sekä yhteisvaikutuksista aiheutuvat tasot. Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot eivät ylitä valtioneuvoston asetuksen 40 dB:n ohjearvoa kummassakaan tapauksessa.



Kuva 4: Santakankaan voimaloiden aiheuttamat keskiäänitasot L_{Aeq} sijoitussuunnitelmalla VE2.



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapaiston hankealueella sijoitussuunnitelmalla VE2.

Taulukko 7: Santakangas voimaloiden aiheuttamat keskiäänitasot LAeq sekä yhteisvaikutuksista aiheutuvat tasot reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A) Santakangas	Äänitaso dB(A) Santakangas + naapurit
R1	38,8	39,3
R2	36,4	37,3
R3	37,2	38,0
R4	32,0	33,6
R5	35,2	35,4
R6	36,6	36,9
R7	37,5	37,7
R8	37,9	38,1
R9	26,7	37,1
R10	26,6	37,3
R11	25,1	39,5
R12	33,2	35,8
R13	35,2	36,8

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 5). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulokinnassa 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 ääneneristävyysparametri (ΔL_{σ}) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyysparametrit 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 vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 8) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 8: Rakennuksen äänieristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Ääneneristävyys [dB] (viite [4])	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 8) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Pelkästään Santakankaan turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Kun otetaan huomioon yhteisvaikutukset naapurivoimaloiden kanssa saadaan taulukossa (Taulukko 10) esitetyt matalataajuiset äänitasot.

Korkeimmat Santakankaan aiheuttamat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R1, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 6). Kun otetaan huomioon yhteisvaikutukset naapurivoimaloiden

kanssa, saman pisteen sisämelutasot on esitetty kuvassa (Kuva 6). Korkeimmat melutasot saavutetaan pisteen R11 kohdalla, mutta nämä aiheutuvat pääosin Haukkasalon voimaloista. Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät kaikissa pisteissä asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

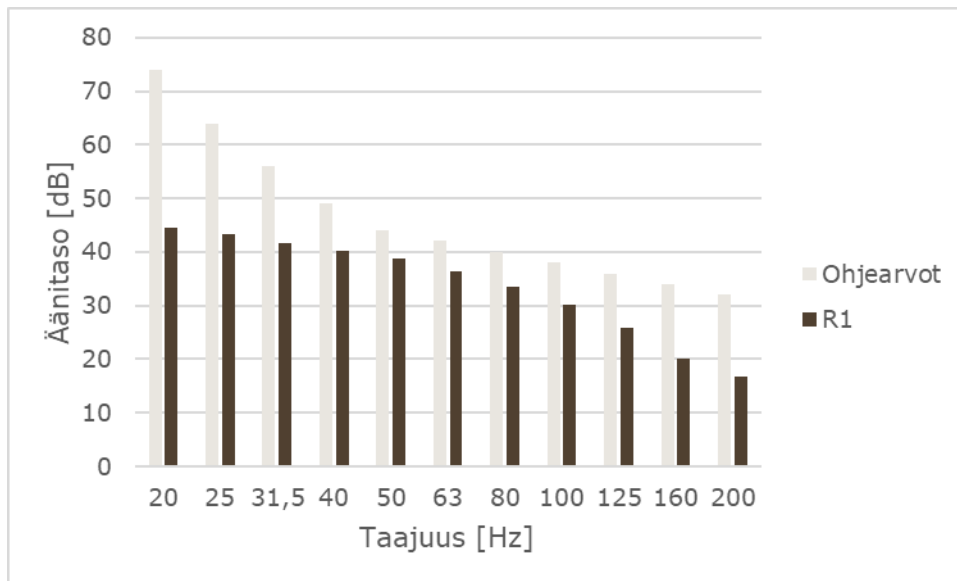
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 5) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti 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.

Taulukko 9: Santakankaan voimaloiden aiheuttamat matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

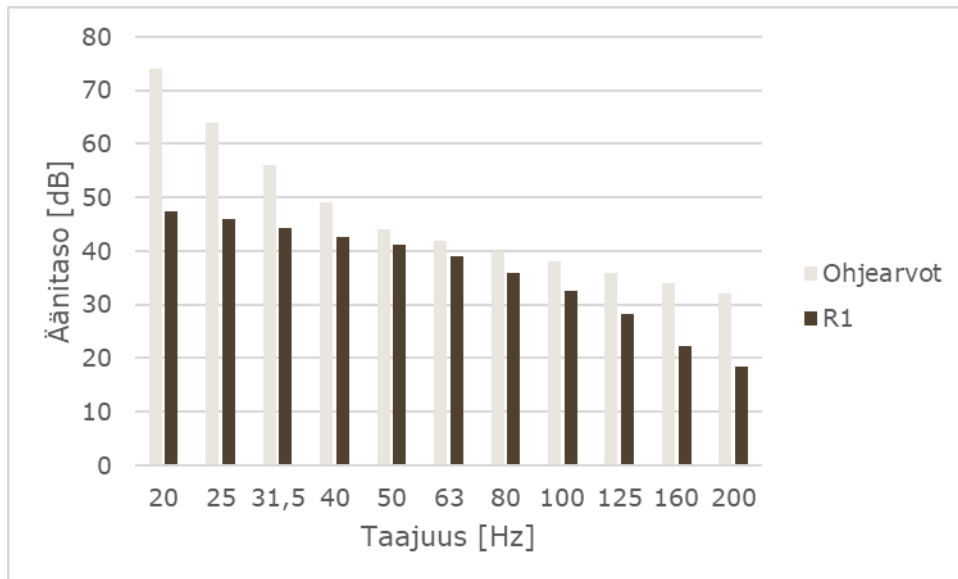
taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	52,2	51,5	50,8	50,4	50,2	49,5	48,2	46,9	44,7	41,3	39,5
R2	50,4	49,8	49,1	48,6	48,4	47,7	46,4	45,0	42,8	39,3	37,4
R3	51,0	50,4	49,7	49,2	49,0	48,3	47,0	45,7	43,4	40,0	38,2
R4	47,3	46,7	46,0	45,5	45,3	44,5	43,2	41,7	39,3	35,6	33,5
R5	49,6	49,0	48,3	47,8	47,6	46,9	45,6	44,2	41,9	38,4	36,4
R6	50,6	50,0	49,3	48,9	48,6	47,9	46,7	45,3	43,0	39,5	37,6
R7	51,3	50,7	50,0	49,6	49,4	48,6	47,4	46,0	43,8	40,3	38,5
R8	51,5	50,9	50,2	49,8	49,6	48,8	47,6	46,3	44,0	40,6	38,8
R9	44,2	43,5	42,8	42,3	42,0	41,1	39,8	38,2	35,5	31,5	29,0
R10	44,1	43,4	42,7	42,2	41,9	41,1	39,7	38,1	35,5	31,4	28,9
R11	43,2	42,6	41,8	41,3	41,0	40,2	38,7	37,1	34,4	30,3	27,5
R12	48,3	47,7	47,0	46,5	46,3	45,5	44,2	42,8	40,4	36,8	34,7
R13	49,6	49,0	48,3	47,8	47,6	46,8	45,6	44,2	41,9	38,3	36,4

Taulukko 10: Santakankaan, Haukkasalon ja Kolmihaaran aiheuttamat matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB).

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



Kuva 6: Santakankaan voimaloiden aiheuttamat matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R1 kohdalla.



Kuva 7: Santakankaan, Haukkasalon ja Kolmihaaran voimaloiden aiheuttamat matalataajuisen sisämelun tasot vertailurakennuksen R1 kohdalla.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Siikaisten kuntaan suunnitellun Santakankaan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 7 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2 ottaen huomioon yhteisvaikutukset lähelle suunniteltujen Haukkasalon ja Kolmihaaran tuulipuistojen kanssa. Vaikutusten arviointi on tehty napakorkeudella 200 m, voimalatyypin V172 7.2 MW taajuusjakaumilla ja käyttäen 3 dB:n varmuusarvoa valmistajan ilmoittamalle melupäästölle.

Mallinnusten perusteella melutasot eivät ylitä valtioneuvoston ohjearvoja alueen rakennusten kohdilla. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla Asumis-terveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

5 Viitteet

- [1] C. Di Napoli: Tuulivoimaloiden melun syntytavat 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 ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto 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: 101021203-004.002				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 15.1.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: Erkki Heikkola							
Laatija: Erkki Heikkola				Tarkastaja/hyväksyjä: Riku Suutari			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 200 m		Roottorin halkaisija: 172 m		Tornin tyyppi:	
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							
Third octave noise emission EnVentus™ V172-7.2MW 50/60 Hz. Document no 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,0	200	98,1	2000	92,2
63	92,5	25	69,2	250	98,7	2500	89,8
125	100,2	31,5	74,0	315	98,8	3150	87,1
250	103,3	40	78,8	400	99,0	4000	84,1
500	103,5	50	83,2	500	98,7	5000	80,7
1000	101,8	63	87,0	630	98,5	6300	76,9
2000	97,2	80	90,3	800	98,0	8000	72,8
4000	89,5	100	93,1	1000	97,1	10000	68,3
8000	78,7	125	95,3	1250	95,8		
		160	97,0	1600	94,2		



Melun erityispiirteiden mittaust 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: Maanmittauslaitos					Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet									
ISO 9613-2									
Vesialueet, (0) / (G)									
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)									
Maa-alueet (0) / (G)									
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus									
Neutraali									
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen									
Vapaa avaruus									
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)									
Asuinrakennukset: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)									
Asuinrakennukset: 0 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille									
Virkistysalueet: 0 kpl					Luonnonsuojelualueet: 1 kpl				
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
20	54,1	53,1	53,3	51,0	51,8	52,3			
25	53,5	52,4	52,6	50,3	51,1	51,6			
31,5	52,7	51,6	51,9	49,5	50,3	50,8			
40	52,3	51,1	51,4	49,0	49,8	50,4			
50	52,0	50,9	51,1	48,7	49,5	50,1			
63	51,2	50,0	50,3	47,8	48,6	49,2			
80	49,8	48,7	48,9	46,3	47,2	47,9			
100	48,3	47,1	47,4	44,6	45,6	46,3			
125	45,9	44,6	44,9	41,9	43,1	43,8			
160	42,2	40,8	41,2	37,8	39,3	40,1			
200	40,1	38,6	39,1	35,3	37,1	38,0			

Hz	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
20	52,8	53,0	53,0	53,0	54,5	52,7	53,0
25	52,1	52,4	52,3	52,4	53,9	52,0	52,3
31,5	51,4	51,6	51,5	51,6	53,1	51,2	51,5
40	50,9	51,1	51,0	51,1	52,6	50,7	51,0
50	50,6	50,9	50,8	50,9	52,4	50,4	50,7
63	49,8	50	49,9	50,0	51,6	49,5	49,9
80	48,4	48,7	48,6	48,7	50,3	48,1	48,5
100	46,9	47,2	47,0	47,1	48,8	46,5	46,9
125	44,5	44,7	44,5	44,6	46,4	43,9	44,3
160	40,8	41,0	40,7	40,8	42,7	40,0	40,5
200	38,8	39,0	38,5	38,7	40,7	37,6	38,2