



Suomen Hyötytuuli Oy

Kokkonevan tuulivoimahankkeen meluselvitys

101020971-005, 12.01.2023

Tekijä
AFRY Finland Oy
Kalle Auvinen

E-mail
kalle.auvinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Suomen Hyötytuuli Oy
Panu Piirtola

Päivämäärä
12/01/2024

Projektinumero
101020971-005

Raportin tila
VALMIS

Kokkonevan tuulivoimahankkeen meluselvitys

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.01.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	12.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

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

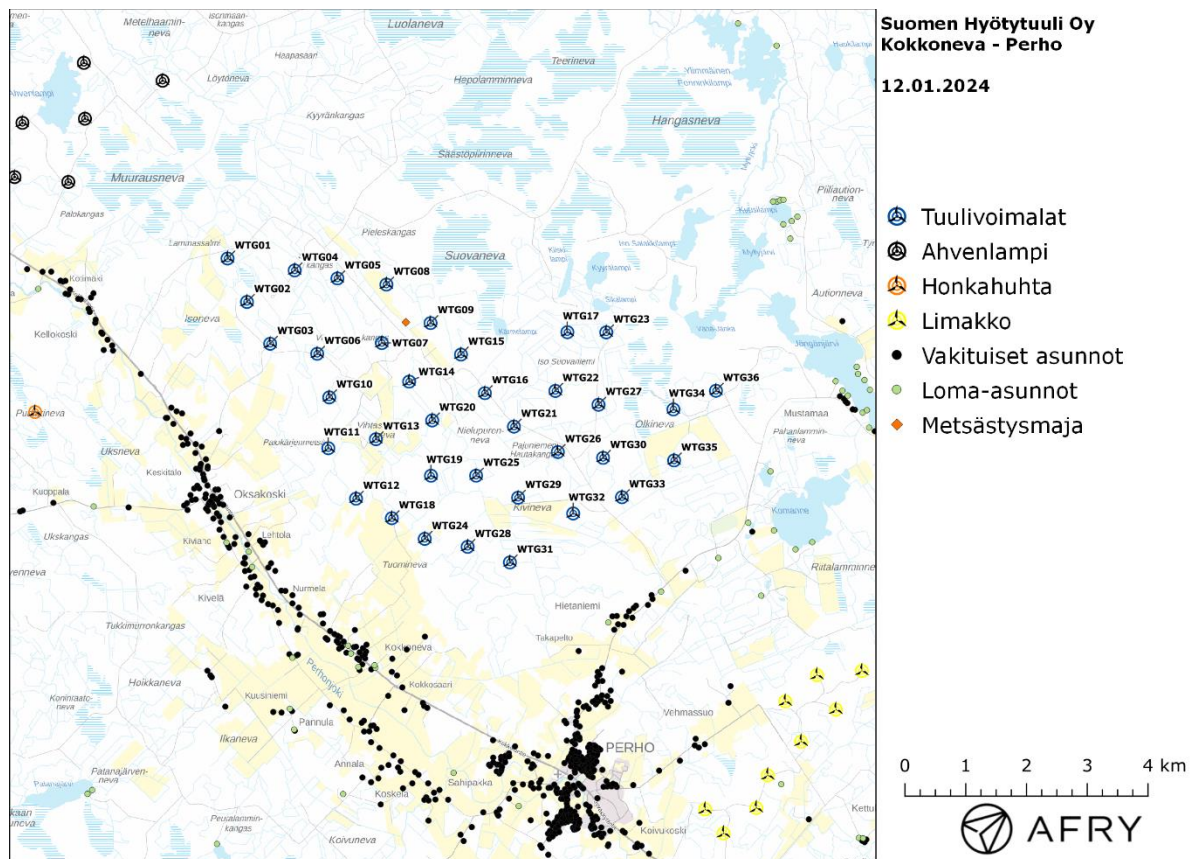
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	9
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	9
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	13
3.3	Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan yhteisvaikutus	16
4	Yhteenveto	21
5	Viitteet	22
6	Melumallinnuksen tiedot	23

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kokkonevan tuulivoimapuistolle käytetään 36 voimalan sijoittelusuunnitelmaa. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja turbiinityypin V172-7.2 MW PO7200 (blades with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiini-valmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selvityksessä arvioidaan myös Kokkonevan sekä läheisten Limakon (toinnassa), Ahvenlammen (suunnitteilla) ja Honkahuhdan (suunnitteilla) tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kokkonevan hankealueella.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (36 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	364533	7020625	162
WTG02	364852	7019911	162
WTG03	365234	7019224	161
WTG04	365638	7020429	163
WTG05	366341	7020298	166
WTG06	366008	7019060	164
WTG07	367071	7019237	167
WTG08	367146	7020197	163
WTG09	367873	7019564	167
WTG10	366206	7018344	163
WTG11	366191	7017509	164
WTG12	366647	7016681	160
WTG13	366974	7017657	163
WTG15	368373	7019048	168
WTG17	370123	7019414	173
WTG16	368766	7018413	168
WTG14	367520	7018603	167
WTG18	367235	7016360	161
WTG24	367777	7016021	162
WTG19	367880	7017058	167
WTG20	367899	7017966	168
WTG21	369244	7017864	168
WTG22	369926	7018450	172
WTG23	370763	7019412	175
WTG27	370635	7018223	173
WTG30	370710	7017351	173
WTG28	368482	7015890	166
WTG31	369178	7015634	168
WTG29	369312	7016697	166
WTG33	371021	7016705	171
WTG35	371878	7017309	173
WTG34	371867	7018147	175
WTG32	370219	7016438	169
WTG25	368622	7017059	166
WTG26	369966	7017447	170
WTG36	372567	7018452	178

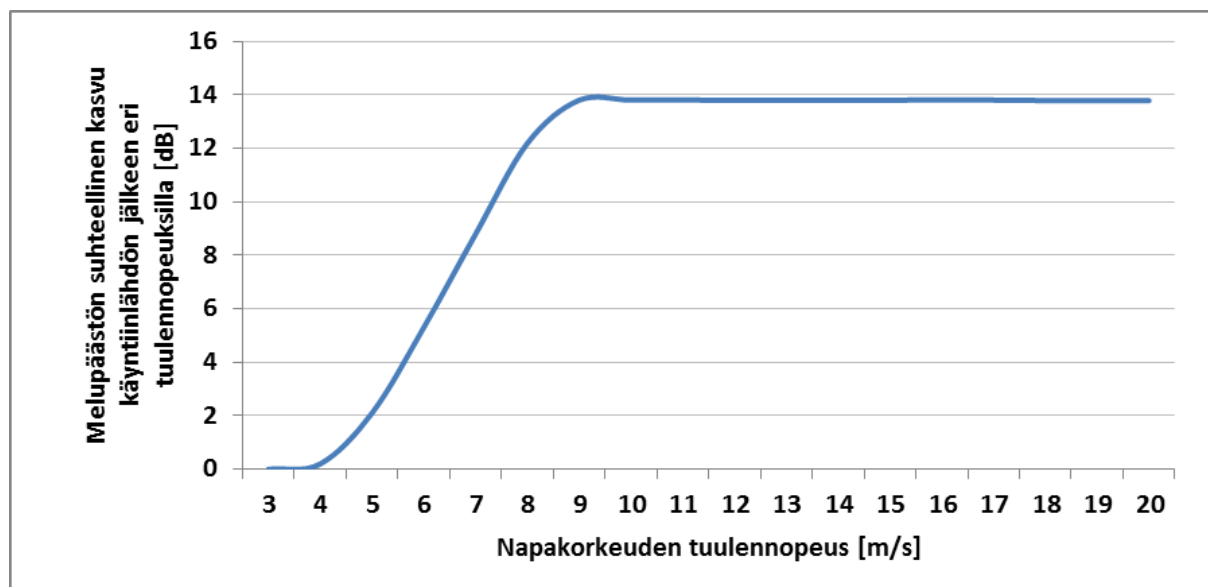
2 Tuulivoimaloiden melu

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 kokemusperäisesti 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 epävarmuustarkastelua, 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 mallinnusohjeistuksessa 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 huomioon. 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 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 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 2).

Taulukko 2: 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 3). 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 äänen-eristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuus-painottamattomia.

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 turbiinityypin V172-7.2 MW PO7200 (blades with serrated trailing edges) sekä N131 3.0 MW 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.
- Technical Report, Third octave sound power levels, Nordex N131/3000, Document no. F008_246_A07_EN, 2014-03-11

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 ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [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 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 15 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Limakon tuulipuiston turbiinityypin N131 3.0 MW ilmoitettu äänitehotaso on 104,5 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 106,5 dB(A) ohjeistuksen mukaisen tunnusarvon saavuttamiseksi. Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 12 m/s napakorkeudella 144 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Turbiinityypien 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 hilapisteistään, 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.

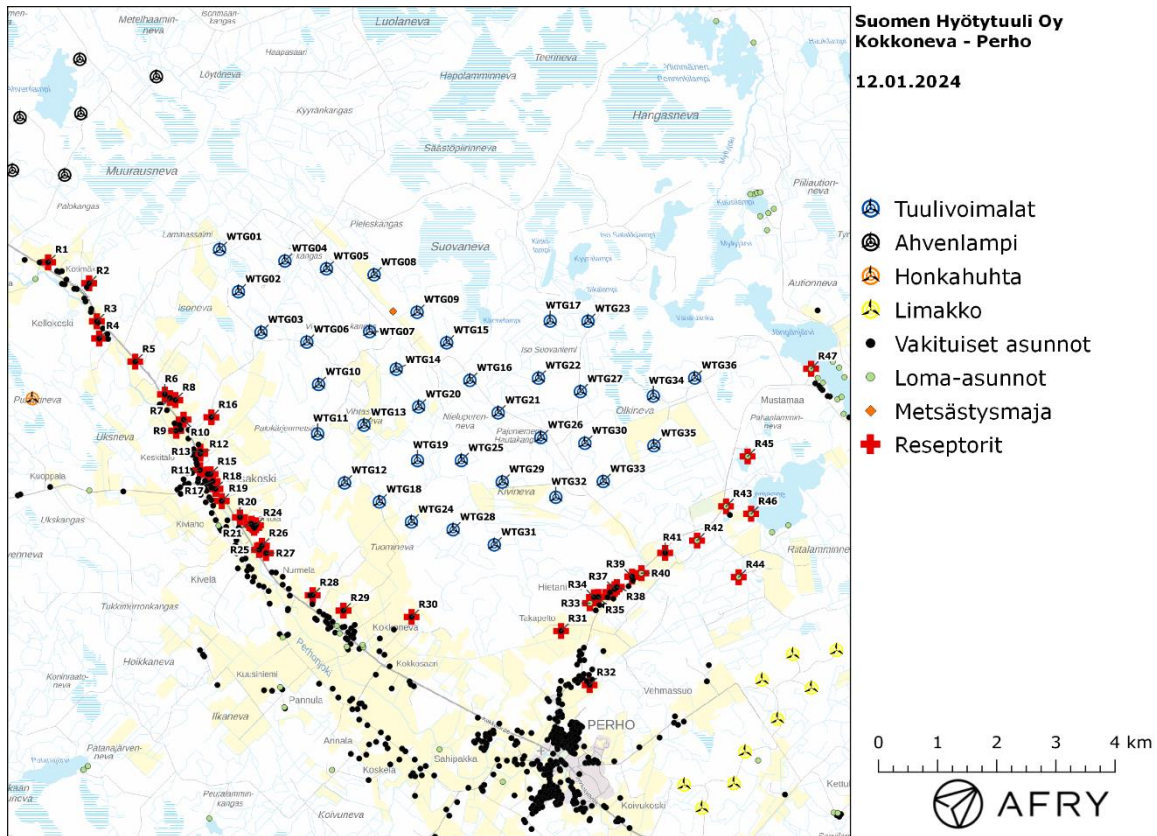
Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 47 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Rakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Rakennusten sijaitsevat noin 1,6–2,9 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueen sisäpuolella, noin 400 m voimalan WTG09 länsipuolella sijaitsee yksi loma-asunnoksi luokiteltu kiinteistö. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan, kyseinen kiinteistö on todellisuudessa metsästysmaja, eikä kiinteistöä ole otettu tästä syystä meluvaikutusten arvioinnissa huomioon.

Taulukko 4: Reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	361635	7020406	151	vakituinen asunto
R2	362329	7020051	154	vakituinen asunto
R3	362458	7019409	154	vakituinen asunto
R4	362498	7019120	154	vakituinen asunto
R5	363108	7018728	157	vakituinen asunto
R6	363610	7018174	155	vakituinen asunto
R7	363696	7018114	155	vakituinen asunto
R8	363787	7018079	155	vakituinen asunto
R9	363801	7017560	153	vakituinen asunto
R10	363925	7017749	155	vakituinen asunto
R11	364204	7016895	156	vakituinen asunto
R12	364207	7017174	155	vakituinen asunto
R13	364209	7017209	156	vakituinen asunto
R14	364334	7016827	157	vakituinen asunto
R15	364380	7016828	157	vakituinen asunto
R16	364396	7017788	155	vakituinen asunto
R17	364418	7016708	156	vakituinen asunto
R18	364465	7016577	156	vakituinen asunto
R19	364571	7016373	154	vakituinen asunto
R20	364879	7016096	156	vakituinen asunto
R21	365068	7015990	157	vakituinen asunto
R22	365090	7015967	157	vakituinen asunto
R23	365120	7015920	157	vakituinen asunto
R24	365150	7015963	158	vakituinen asunto
R25	365204	7015548	156	vakituinen asunto
R26	365250	7015618	156	vakituinen asunto
R27	365319	7015493	158	vakituinen asunto
R28	366108	7014783	155	vakituinen asunto
R29	366629	7014523	156	vakituinen asunto
R30	367781	7014414	158	vakituinen asunto
R31	370309	7014177	161	vakituinen asunto
R32	370792	7013265	159	vakituinen asunto
R33	370798	7014647	165	loma-asunto

R34	370865	7014747	168	vakituinen asunto
R35	370938	7014753	166	vakituinen asunto
R36	371138	7014832	170	vakituinen asunto
R37	371215	7014885	171	vakituinen asunto
R38	371253	7014922	171	vakituinen asunto
R39	371509	7015095	171	vakituinen asunto
R40	371666	7015154	171	loma-asunto
R41	372068	7015496	173	vakituinen asunto
R42	372608	7015705	180	loma-asunto
R43	373099	7016283	178	loma-asunto
R44	373312	7015087	175	loma-asunto
R45	373464	7017127	177	loma-asunto
R46	373523	7016157	173	loma-asunto
R47	374536	7018607	179	loma-asunto



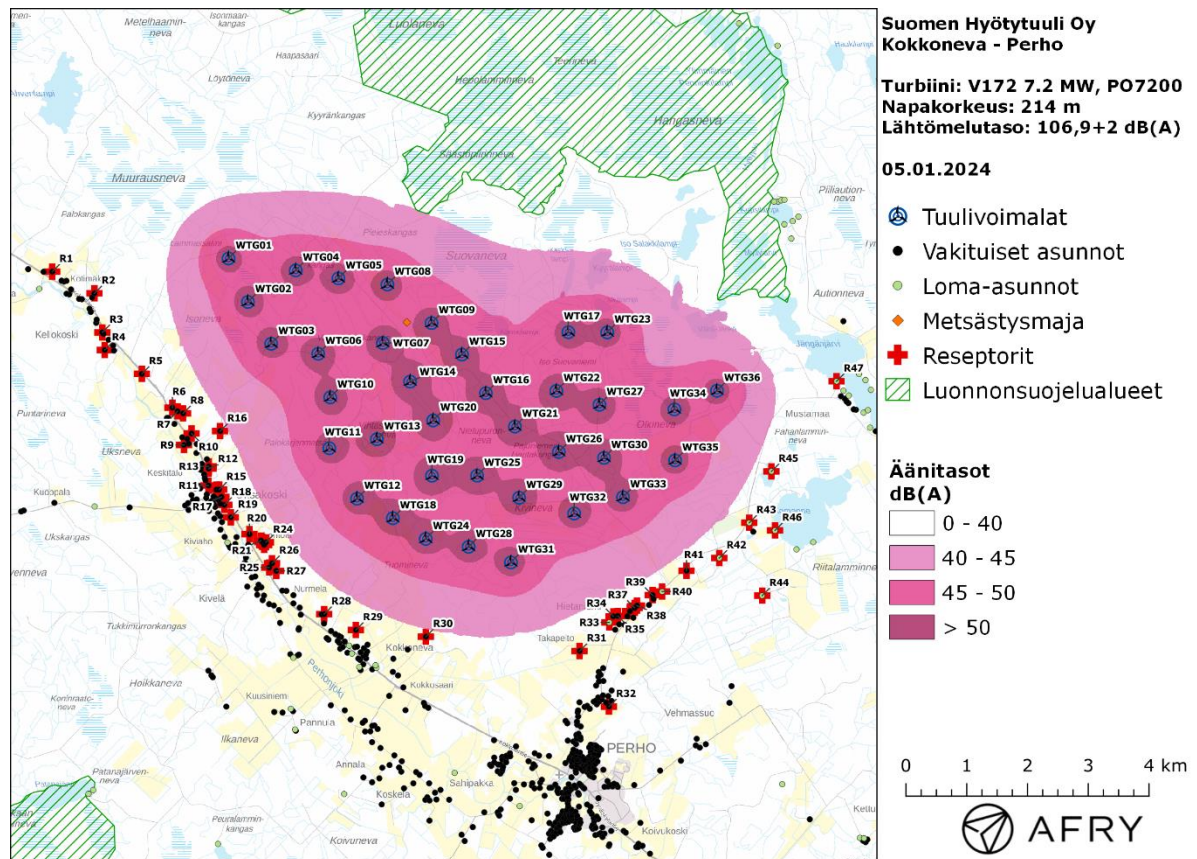
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso L_{Aeq} on esitetty karttakuvana (Kuva 4). 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 valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa. Myös luonnonsuojelualueilla melutasot pysyvät ohjearvoissa.



Kuva 4: Keskiäänitasot L_{Aeq} tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot L_{Aeq} reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	31,6
R2	34,1
R3	34,4
R4	34,6
R5	36,3

R6	37,4
R7	37,6
R8	37,8
R9	37,0
R10	37,8
R11	37,2
R12	37,7
R13	37,8
R14	37,6
R15	37,8
R16	39,5
R17	37,6
R18	37,6
R19	37,5
R20	38,0
R21	38,3
R22	38,2
R23	38,3
R24	38,7
R25	37,7
R26	38,1
R27	38,0
R28	37,9
R29	38,1
R30	39,4
R31	37,4
R32	33,6
R33	38,2
R34	38,6
R35	38,3
R36	38,3
R37	38,4
R38	38,5
R39	38,6
R40	38,4
R41	38,7
R42	37,8
R43	37,8
R44	34,1
R45	39,1
R46	35,9
R47	34,5

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 rakennusten 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 (ΔL_o) 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] eristävyyssarvot ylittivät 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 ääneneristävyyssarvoja. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 6: 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 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R16, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuuksivälillä.

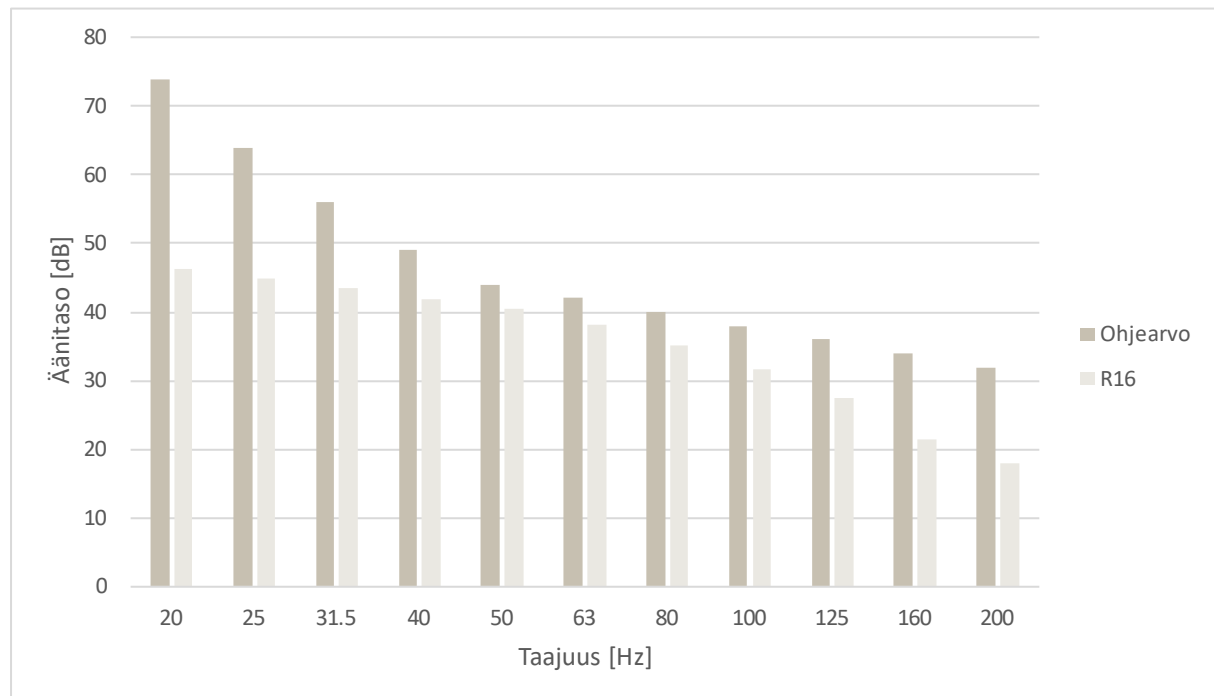
Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 3) lisäksi ohjearvot päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Yöaikainen (klo 22–7) keskiäänitaso ei saa ylittää 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti 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 ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

Taulukko 7: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48,7	48,0	47,3	46,8	46,6	45,7	44,4	42,7	40,1	36,0	33,5
R2	50,1	49,4	48,8	48,3	48,1	47,2	46,0	44,3	41,9	38,0	35,7
R3	50,4	49,7	49,1	48,6	48,4	47,5	46,3	44,7	42,3	38,3	36,1
R4	50,4	49,8	49,1	48,7	48,4	47,6	46,3	44,7	42,3	38,3	36,1
R5	51,6	51,0	50,4	49,9	49,6	48,8	47,6	46,0	43,7	39,9	37,8
R6	52,4	51,7	51,1	50,7	50,4	49,6	48,4	46,9	44,6	40,8	38,8
R7	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,0	44,7	40,9	38,9
R8	52,7	52,1	51,4	51,0	50,7	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,2
R9	52,3	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,7	44,4	40,6	38,5
R10	52,7	52,1	51,4	51,0	50,7	49,9	48,8	47,2	44,9	41,1	39,1
R11	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	46,9	44,6	40,8	38,7
R12	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,1
R13	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,2	39,2
R14	52,7	52,0	51,4	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	39,0
R15	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,2
R16	53,9	53,2	52,6	52,2	51,9	51,2	50,0	48,5	46,2	42,6	40,7
R17	52,7	52,1	51,4	51,0	50,7	49,9	48,7	47,2	44,9	41,1	39,1
R18	52,7	52,0	51,4	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	39,0
R19	52,6	52,0	51,4	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	39,0
R20	52,9	52,3	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,1	41,4	39,4
R21	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R22	53,2	52,5	51,9	51,5	51,2	50,4	49,3	47,7	45,4	41,7	39,7
R23	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R24	53,3	52,7	52,0	51,6	51,4	50,6	49,4	47,9	45,6	41,9	39,9
R25	52,7	52,1	51,4	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,1	39,1
R26	52,9	52,3	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,2	41,4	39,4
R27	52,8	52,2	51,6	51,1	50,9	50,1	48,9	47,3	45,1	41,3	39,3
R28	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,2	39,2
R29	52,9	52,3	51,6	51,2	50,9	50,2	49,0	47,4	45,1	41,4	39,4
R30	53,7	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,9	48,3	46,1	42,4	40,5
R31	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	46,9	44,6	40,8	38,8
R32	50,3	49,6	49,0	48,5	48,2	47,4	46,1	44,4	42,0	38,0	35,7
R33	53,1	52,4	51,8	51,3	51,1	50,3	49,1	47,6	45,3	41,6	39,6
R34	53,2	52,6	52,0	51,5	51,3	50,5	49,3	47,8	45,5	41,8	39,8
R35	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R36	53,1	52,4	51,8	51,4	51,1	50,3	49,2	47,6	45,3	41,6	39,7

R37	53,1	52,5	51,8	51,4	51,2	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
R38	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R39	53,2	52,5	51,9	51,5	51,2	50,5	49,3	47,7	45,5	41,8	39,8
R40	53,1	52,4	51,8	51,4	51,1	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
R41	53,2	52,5	51,9	51,5	51,2	50,5	49,3	47,7	45,5	41,8	39,8
R42	52,6	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,1	44,8	41,0	39,1
R43	52,5	51,9	51,2	50,8	50,6	49,8	48,6	47,0	44,7	41,0	39,0
R44	50,4	49,7	49,1	48,6	48,3	47,5	46,2	44,6	42,2	38,2	35,9
R45	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,3	39,4
R46	51,4	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,4	39,6	37,5
R47	50,3	49,6	49,0	48,5	48,2	47,4	46,1	44,5	42,1	38,2	36,0



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R16 kohdalla.

3.3 Kokkonevan, Limakon, Ahvenlammen ja Honkahuhdan yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Kokkonevan voimaloiden läheisyyteen suunniteltujen Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen, sekä toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston aiheuttamia yhteisvaikutuksia. Ahvenlammen tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 13 voimalaa, joista lähimmät ovat noin 3 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Honkahuhdan tuulivoimapuistoon on suunniteltu enintään 12 voimalaa, joista lähin on noin 4 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Limakon tuulivoimapuistossa on toiminnassa yhdeksän voimalaa, joista lähimmät ovat noin 4,2 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista.

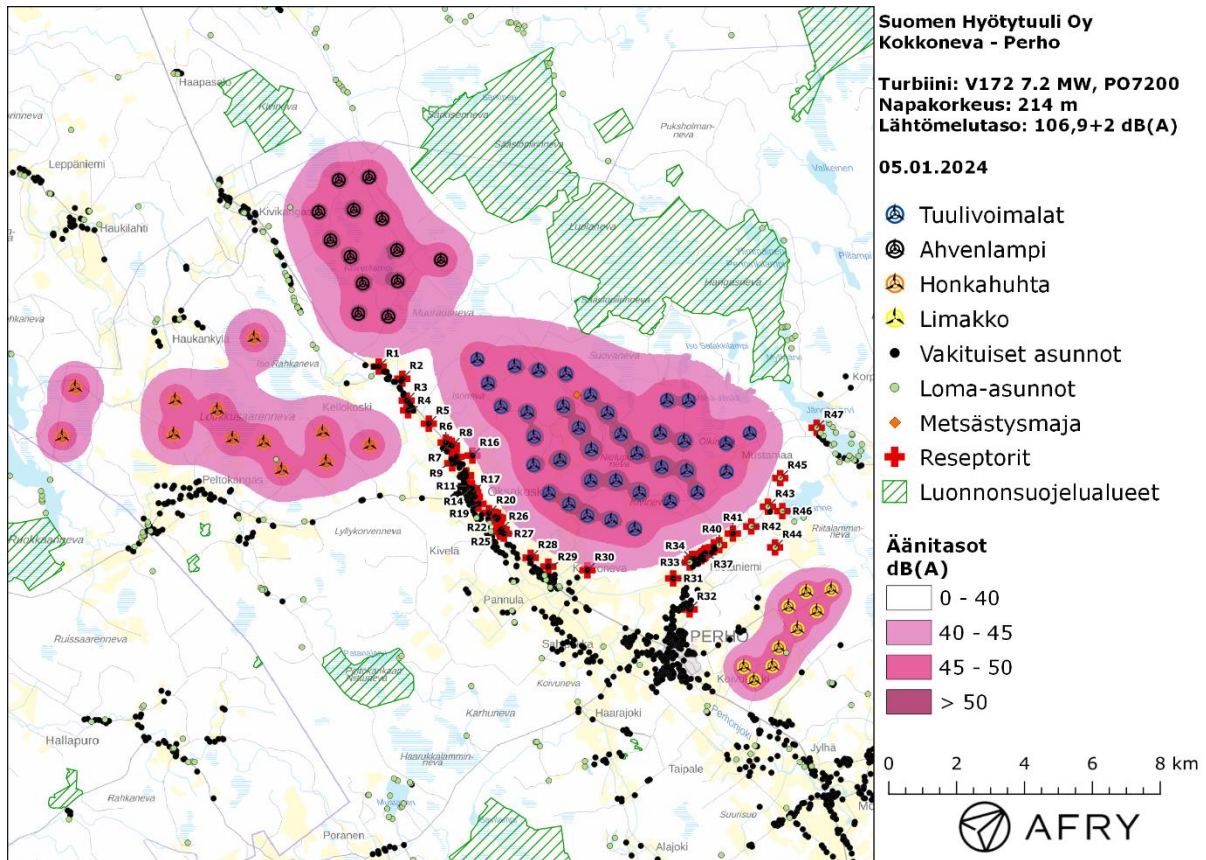
Melumallinnuksessa Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 166 m ja turbiinityyppiä V172-7.2 MW Ahvenlammen tuulivoimapuiston YVA-selosteen liitteenä olevan meluselvityksen mukaisesti. Ahvenlammen voimaloille on käytetty samaa äänitehotasoa kuin Kokkonevan voimaloilla (V172-7.2 MW, 106,9 + 2,0 dB(A)).

Honkahuhdan YVA-ohjelman perusteella, Honkahuhdan tuulivoimaloiden napakorkeus on enintään 210–260 m ja roottorin halkaisija enintään 200–280 m, voimaloiden kokonaiskorkeuden ollessa kuitenkin enintään 350 m. Melumallinnuksessa Honkahuhdan tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m sekä samaa turbiinityyppiä ja äänitehotasoa kuin Kokkonevan voimaloilla (V172-7.2 MW, 106,9 + 2,0 dB(A)).

Melumallinnuksessa Limakon tuulivoimaloille on käytetty napakorkeutta 144 m ja Limakon osayleiskaavan selostuksessa annettua taajuusjakaumaa turbiinityypille N131 3.0 MW. Melumallinnusta varten Limakon kaavaselosteessa annettuun taajuusjakaumaan on lisätty 2 dB(A) varmuusarvo melupäästön tunnusarvon saamiseksi (N131 3.0 MW, 104,5 + 2,0 dB(A)).

Kokkonevan ja naapuripuistojen mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Mallinnustulosten perusteella Kokkonevan ja naapuripuistojen melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien loma-asuntojen, vakituisten asuinrakennusten ja luonnonsuojelualueiden kohdilla. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa enimmillään 7,6 dB(A) reseptorin R1 kohdalla.

Kokkonevan ja naapuripuistojen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 9). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R16, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, Kokkonevan ja naapuripuistojen aiheuttamat melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimalat.

Taulukko 8: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimalat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	39,2
R2	38,5
R3	38,3
R4	38,4
R5	38,3
R6	38,5
R7	38,6
R8	38,7
R9	37,9
R10	38,6
R11	37,9
R12	38,3
R13	38,4
R14	38,1
R15	38,3
R16	39,9
R17	38,1
R18	38,0

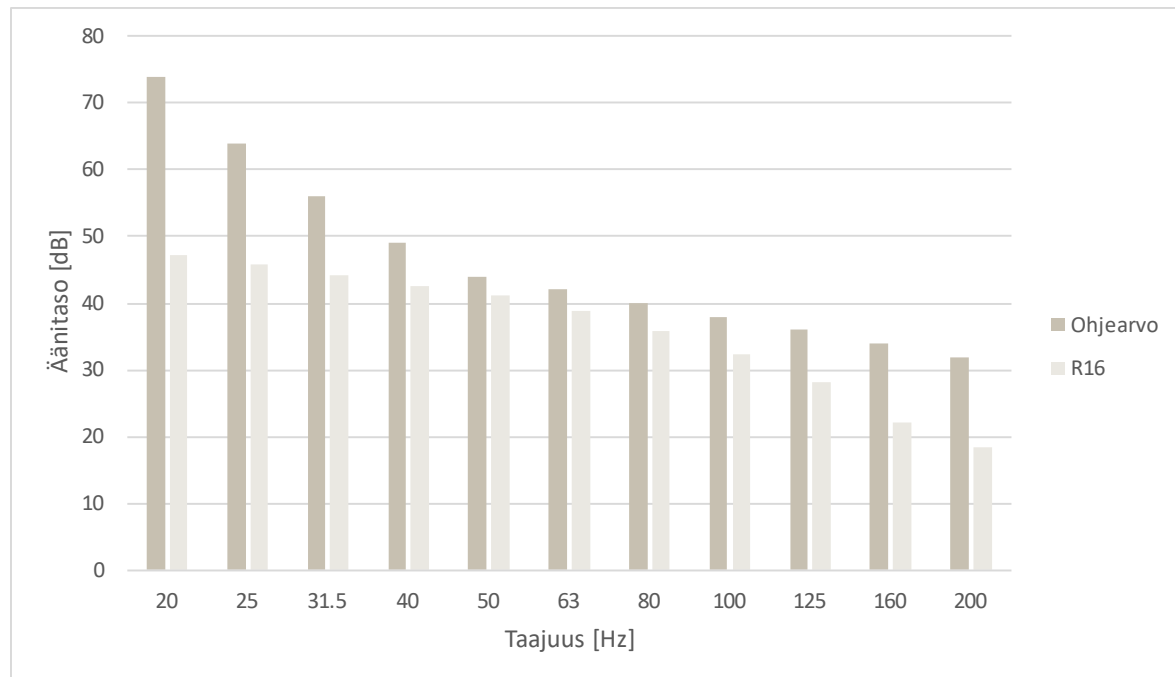


R19	37,9
R20	38,4
R21	38,5
R22	38,5
R23	38,5
R24	38,9
R25	37,9
R26	38,3
R27	38,2
R28	38,0
R29	38,2
R30	39,5
R31	37,7
R32	34,7
R33	38,4
R34	38,8
R35	38,5
R36	38,5
R37	38,6
R38	38,7
R39	38,8
R40	38,7
R41	38,9
R42	38,1
R43	38,1
R44	36,2
R45	39,3
R46	36,4
R47	34,7

Taulukko 9: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimat.

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,2	53,5	52,9	52,4	52,1	51,3	50,1	48,6	46,2	42,4	40,4
R2	53,9	53,2	52,6	52,1	51,9	51,0	49,8	48,2	45,9	42,0	39,9
R3	53,8	53,1	52,4	51,9	51,7	50,9	49,6	48,1	45,7	41,8	39,7
R4	53,8	53,1	52,4	51,9	51,7	50,9	49,6	48,1	45,7	41,9	39,8
R5	53,8	53,2	52,5	52,0	51,8	51,0	49,7	48,1	45,8	41,9	39,8
R6	53,9	53,3	52,6	52,1	51,9	51,1	49,8	48,3	45,9	42,1	40,0
R7	54,0	53,3	52,7	52,2	51,9	51,1	49,9	48,3	46,0	42,1	40,1
R8	54,1	53,4	52,8	52,3	52,0	51,2	50,0	48,4	46,1	42,2	40,2
R9	53,6	53,0	52,3	51,8	51,6	50,8	49,5	47,9	45,5	41,7	39,5
R10	53,9	53,3	52,6	52,2	51,9	51,1	49,9	48,3	45,9	42,1	40,0
R11	53,5	52,9	52,2	51,7	51,5	50,7	49,4	47,8	45,4	41,6	39,4
R12	53,8	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,7	48,1	45,8	41,9	39,8
R13	53,8	53,2	52,5	52,1	51,8	51,0	49,8	48,2	45,8	42,0	39,9
R14	53,6	53,0	52,3	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,6	41,7	39,6
R15	53,7	53,1	52,4	51,9	51,7	50,9	49,6	48,0	45,7	41,8	39,7
R16	54,7	54,1	53,4	53,0	52,7	51,9	50,7	49,2	46,9	43,1	41,2
R17	53,6	53,0	52,3	51,9	51,6	50,8	49,6	48,0	45,6	41,7	39,6

R18	53,6	52,9	52,3	51,8	51,5	50,7	49,5	47,9	45,5	41,7	39,5
R19	53,5	52,9	52,2	51,7	51,5	50,7	49,4	47,8	45,4	41,6	39,5
R20	53,7	53,0	52,4	51,9	51,6	50,8	49,6	48,0	45,6	41,8	39,7
R21	53,9	53,2	52,5	52,1	51,8	51,0	49,8	48,2	45,9	42,1	40,0
R22	53,9	53,2	52,6	52,1	51,8	51,0	49,8	48,2	45,9	42,1	40,0
R23	53,8	53,2	52,5	52,1	51,8	51,0	49,8	48,2	45,9	42,1	40,0
R24	54,0	53,3	52,7	52,2	51,9	51,1	49,9	48,3	46,0	42,2	40,2
R25	53,4	52,8	52,1	51,6	51,4	50,6	49,3	47,7	45,4	41,5	39,4
R26	53,6	52,9	52,3	51,8	51,6	50,7	49,5	47,9	45,6	41,7	39,7
R27	53,5	52,9	52,2	51,7	51,5	50,7	49,4	47,8	45,5	41,6	39,6
R28	53,4	52,7	52,0	51,6	51,3	50,5	49,2	47,7	45,3	41,5	39,4
R29	53,4	52,8	52,1	51,6	51,4	50,6	49,3	47,7	45,4	41,6	39,5
R30	54,2	53,5	52,8	52,4	52,1	51,3	50,1	48,6	46,3	42,6	40,6
R31	53,2	52,5	51,7	51,3	51,0	50,2	48,8	47,3	44,9	41,1	39,0
R32	51,7	51,0	50,0	49,6	49,2	48,3	46,8	45,3	42,6	38,6	36,4
R33	53,7	53,1	52,3	51,8	51,5	50,7	49,4	47,9	45,6	41,8	39,8
R34	53,8	53,2	52,4	52,0	51,7	50,9	49,6	48,1	45,7	42,0	40,0
R35	53,8	53,1	52,4	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,7	41,9	39,9
R36	53,7	53,1	52,3	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,6	41,8	39,9
R37	53,8	53,1	52,3	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,6	41,9	39,9
R38	53,8	53,2	52,4	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,7	41,9	40,0
R39	53,8	53,2	52,4	52,0	51,7	50,9	49,6	48,1	45,7	42,0	40,0
R40	53,8	53,1	52,3	51,9	51,6	50,8	49,5	48,0	45,6	41,9	39,9
R41	53,8	53,2	52,4	52,0	51,7	50,9	49,6	48,1	45,7	42,0	40,1
R42	53,3	52,7	51,9	51,5	51,1	50,3	49,0	47,5	45,1	41,3	39,4
R43	53,2	52,6	51,8	51,3	51,0	50,2	48,9	47,4	45,0	41,2	39,3
R44	52,3	51,7	50,5	50,1	49,6	48,7	47,1	45,7	43,0	39,2	37,1
R45	53,2	52,6	51,8	51,4	51,1	50,3	49,0	47,5	45,2	41,5	39,5
R46	52,3	51,7	50,8	50,4	50,0	49,2	47,8	46,3	43,8	39,9	37,9
R47	50,9	50,2	49,5	49,0	48,7	47,8	46,5	44,8	42,3	38,3	36,1



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R16 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimat

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueella suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Kokkonevan tuulivoimapuistolle on käytetty 36 voimalan sijoittelusuunnitelmaa. Arviointi on tehty turbiinityypillä V172-7.2 MW ja napakorkeudella 214 m. Selvityksessä on arvioitu myös Kokkonevan ja läheisten suunnitteilla olevien Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen sekä toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston melun yhteisvaikutuksia.

Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien loma-asuntojen ja vakituisten asuinrakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

Kokkonevan, Ahvenlammen, Honkahuhdan ja Limakon yhteisvaikutuksista ei aiheudu melun ohjearvojen ylityksiä.

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: 101020971-005.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 12.01.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Kalle Auvinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Kalle Auvinen				Tarkastaja/hyväksyjä: Erkki Heikkola			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172-7.2 MW PO7200 (blades with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7,2 MW		Napakorkeus: 214 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: V172-7.2MW PO7200 (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	98,0	2000	92,4
63	92,4	25	68,9	250	98,6	2500	90,1
125	100,0	31,5	73,8	315	98,8	3150	87,5
250	103,3	40	78,6	400	98,9	4000	84,5
500	103,5	50	83,0	500	98,7	5000	81,1
1000	101,9	63	86,8	630	98,6	6300	77,4
2000	97,4	80	90,2	800	98,1	8000	73,3
4000	89,9	100	92,9	1000	97,2	10000	68,9
8000	79,2	125	95,2	1250	95,9		
		160	96,8	1600	94,4		



Melun erityispiirteiden mittausta 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)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: 0 kpl						Luonnonsuojelualueet: 0 kpl					
Matalataajuiset ulkomelun tasot [dB] reseptoreiden kohdilla (lähtömelutaso 106,9 + 2 dB(A))											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	48,7	48,0	47,3	46,8	46,6	45,7	44,4	42,7	40,1	36,0	33,5
R2	50,1	49,4	48,8	48,3	48,1	47,2	46,0	44,3	41,9	38,0	35,7
R3	50,4	49,7	49,1	48,6	48,4	47,5	46,3	44,7	42,3	38,3	36,1
R4	50,4	49,8	49,1	48,7	48,4	47,6	46,3	44,7	42,3	38,3	36,1
R5	51,6	51,0	50,4	49,9	49,6	48,8	47,6	46,0	43,7	39,9	37,8
R6	52,4	51,7	51,1	50,7	50,4	49,6	48,4	46,9	44,6	40,8	38,8
R7	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,0	44,7	40,9	38,9
R8	52,7	52,1	51,4	51,0	50,7	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,2
R9	52,3	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,7	44,4	40,6	38,5
R10	52,7	52,1	51,4	51,0	50,7	49,9	48,8	47,2	44,9	41,1	39,1
R11	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	46,9	44,6	40,8	38,7

Matalataajuiset ulkomelun tasot [dB] reseptoreiden kohdilla (lähtömelutaso 106,9 + 2 dB(A))											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R12	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,1
R13	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,2	39,2
R14	52,7	52,0	51,4	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	39,0
R15	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,2
R16	53,9	53,2	52,6	52,2	51,9	51,2	50,0	48,5	46,2	42,6	40,7
R17	52,7	52,1	51,4	51,0	50,7	49,9	48,7	47,2	44,9	41,1	39,1
R18	52,7	52,0	51,4	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	39,0
R19	52,6	52,0	51,4	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	39,0
R20	52,9	52,3	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,1	41,4	39,4
R21	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R22	53,2	52,5	51,9	51,5	51,2	50,4	49,3	47,7	45,4	41,7	39,7
R23	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R24	53,3	52,7	52,0	51,6	51,4	50,6	49,4	47,9	45,6	41,9	39,9
R25	52,7	52,1	51,4	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,1	39,1
R26	52,9	52,3	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,2	41,4	39,4
R27	52,8	52,2	51,6	51,1	50,9	50,1	48,9	47,3	45,1	41,3	39,3
R28	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,2	39,2
R29	52,9	52,3	51,6	51,2	50,9	50,2	49,0	47,4	45,1	41,4	39,4
R30	53,7	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,9	48,3	46,1	42,4	40,5
R31	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	46,9	44,6	40,8	38,8
R32	50,3	49,6	49,0	48,5	48,2	47,4	46,1	44,4	42,0	38,0	35,7
R33	53,1	52,4	51,8	51,3	51,1	50,3	49,1	47,6	45,3	41,6	39,6
R34	53,2	52,6	52,0	51,5	51,3	50,5	49,3	47,8	45,5	41,8	39,8
R35	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R36	53,1	52,4	51,8	51,4	51,1	50,3	49,2	47,6	45,3	41,6	39,7
R37	53,1	52,5	51,8	51,4	51,2	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
R38	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,7	45,4	41,7	39,7
R39	53,2	52,5	51,9	51,5	51,2	50,5	49,3	47,7	45,5	41,8	39,8
R40	53,1	52,4	51,8	51,4	51,1	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
R41	53,2	52,5	51,9	51,5	51,2	50,5	49,3	47,7	45,5	41,8	39,8
R42	52,6	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,1	44,8	41,0	39,1
R43	52,5	51,9	51,2	50,8	50,6	49,8	48,6	47,0	44,7	41,0	39,0
R44	50,4	49,7	49,1	48,6	48,3	47,5	46,2	44,6	42,2	38,2	35,9
R45	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,3	39,4
R46	51,4	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,4	39,6	37,5
R47	50,3	49,6	49,0	48,5	48,2	47,4	46,1	44,5	42,1	38,2	36,0

05.01.2024

- Äänitasot
dB(A)**

