



# **Suomen Hyötytuuli Oy**

Kokkoneva

Tuulivoimapuiston meluselvitys

05.09.2024

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään. Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101020971-005.

Kannen kuva: © AFRY

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

## YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

**Suomen Hyötytuuli Oy**

Panu Piirtola

[panu.piirtola@hyotytuuli.fi](mailto:panu.piirtola@hyotytuuli.fi)

Tekijä:

**AFRY Finland Oy**

Juulianna Lähteinen

[juulianna.lahteinen@afry.com](mailto:juulianna.lahteinen@afry.com)

Wind and Solar Finland

[www.afry.com](http://www.afry.com)

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101020971-005

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	12.01.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	12.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	05.09.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	05.09.2024/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	Kokkonevan, Ahvenlammen sekä Honkahuhdan voimala- sijaintien muutokset.

## SISÄLLYS

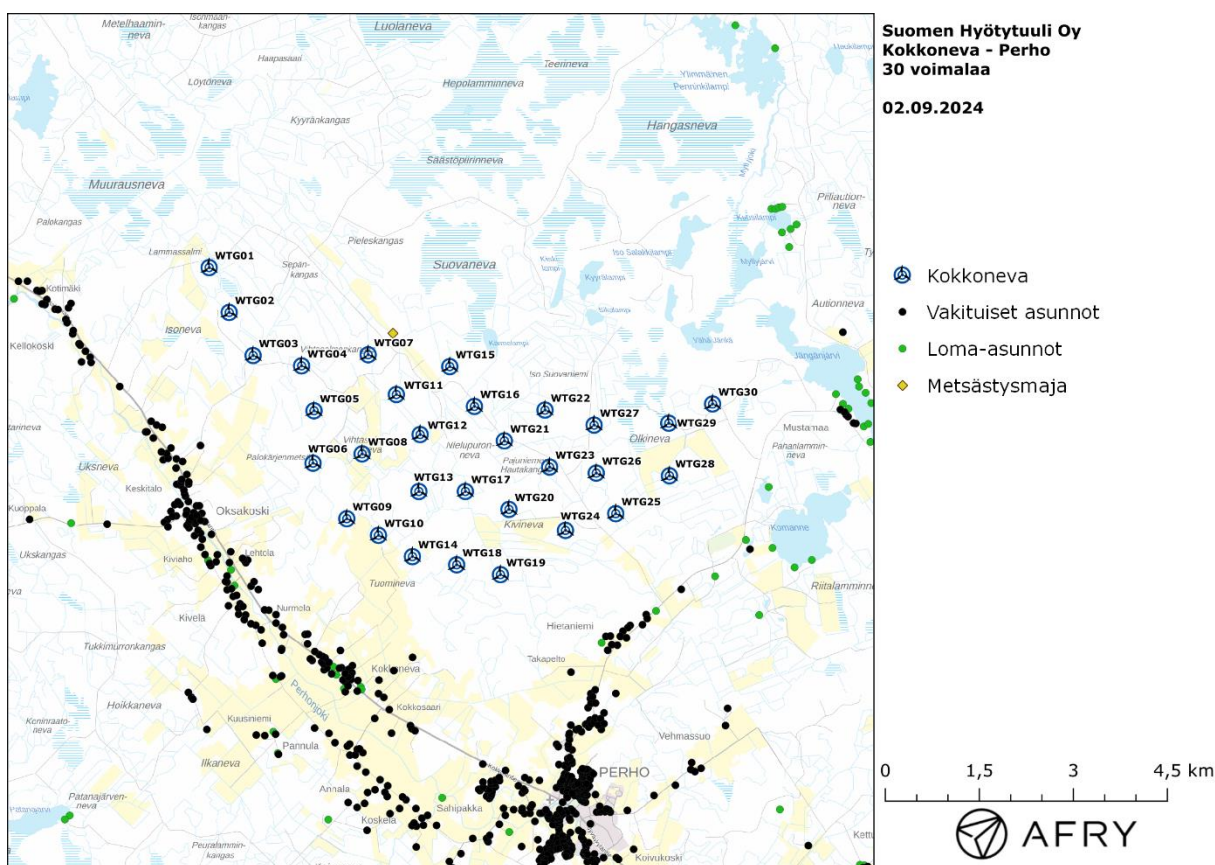
1	JOHDANTO .....	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU .....	7
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta .....	7
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	8
2.3	Ohjearvot .....	9
2.4	Sisämelutasojen arviointi .....	10
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS.....	11
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	11
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus .....	16
3.3	Melun yhteisvaikutukset .....	19
4	YHTEENVETO.....	24
5	VIITTEET .....	25
6	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT .....	26

# 1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kokkonevan tuulivoimapuistolle käytetään 30 voimalan sijoittelusuunnitelmaa. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1-1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja tuulivoimalatyyppiin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyyppiin 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 lisäksi Kokkonevan sekä läheisten Limakon (toiminnassa), Ahvenlammen (suunnitteilla) ja Honkahuhdan (suunnitteilla) tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



**Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kokkonevan hankealueella.**

**Taulukko 1-1: Kokkonevan tuulivoimaloiden (30 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	364533	7020625	161
WTG02	364852	7019911	161
WTG03	365234	7019224	160
WTG04	366008	7019060	165
WTG05	366206	7018344	164
WTG06	366191	7017509	165
WTG07	367071	7019237	167
WTG08	366974	7017657	164
WTG09	366729	7016625	160
WTG10	367235	7016360	161
WTG11	367520	7018603	167
WTG12	367900	7017966	168
WTG13	367880	7017058	166
WTG14	367776	7016021	161
WTG15	368373	7019048	168
WTG16	368766	7018413	167
WTG17	368622	7017059	165
WTG18	368482	7015890	166
WTG19	369182	7015734	168
WTG20	369317	7016773	166
WTG21	369244	7017864	168
WTG22	369893	7018355	171
WTG23	369966	7017447	170
WTG24	370219	7016438	168
WTG25	371021	7016705	171
WTG26	370710	7017351	173
WTG27	370676	7018116	173
WTG28	371878	7017309	173
WTG29	371867	7018146	175
WTG30	372567	7018452	177

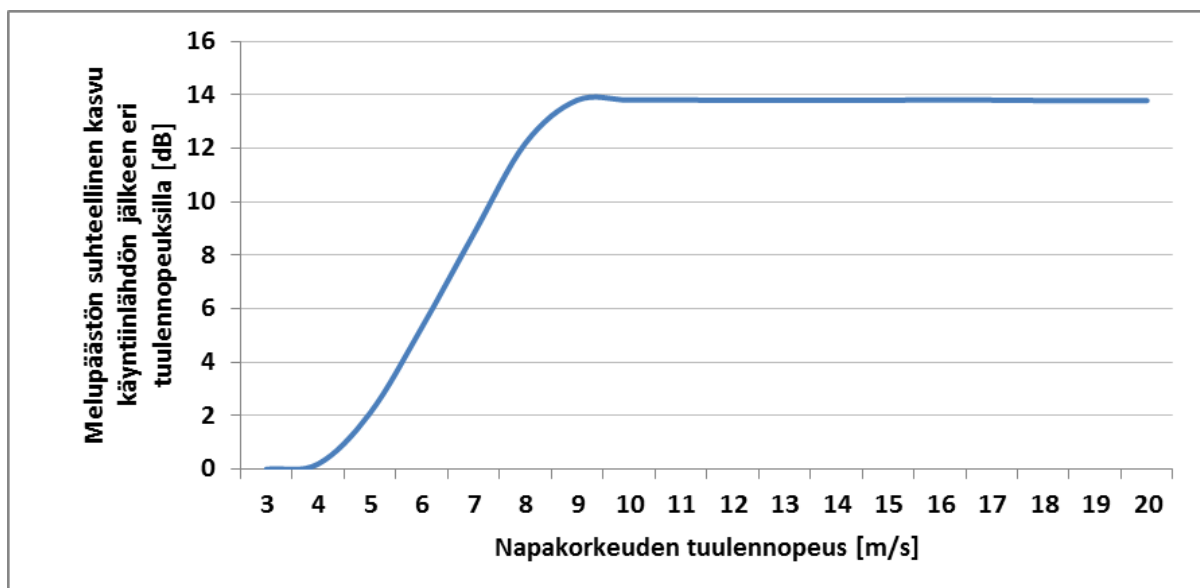
## 2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

### 2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä [17].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähön nopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 2-1).



**Kuva 2-1: 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 kokemukseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [16].



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 korkeudella 100 m nopeutta 12 m/s, korkeudella 160 m nopeutta 14 m/s ja korkeudella 200 m nopeutta 15 m/s.

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa 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 tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

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

## 2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten esittämis tavat. 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 tuulivoimalan 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 voimalatyyppien 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 tuulivoimaloiden 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].

Valtioneuvoston aiemmassa melutasoihin liittyvässä päätöksessä 993/1992 on annettu luonnonsuojelualueille päiväajan ohjearvo 45 dB(A) ja yöajan ohjearvo 40 dB(A) [10]. Tuulivoimameluasetuksen 1107/1/2015 perustelumuiden mukaan asetusta ei sovelleta kaikilla luonnonsuojelualueilla, vaan ainoastaan yleiselle virkistyskäytölle tärkeillä luonnonsuojelualueilla, joille on rakennettu käyttöä palvelevia polkuja ja muita rakenteita. Aieman melupäätöksen 993/1992 luonnonsuojelualueiden ohjearvoja ei siis tuulivoimamelun osalta sovellettaisi.

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, lasketuun 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 mitaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2-1).

**Taulukko 2-1: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.**

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA <sub>eq</sub> päiväajalle (klo 7–22)	LA <sub>eq</sub> 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 toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 2-2). 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 ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

**Taulukko 2-2: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.**

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

## 2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 2-2) lisäksi toimenpiderajat päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille sisätiloissa. Päiväaikainen (klo 07-22) keskiäänitaso ei saa ylittää 35 dB(A) ja yöaikainen (klo 22-07) keskiäänitaso 30 dB(A). Lisäksi yöaikainen musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona  $L_{eq,1h}$  mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Ympäristöministeriön melumallinnusohjeet eivät sisällä erillisiä ohjeita sisämelun kokonaismelutason mallintamiseksi. Yöajan sisämelun toimenpiderajojen oletetaan kuitenkin alittuvan, mikäli melumallinnuksen antamat ulkomelutasot sekä matalataajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpideravot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristykseen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 3-3) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristykseen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisen sisämelun tasojen todetaan pysyvän annetuissa toimenpiderajoissa, myös kokonaismelun tasot pysyvät todennäköisesti raja-arvojen alapuolella.

### 3 TUULIVOIMAKOHTTEEN 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 tuulivoimalavalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336\_00. 2022-06-30.

Dokumenttia varten tuulivoimalatyyppin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat tuulivoimalatyyppillä 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 [11]:

”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.”

Tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 106,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] 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 3-1) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 47 pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin.

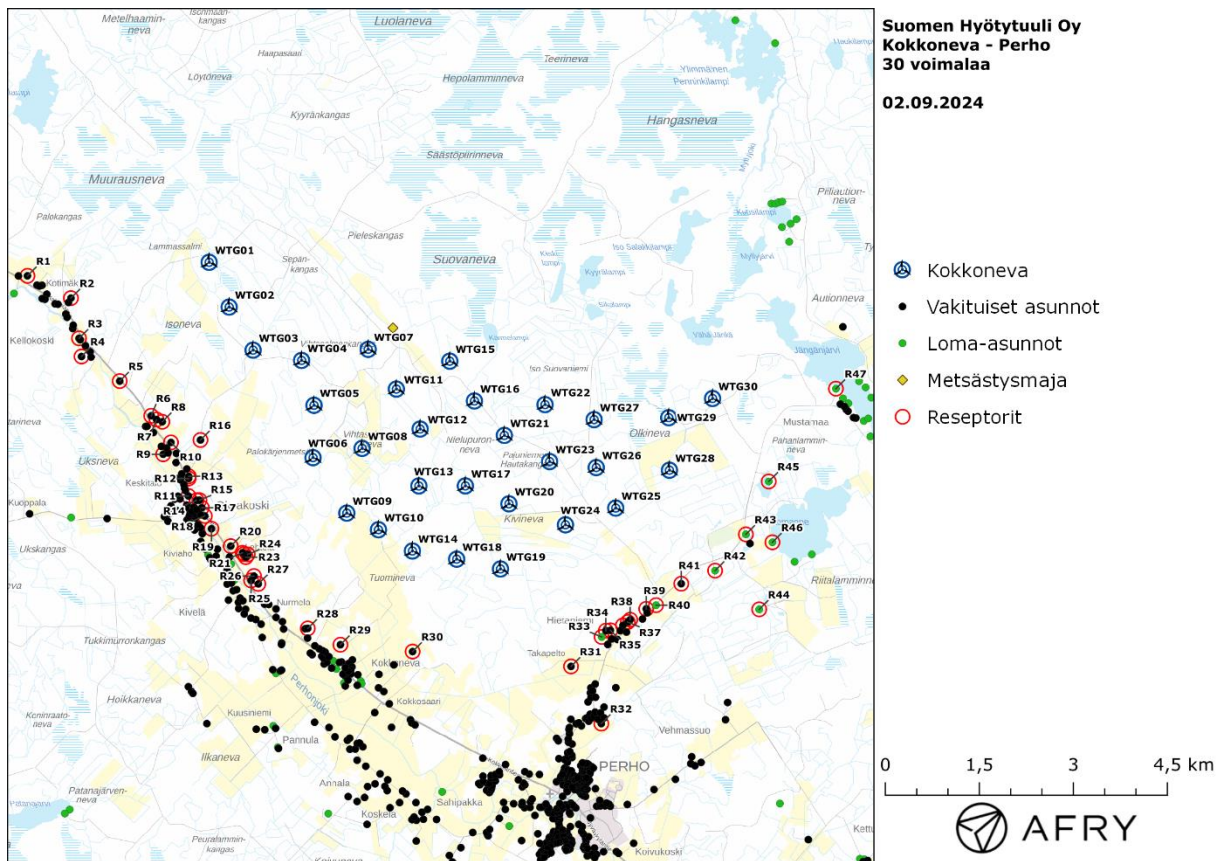
Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,6-2,9 km etäisyydellä voimaloista.

Hankealueen sisäpuolella, noin 520 metriä voimalan WTG07 koillispuolella sijaitsee yksi loma-asunnoksi luokiteltu rakennus. Asiakkaalta tulleen tiedon mukaan kyseinen rakennus on todellisuudessa metsästysmaja, minkä vuoksi sitä ei ole otettu huomioon meluvaikutusten arvioinnissa.

**Taulukko 3-1: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	361635	7020406	151	vakituinen asunto
R2	362329	7020051	155	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	154	vakituinen asunto
R9	363801	7017560	154	vakituinen asunto
R10	363925	7017749	156	vakituinen asunto
R11	364204	7016895	157	vakituinen asunto
R12	364207	7017174	156	vakituinen asunto
R13	364209	7017209	157	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	157	vakituinen asunto
R19	364571	7016373	155	vakituinen asunto
R20	364879	7016096	156	vakituinen asunto
R21	365068	7015990	157	vakituinen asunto
R22	365090	7015967	156	vakituinen asunto
R23	365120	7015920	156	vakituinen asunto
R24	365150	7015963	158	vakituinen asunto
R25	365204	7015548	156	vakituinen asunto
R26	365250	7015618	157	vakituinen asunto
R27	365319	7015493	159	vakituinen asunto
R28	366108	7014783	157	vakituinen asunto
R29	366629	7014523	158	vakituinen asunto
R30	367781	7014414	158	vakituinen asunto
R31	370309	7014177	161	vakituinen asunto
R32	370792	7013265	160	vakituinen asunto

R33	370798	7014647	166	loma-asunto
R34	370865	7014747	168	vakituinen asunto
R35	370938	7014753	167	vakituinen asunto
R36	371138	7014832	171	vakituinen asunto
R37	371215	7014885	173	vakituinen asunto
R38	371253	7014922	173	vakituinen asunto
R39	371509	7015095	172	vakituinen asunto
R40	371666	7015154	172	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	178	loma-asunto
R46	373523	7016157	175	loma-asunto
R47	374536	7018607	179	loma-asunto



**Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Kokkonevan tuulivoimapaiston hankealueella.**

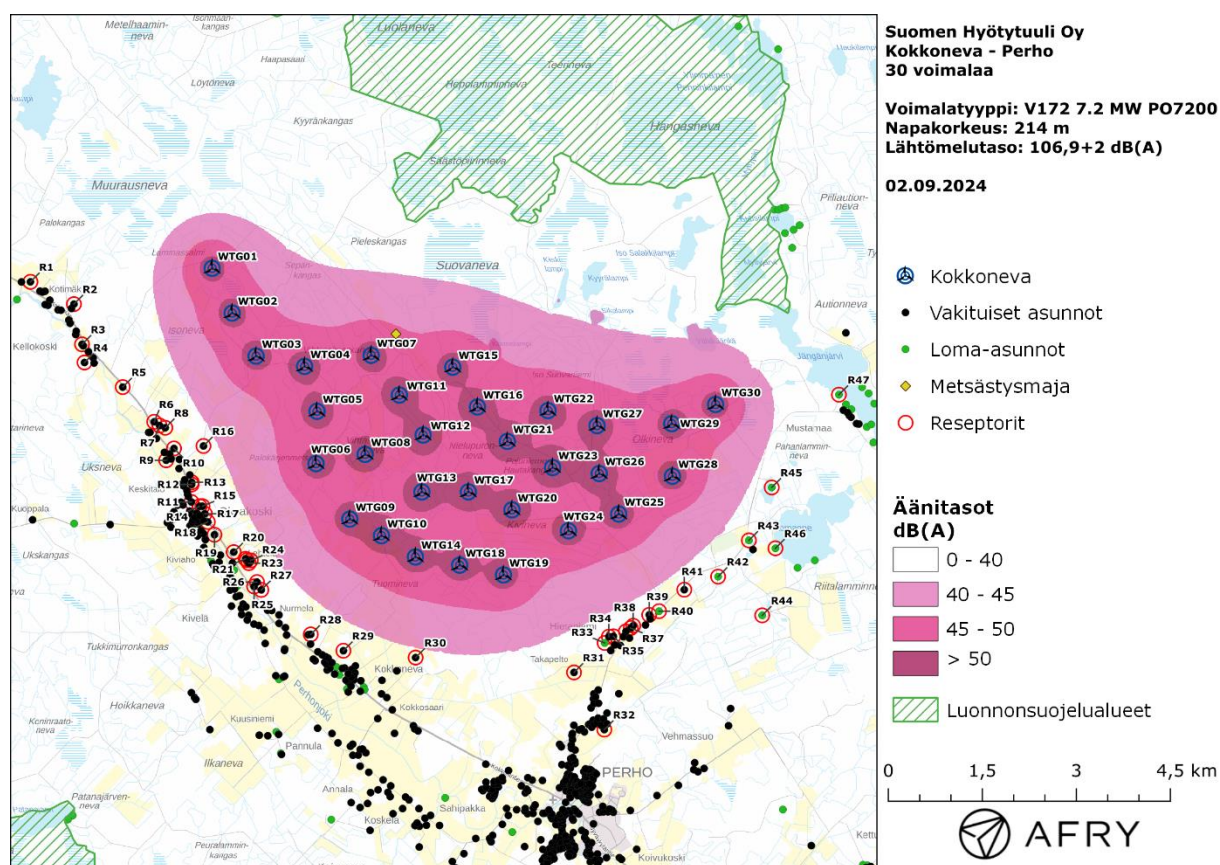


## Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). 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 3-2). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Mallinnuksen perusteella luonnonsuojelualueilla ei saavuteta yli 40 dB:n melutasoa. 45 dB(A):n päiväajan ja 40 dB(A):n yöajan ohjearvoa sovelletaan ainoastaan yleiselle virkistyskäytölle tärkeillä luonnonsuojelualueilla, joille on rakennettu käyttöä palvelevia polkuja tai muita rakenteita.



**Kuva 3-2: Keskiäänitasot LAeq Kokkonevan tuulivoimapuiston hankealueella.**

**Taulukko 3-2: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.**

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	30,6	R25	37,4
R2	33,3	R26	37,8
R3	33,7	R27	37,7
R4	33,8	R28	37,7
R5	35,6	R29	38,0
R6	36,8	R30	39,3
R7	37,0	R31	37,2
R8	37,2	R32	33,4
R9	36,5	R33	38,0
R10	37,2	R34	38,4
R11	36,8	R35	38,1
R12	37,2	R36	38,1
R13	37,4	R37	38,2
R14	37,2	R38	38,3
R15	37,4	R39	38,4
R16	39,0	R40	38,3
R17	37,2	R41	38,5
R18	37,2	R42	37,6
R19	37,1	R43	37,5
R20	37,7	R44	33,9
R21	38,0	R45	38,8
R22	38,0	R46	35,7
R23	38,0	R47	34,1
R24	38,4		



### 3.2 Matalataajuisten melun mallinnus

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

#### Meluvaikutus

Matalataajuisten melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määritellyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisten melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 2-2). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisten *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tulkinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneneristävyys.

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit 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 ääneneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 3-3) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

**Taulukko 3-3: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-3) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-4). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

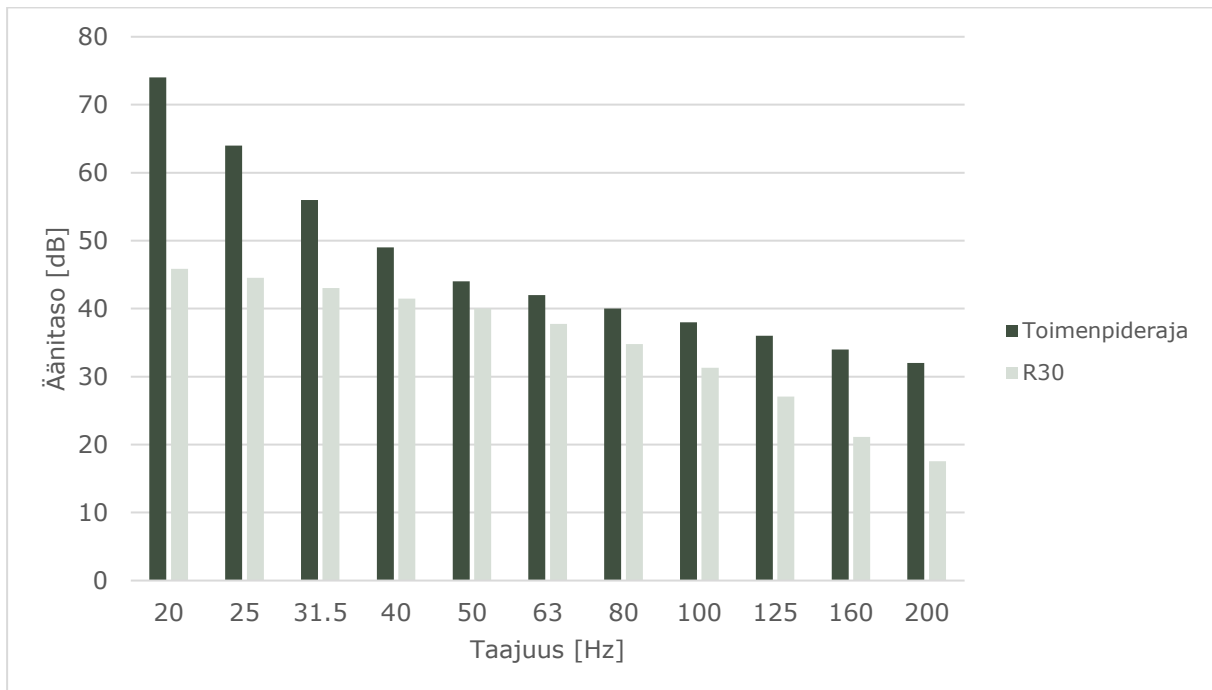
Korkeimmat matalataajuisten melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R30, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin

(Kuva 3-3). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuuksvälillä.

**Taulukko 3-4: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla.**

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	47,7	47,0	46,4	45,9	45,6	44,8	43,5	41,7	39,2	35,0	32,6
R2	49,2	48,5	47,9	47,4	47,2	46,3	45,1	43,4	41,0	37,1	34,9
R3	49,6	48,9	48,3	47,8	47,5	46,7	45,5	43,8	41,4	37,5	35,3
R4	49,6	49,0	48,3	47,8	47,6	46,8	45,5	43,9	41,5	37,5	35,3
R5	50,9	50,2	49,6	49,1	48,9	48,1	46,9	45,3	42,9	39,1	37,1
R6	51,7	51,0	50,4	50,0	49,7	48,9	47,7	46,2	43,9	40,1	38,1
R7	51,8	51,2	50,6	50,1	49,9	49,1	47,9	46,3	44,1	40,3	38,3
R8	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,5	44,3	40,5	38,6
R9	51,6	51,0	50,3	49,9	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,0	37,9
R10	52,1	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,6	44,3	40,5	38,5
R11	51,9	51,2	50,6	50,2	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,3	38,3
R12	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,6	38,6
R13	52,2	51,6	50,9	50,5	50,3	49,5	48,3	46,7	44,5	40,7	38,7
R14	52,1	51,5	50,9	50,4	50,1	49,4	48,2	46,6	44,3	40,6	38,6
R15	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,7	44,5	40,7	38,7
R16	53,3	52,6	52,0	51,6	51,3	50,6	49,4	47,9	45,7	42,0	40,1
R17	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,6	38,6
R18	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,4	40,6	38,6
R19	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,3	40,6	38,6
R20	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
R21	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,3	39,4
R22	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,9	47,3	45,1	41,3	39,4
R23	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,3	45,1	41,3	39,4
R24	52,9	52,2	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,5	45,2	41,5	39,6
R25	52,3	51,7	51,0	50,6	50,4	49,6	48,4	46,8	44,5	40,8	38,8
R26	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,1	44,8	41,1	39,1
R27	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
R28	52,5	51,8	51,2	50,8	50,5	49,7	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
R29	52,6	52,0	51,3	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,9	41,1	39,2
R30	53,5	52,8	52,2	51,8	51,5	50,8	49,6	48,1	45,9	42,2	40,4
R31	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,3	40,6	38,6
R32	49,9	49,2	48,6	48,1	47,8	47,0	45,8	44,1	41,7	37,7	35,4
R33	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,9	47,3	45,1	41,3	39,4
R34	52,9	52,3	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,5	45,3	41,5	39,6
R35	52,8	52,2	51,6	51,1	50,9	50,1	49,0	47,4	45,2	41,5	39,5
R36	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,1	48,9	47,4	45,1	41,4	39,5
R37	52,8	52,2	51,5	51,1	50,9	50,1	48,9	47,4	45,1	41,4	39,5
R38	52,8	52,2	51,6	51,1	50,9	50,1	49,0	47,4	45,2	41,5	39,5

R39	52,9	52,2	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,5	45,2	41,5	39,6
R40	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,1	48,9	47,4	45,1	41,4	39,5
R41	52,9	52,2	51,6	51,2	50,9	50,2	49,0	47,5	45,2	41,5	39,7
R42	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,8	44,5	40,8	38,8
R43	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,5	40,7	38,8
R44	50,0	49,3	48,7	48,2	47,9	47,1	45,9	44,2	41,8	37,9	35,7
R45	52,3	51,7	51,1	50,6	50,4	49,6	48,4	46,9	44,7	41,0	39,1
R46	51,0	50,3	49,7	49,2	49,0	48,2	47,0	45,4	43,1	39,3	37,2
R47	49,7	49,0	48,4	47,9	47,6	46,8	45,6	43,9	41,5	37,6	35,5



**Kuva 3-3: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R30 kohdalla.**

### 3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Kokkonevan voimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen, sekä toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston aiheuttamaa melun yhteisvaikutusta.

Ahvenlammen sekä Honkahuhdan tuulivoimahankkeita suunnittelee Pohjan Voima Oy. Ahvenlammen tuulivoimapuistoon on suunnitteilla seitsemän voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 2,9 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Honkahuhdan tuulivoimapuistoon suunnitellaan puolestaan kymmenen voimalaa, joista lähin sijaitsee noin 4,1 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista.

Melumallinnuksessa sekä Ahvenlammen että Honkahuhdan voimaloille on käytetty tuulivoimalatyyppiä V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges), jonka lähtömelutaso on 106,9 dB(A). Tähän melutasoon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo tunnusarvon saamiseksi, joten mallinnuksessa on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Tuulivoimalatyyppin melun taajuusjakaumat on saatu samasta dokumentista kuin Kokkonevan voimaloille käytetty taajuusjakauma (kappale 3.1). Ahvenlammen voimaloille on käytetty napakorkeutta 180 m ja Honkahuhdan voimaloille napakorkeutta 210 m.

Limakon tuulivoimapuistossa on toiminnassa yhdeksän tuulivoimalaa, joista lähimmät sijaitsevat noin 4,2 km etäisyydellä Kokkonevan voimaloista. Limakon voimaloiden napakorkeus on 144 m ja tuulivoimalatyyppi Nordex N131 3.0 MW. Limakon tuulivoimaloille on käytetty sen osayleiskaavan selosteessa annettua taajuusjakaumaa, johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo melupäästön tunnusarvon saamiseksi. Kaavaselosteen taajuusjakauma perustuu dokumenttiin:

- Technical Report, Third octave sound power levels, Nordex N131/3000, Document no. F008\_246\_A07\_EN, 2014-03-11.

Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 3-5-Taulukko 3-7).

#### **Taulukko 3-5: Ahvenlammen (7 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
A1	359771	7025145	151
A2	360296	7024772	154
A3	360672	7023104	155
A4	361160	7022850	158
A5	361028	7021974	154
A6	361922	7021890	159
A7	360382	7023617	154

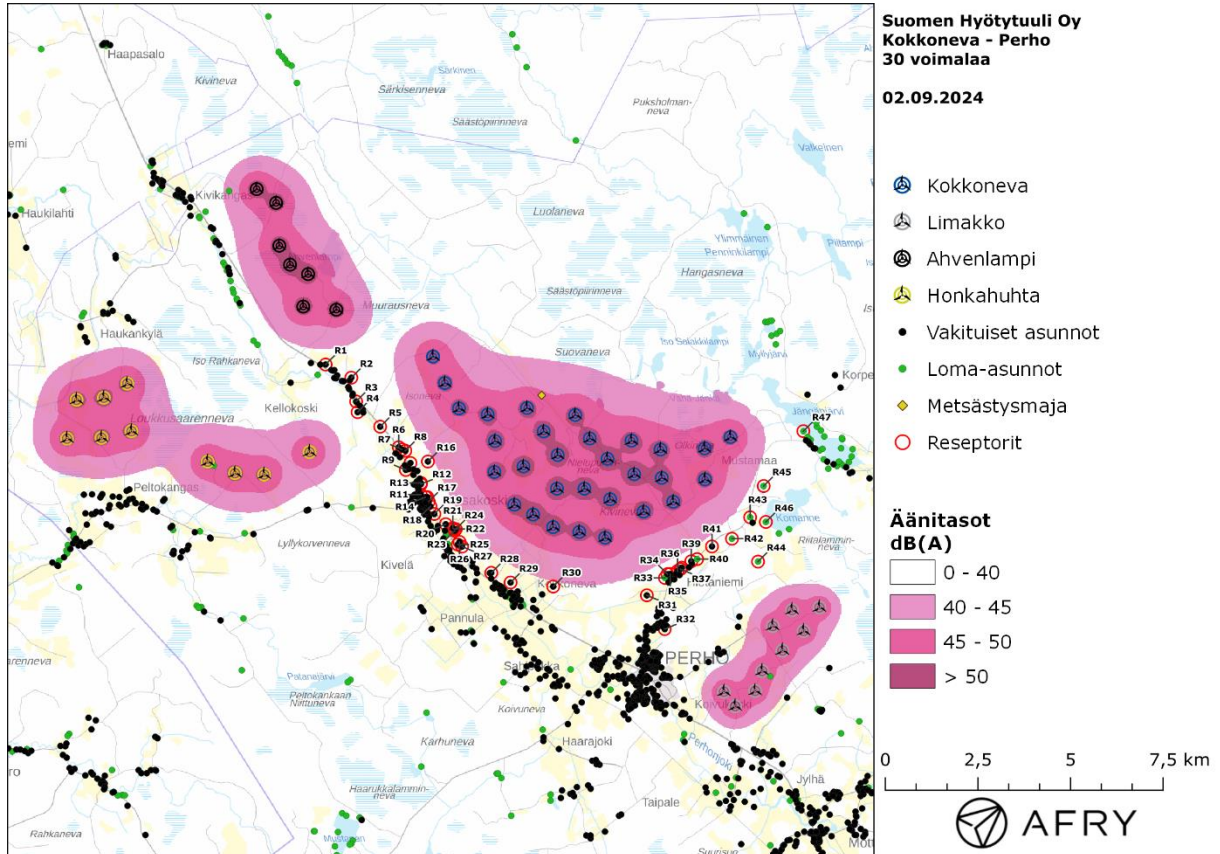
**Taulukko 3-6: Honkahuhdan (10 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
H1	361198	7018048	153
H2	359972	7017438	147
H3	359186	7017478	144
H4	358445	7017788	146
H5	356389	7018610	143
H6	356277	7019895	140
H7	355580	7018432	135
H8	355643	7019513	137
H9	354649	7018410	134
H10	354906	7019457	129

**Taulukko 3-7: Limakon (9 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.**

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
L1	372691	7011187	167
L2	373231	7011601	176
L3	372389	7011579	166
L4	373419	7012138	178
L5	373968	7012691	175
L6	373707	7013351	182
L7	374228	7013784	196
L8	374540	7013217	188
L9	374967	7013853	194

Kokkonevan ja naapuripuistojen mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-4). Keskiäänitasot reseptorien kohdalla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-8). Mallinnustulosten perusteella Kokkonevan, Ahvenlammen, Honkahuhdan sekä Limakon aiheuttamat melun yhteisvaikutukset jäävät alle valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvon kaikkien ympäristön asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa 0,1-7,5 dB(A). Melutaso nousee eniten reseptorin R1 kohdalla, joka on Kokkonevan, Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimaloiden ympäröimänä.



**Kuva 3-4: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimat.**

**Taulukko 3-8: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimat.**

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	38,1	R25	37,6
R2	37,3	R26	38,0
R3	37,1	R27	37,9
R4	37,1	R28	37,9
R5	37,4	R29	38,1
R6	37,7	R30	39,4
R7	37,8	R31	37,4
R8	38,0	R32	34,5
R9	37,3	R33	38,3
R10	37,9	R34	38,6
R11	37,3	R35	38,4
R12	37,7	R36	38,4
R13	37,9	R37	38,5
R14	37,6	R38	38,5
R15	37,8	R39	38,7
R16	39,4	R40	38,6
R17	37,6	R41	38,8

R18	37,6	R42	38,0
R19	37,4	R43	37,9
R20	38,0	R44	36,0
R21	38,2	R45	39,0
R22	38,2	R46	36,2
R23	38,2	R47	34,2
R24	38,5		

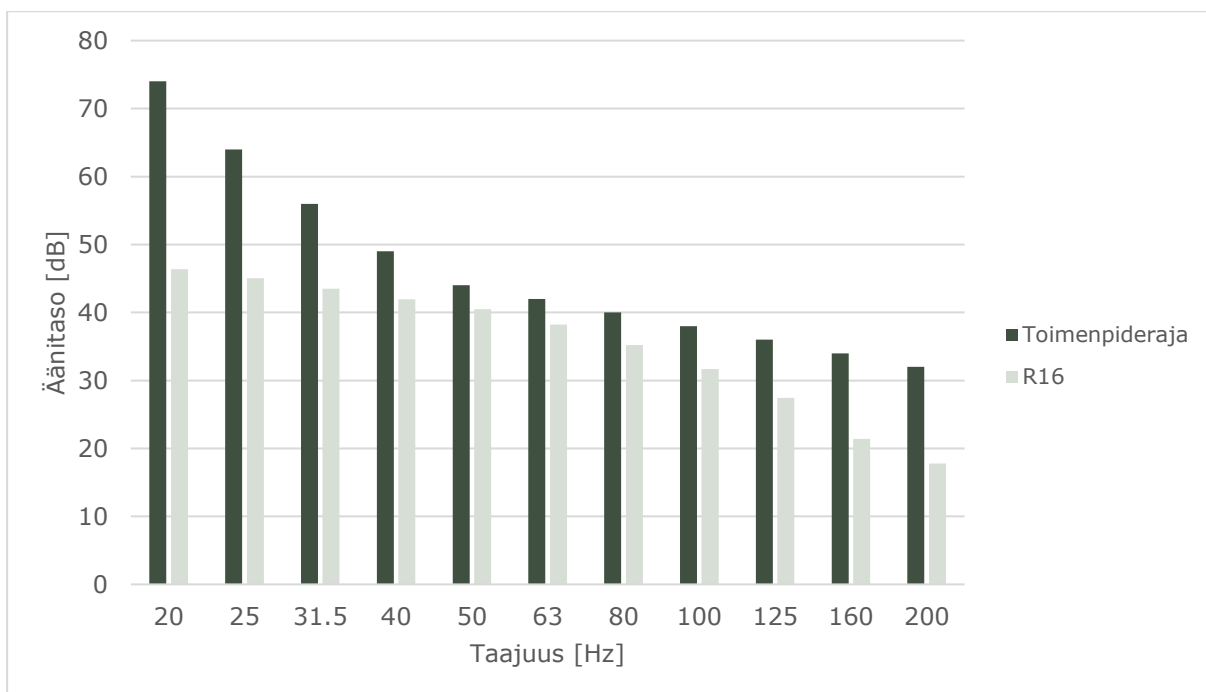
Kokkonevan ja naapuripuistojen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-9). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoripisteeseen R16, jonka kohdalla on myös laskettu sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, yhteisvaikutusten melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

**Taulukko 3-9: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan sekä naapuripuistojen voimat.**

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	53,0	52,3	51,7	51,2	51,0	50,1	48,9	47,4	45,0	41,3	39,3
R2	52,7	52,0	51,4	50,9	50,6	49,8	48,6	47,0	44,6	40,8	38,7
R3	52,5	51,9	51,2	50,7	50,5	49,7	48,4	46,9	44,5	40,6	38,5
R4	52,6	51,9	51,2	50,8	50,5	49,7	48,5	46,9	44,5	40,7	38,6
R5	52,8	52,1	51,5	51,0	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	40,9	38,8
R6	53,0	52,3	51,7	51,2	51,0	50,2	48,9	47,4	45,0	41,2	39,1
R7	53,1	52,4	51,8	51,3	51,0	50,2	49,0	47,5	45,1	41,3	39,3
R8	53,2	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,1	47,6	45,2	41,4	39,4
R9	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	49,9	48,7	47,1	44,8	40,9	38,8
R10	53,1	52,5	51,8	51,3	51,1	50,3	49,1	47,5	45,2	41,4	39,3
R11	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,7	47,1	44,8	40,9	38,9
R12	53,1	52,4	51,8	51,3	51,0	50,2	49,0	47,4	45,1	41,3	39,2
R13	53,1	52,4	51,8	51,3	51,1	50,3	49,0	47,5	45,1	41,3	39,3
R14	53,0	52,3	51,6	51,2	50,9	50,1	48,9	47,3	45,0	41,1	39,1
R15	53,0	52,4	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,1	41,2	39,2
R16	54,0	53,3	52,7	52,2	52,0	51,2	50,0	48,5	46,2	42,5	40,6
R17	53,0	52,3	51,7	51,2	51,0	50,1	48,9	47,3	45,0	41,2	39,1
R18	52,9	52,3	51,6	51,1	50,9	50,1	48,9	47,3	44,9	41,1	39,0
R19	52,9	52,2	51,6	51,1	50,9	50,0	48,8	47,2	44,9	41,0	39,0
R20	53,1	52,4	51,8	51,3	51,1	50,3	49,0	47,5	45,1	41,4	39,3
R21	53,3	52,6	52,0	51,5	51,3	50,5	49,3	47,7	45,4	41,6	39,6
R22	53,3	52,7	52,0	51,5	51,3	50,5	49,3	47,7	45,4	41,6	39,6
R23	53,3	52,6	52,0	51,5	51,3	50,5	49,3	47,7	45,4	41,6	39,6
R24	53,4	52,8	52,1	51,7	51,4	50,6	49,4	47,9	45,6	41,8	39,8
R25	52,9	52,2	51,6	51,1	50,9	50,0	48,8	47,2	44,9	41,1	39,1
R26	53,1	52,4	51,8	51,3	51,1	50,3	49,0	47,5	45,1	41,4	39,3



R27	53,0	52,4	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,0	41,3	39,2
R28	52,9	52,3	51,6	51,2	50,9	50,1	48,9	47,3	45,0	41,2	39,2
R29	53,0	52,4	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,4	45,1	41,3	39,3
R30	53,8	53,2	52,5	52,0	51,8	51,0	49,8	48,3	46,0	42,3	40,4
R31	52,8	52,2	51,4	50,9	50,6	49,8	48,5	47,0	44,6	40,8	38,8
R32	51,3	50,7	49,6	49,2	48,8	47,9	46,4	44,9	42,3	38,3	36,1
R33	53,4	52,7	51,9	51,5	51,2	50,4	49,1	47,6	45,3	41,5	39,6
R34	53,5	52,9	52,1	51,7	51,4	50,6	49,3	47,8	45,5	41,7	39,8
R35	53,4	52,8	52,0	51,6	51,3	50,5	49,2	47,7	45,4	41,6	39,7
R36	53,4	52,8	52,0	51,6	51,2	50,4	49,2	47,7	45,3	41,6	39,7
R37	53,4	52,8	52,0	51,6	51,3	50,5	49,2	47,7	45,4	41,6	39,7
R38	53,5	52,8	52,0	51,6	51,3	50,5	49,2	47,7	45,4	41,7	39,8
R39	53,5	52,9	52,1	51,7	51,4	50,6	49,3	47,8	45,5	41,8	39,8
R40	53,4	52,8	52,0	51,6	51,3	50,5	49,2	47,7	45,4	41,6	39,7
R41	53,5	52,9	52,1	51,7	51,4	50,6	49,3	47,8	45,5	41,8	39,9
R42	53,0	52,4	51,5	51,1	50,8	50,0	48,6	47,2	44,8	41,1	39,1
R43	52,8	52,2	51,4	51,0	50,6	49,8	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
R44	51,9	51,3	50,1	49,8	49,3	48,4	46,8	45,4	42,7	38,9	36,9
R45	52,8	52,2	51,4	51,0	50,7	49,9	48,7	47,2	44,9	41,1	39,3
R46	51,9	51,3	50,4	50,0	49,6	48,8	47,4	45,9	43,4	39,6	37,6
R47	50,2	49,6	48,8	48,4	48,0	47,2	45,9	44,2	41,8	37,8	35,6



**Kuva 3-5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R16 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Kokkonevan ja naapuripuistojen voimat.**

## 4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Perhon kunnan alueelle suunnitellun Kokkonevan tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 30 voimalan sijoitussuunnitelmalla käyttäen tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 taa-juusjakaumia ja napakorkeutta 214 m. Selvityksessä on arvioitu myös Kokkonevan ja läheisten suunnitteilla olevien Ahvenlammen ja Honkahuhdan tuulivoimapuistojen sekä toiminnassa olevan Limakon tuulivoimapuiston melun yhteisvaikutuksia.

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

Kokkonevan, Ahvenlammen, Honkahuhdan ja Limakon melun yhteisvaikutuksista ei aiheudu 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 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.1.1993.
- [11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [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] 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.
- [17] 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 raportioijan tiedot							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>101020971-005.002</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: <b>05.09.2024</b>			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>AFRY Finland Oy</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Juulianna Lähteinen ja Kalle Auvinen</b>							
Laatija: <b>Juulianna Lähteinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Kalle Auvinen</b>			
Mallinnusohjelman tiedot							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot							
Tuulivoimalan valmistaja: <b>Vestas</b>				Tyyppi: <b>V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges)</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>7.2 MW</b>		Napakorkeus: <b>214 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>172 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus			Muu, mikä		
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	<b>Ei tiedossa</b>	Ei	<b>Ei tiedossa</b>			dB	
Akustiset tiedot/Laskennan lähtötiedot							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
<ul style="list-style-type: none"> <li>Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.</li> </ul> Alla oleviin arvoihin on jo lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
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		

<b>Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:</b>											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:				
kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>	kyllä	<b>ei</b>		
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
<b>4 m</b>						<b>10 m x 10 m</b>					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
<b>70 %</b>						<b>15 C°</b>					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>						Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>			
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
<b>ISO 9613-2</b>											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
<b>Neutraali</b>											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
<b>Vapaa avaruus</b>											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>			Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>					
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>			Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>					
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>						Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella (mallinnuksessa huomioitu pelkästään Kokkoneva):											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	47,7	47,0	46,4	45,9	45,6	44,8	43,5	41,7	39,2	35,0	32,6
<b>R2</b>	49,2	48,5	47,9	47,4	47,2	46,3	45,1	43,4	41,0	37,1	34,9
<b>R3</b>	49,6	48,9	48,3	47,8	47,5	46,7	45,5	43,8	41,4	37,5	35,3
<b>R4</b>	49,6	49,0	48,3	47,8	47,6	46,8	45,5	43,9	41,5	37,5	35,3
<b>R5</b>	50,9	50,2	49,6	49,1	48,9	48,1	46,9	45,3	42,9	39,1	37,1
<b>R6</b>	51,7	51,0	50,4	50,0	49,7	48,9	47,7	46,2	43,9	40,1	38,1
<b>R7</b>	51,8	51,2	50,6	50,1	49,9	49,1	47,9	46,3	44,1	40,3	38,3
<b>R8</b>	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,5	44,3	40,5	38,6
<b>R9</b>	51,6	51,0	50,3	49,9	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,0	37,9
<b>R10</b>	52,1	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,6	44,3	40,5	38,5
<b>R11</b>	51,9	51,2	50,6	50,2	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,3	38,3
<b>R12</b>	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,6	38,6
<b>R13</b>	52,2	51,6	50,9	50,5	50,3	49,5	48,3	46,7	44,5	40,7	38,7
<b>R14</b>	52,1	51,5	50,9	50,4	50,1	49,4	48,2	46,6	44,3	40,6	38,6

<b>R15</b>	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,7	44,5	40,7	38,7
<b>R16</b>	53,3	52,6	52,0	51,6	51,3	50,6	49,4	47,9	45,7	42,0	40,1
<b>R17</b>	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2	49,4	48,2	46,7	44,4	40,6	38,6
<b>R18</b>	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,4	40,6	38,6
<b>R19</b>	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,3	40,6	38,6
<b>R20</b>	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
<b>R21</b>	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,3	45,0	41,3	39,4
<b>R22</b>	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,9	47,3	45,1	41,3	39,4
<b>R23</b>	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,3	45,1	41,3	39,4
<b>R24</b>	52,9	52,2	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,5	45,2	41,5	39,6
<b>R25</b>	52,3	51,7	51,0	50,6	50,4	49,6	48,4	46,8	44,5	40,8	38,8
<b>R26</b>	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,1	44,8	41,1	39,1
<b>R27</b>	52,5	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
<b>R28</b>	52,5	51,8	51,2	50,8	50,5	49,7	48,5	47,0	44,7	41,0	39,0
<b>R29</b>	52,6	52,0	51,3	50,9	50,7	49,9	48,7	47,1	44,9	41,1	39,2
<b>R30</b>	53,5	52,8	52,2	51,8	51,5	50,8	49,6	48,1	45,9	42,2	40,4
<b>R31</b>	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,3	40,6	38,6
<b>R32</b>	49,9	49,2	48,6	48,1	47,8	47,0	45,8	44,1	41,7	37,7	35,4
<b>R33</b>	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,9	47,3	45,1	41,3	39,4
<b>R34</b>	52,9	52,3	51,7	51,2	51,0	50,2	49,0	47,5	45,3	41,5	39,6
<b>R35</b>	52,8	52,2	51,6	51,1	50,9	50,1	49,0	47,4	45,2	41,5	39,5
<b>R36</b>	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,1	48,9	47,4	45,1	41,4	39,5
<b>R37</b>	52,8	52,2	51,5	51,1	50,9	50,1	48,9	47,4	45,1	41,4	39,5
<b>R38</b>	52,8	52,2	51,6	51,1	50,9	50,1	49,0	47,4	45,2	41,5	39,5
<b>R39</b>	52,9	52,2	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,5	45,2	41,5	39,6
<b>R40</b>	52,8	52,1	51,5	51,1	50,8	50,1	48,9	47,4	45,1	41,4	39,5
<b>R41</b>	52,9	52,2	51,6	51,2	50,9	50,2	49,0	47,5	45,2	41,5	39,7
<b>R42</b>	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,8	44,5	40,8	38,8
<b>R43</b>	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,5	40,7	38,8
<b>R44</b>	50,0	49,3	48,7	48,2	47,9	47,1	45,9	44,2	41,8	37,9	35,7
<b>R45</b>	52,3	51,7	51,1	50,6	50,4	49,6	48,4	46,9	44,7	41,0	39,1
<b>R46</b>	51,0	50,3	49,7	49,2	49,0	48,2	47,0	45,4	43,1	39,3	37,2
<b>R47</b>	49,7	49,0	48,4	47,9	47,6	46,8	45,6	43,9	41,5	37,6	35,5