

Vermassalon tuulivoimahanke, Virrat

LIITE 22: MELUSELVITYKSET

Ilmatar Vermassalo Oy



Ilmatar Vermassalo Oy

Vermassalon tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE1)

101021368-010, 16.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Vermassalo Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
16/01/2024

Projektinumero
101021368-010

Raportin tila
VALMIS

Vermassalon tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE1)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	16.01.2024/ 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

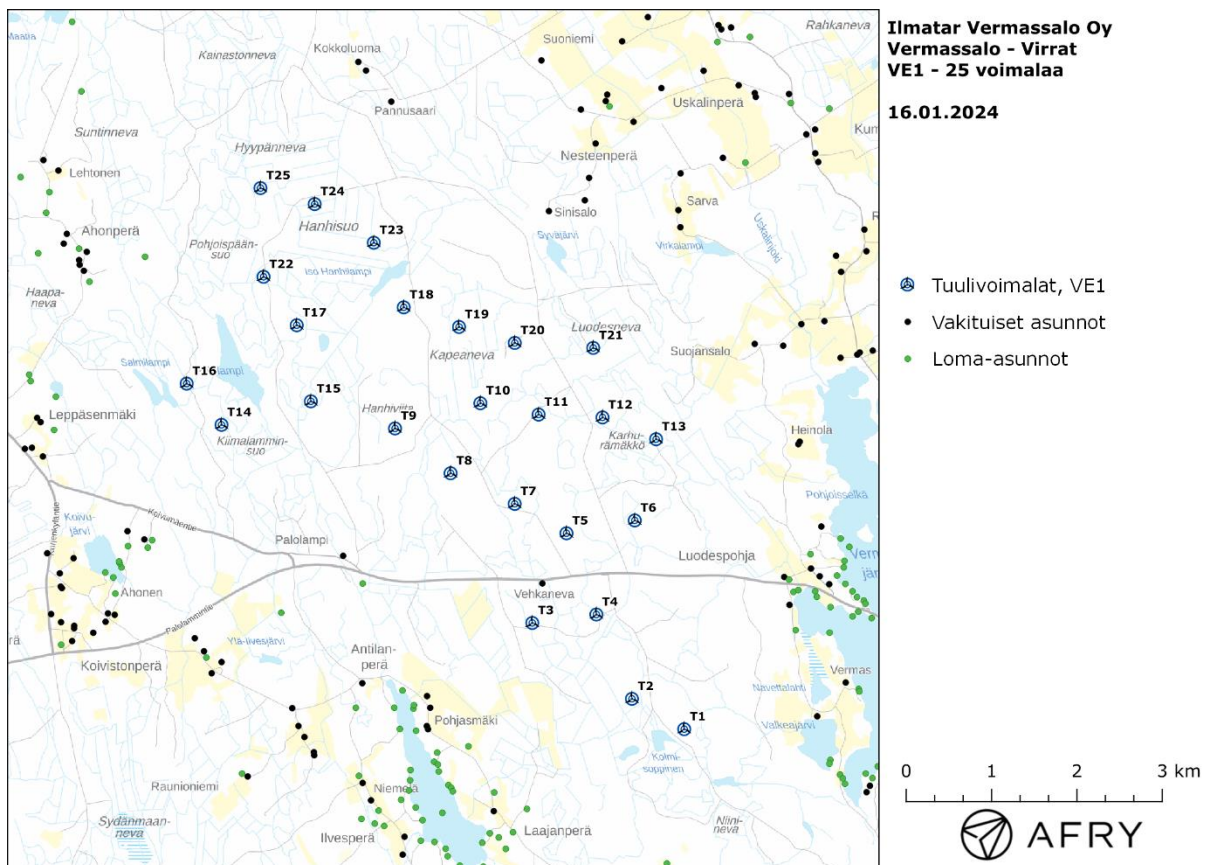
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	14
3.3	Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	23
5	Viitteet	24
6	Melumallinnuksen tiedot	25

1 Johdanto

Selityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnittelun Vermassalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 25 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE1. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan 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 selityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Vermassalon tuulivoimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Vermassalon hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE1.

Taulukko 1: Vermassalon tuulivoimaloiden (25 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	321768	6905892	163
T2	321156	6906247	156
T3	319988	6907134	158
T4	320739	6907233	164
T5	320389	6908183	178
T6	321189	6908333	170
T7	319782	6908527	177
T8	319031	6908885	181
T9	318380	6909409	181
T10	319380	6909704	168
T11	320062	6909571	166
T12	320811	6909538	158
T13	321439	6909283	153
T14	316347	6909451	167
T15	317394	6909726	166
T16	315939	6909933	164
T17	317228	6910616	166
T18	318482	6910825	170
T19	319130	6910596	162
T20	319783	6910409	163
T21	320702	6910351	149
T22	316839	6911182	163
T23	318131	6911581	155
T24	317439	6912033	157
T25	316804	6912220	158

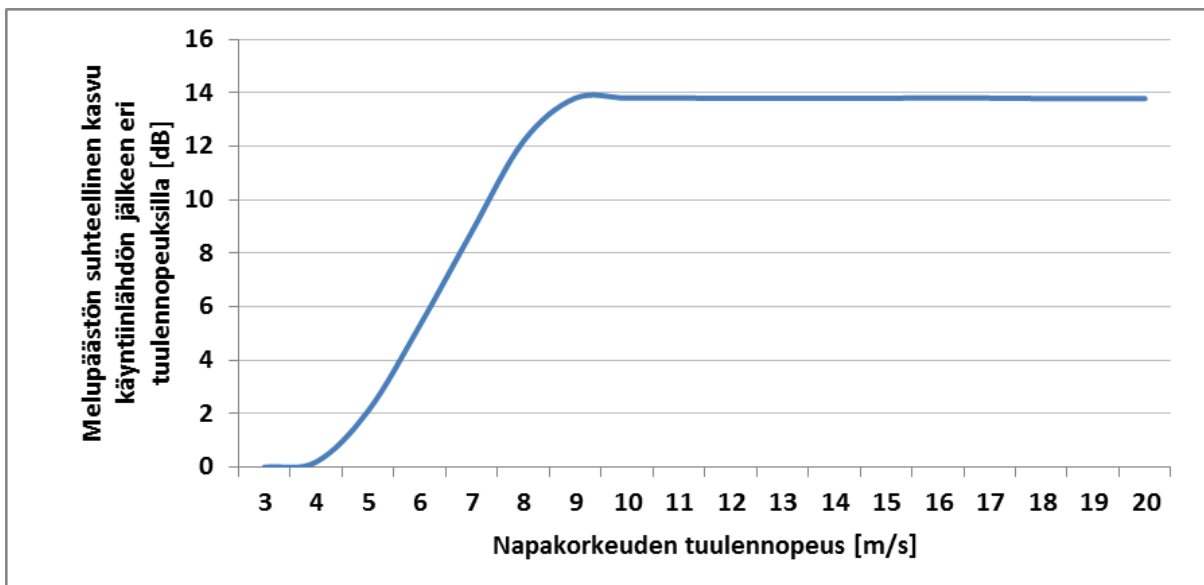
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

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



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

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

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

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

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran 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 sahailoidituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitäajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitäajuuksilla 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 suunnitteluohjeistuksiin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhteita.

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen 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 ympäristöolosuhteita. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisten äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka

parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneneristävyydellä.

2.3 Ohjearvot

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

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 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 V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

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

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty 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 225 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

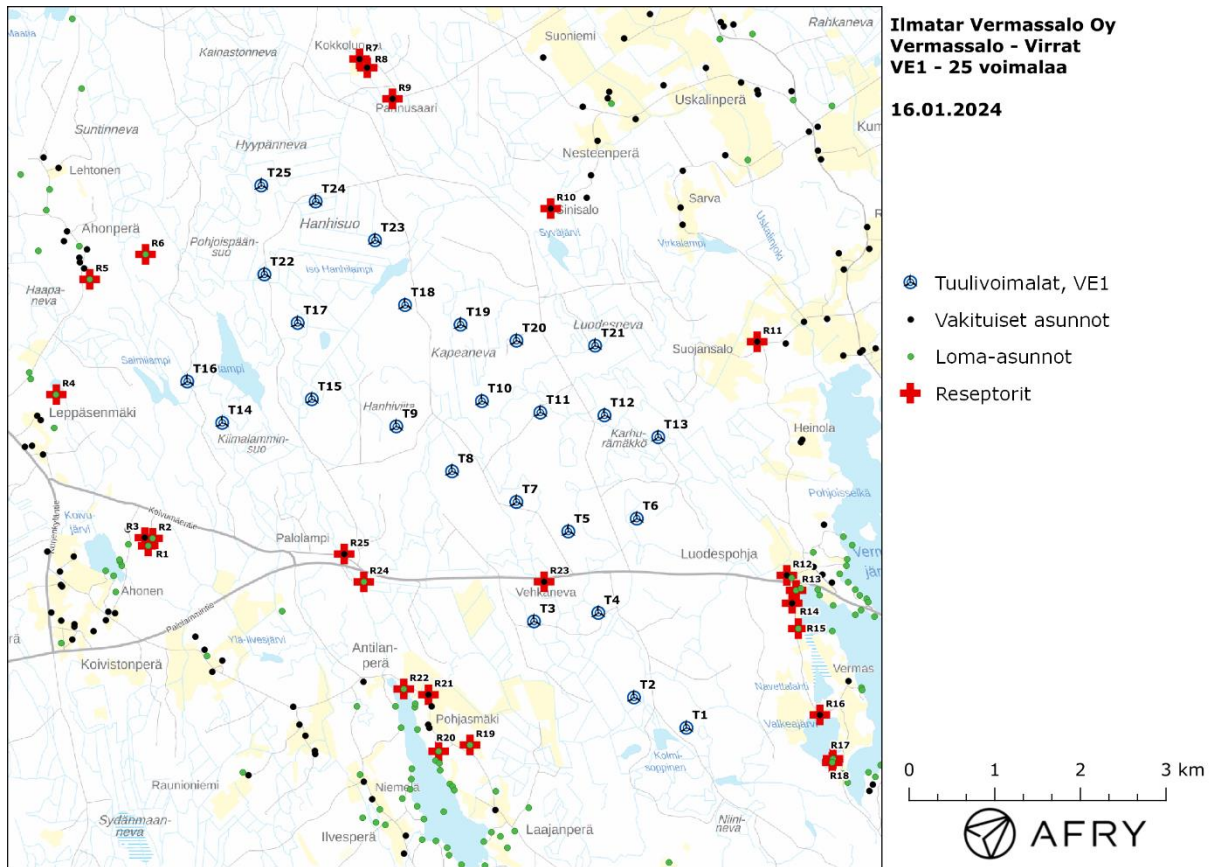
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli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

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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuaisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Vertailurakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-2 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R23, joka sijaitsee alle 500 metrin etäisyydellä voimalasta T3.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	315484	6908014	183	lomarakennus
R2	315535	6908101	188	lomarakennus
R3	315444	6908110	184	vakituinen asuinrakennus
R4	314411	6909779	167	lomarakennus
R5	314801	6911124	175	lomarakennus
R6	315453	6911415	184	lomarakennus
R7	317951	6913694	148	vakituinen asuinrakennus
R8	318041	6913593	146	vakituinen asuinrakennus
R9	318337	6913230	144	vakituinen asuinrakennus
R10	320184	6911949	144	vakituinen asuinrakennus
R11	322595	6910396	139	vakituinen asuinrakennus
R12	322941	6907670	137	vakituinen asuinrakennus
R13	323049	6907494	129	lomarakennus
R14	323003	6907344	132	vakituinen asuinrakennus
R15	323075	6907049	133	lomarakennus
R16	323328	6906041	131	vakituinen asuinrakennus
R17	323481	6905530	130	lomarakennus
R18	323471	6905487	130	lomarakennus
R19	319241	6905690	149	lomarakennus
R20	318875	6905616	143	lomarakennus
R21	318756	6906277	143	vakituinen asuinrakennus
R22	318468	6906343	138	lomarakennus
R23	320107	6907595	163	vakituinen asuinrakennus
R24	318002	6907594	159	lomarakennus
R25	317773	6907918	156	vakituinen asuinrakennus



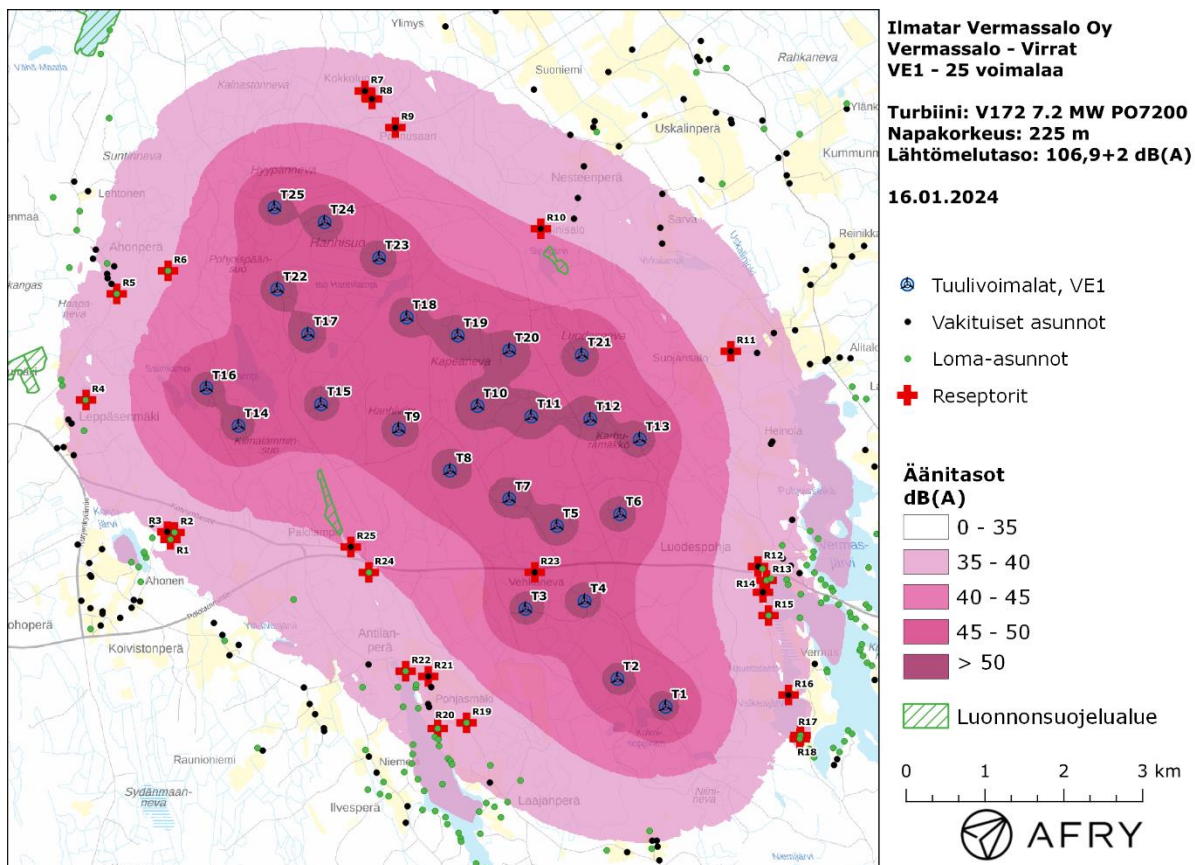
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq 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 ylittävät valtioneuvoston asetuksessa asetetun 40 dB(A):n ohjearvon kahden reseptorin (R23 ja R25) kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla melutasot jäävät alle ohjearvon.

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



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Vermassalon tuulivoimapaiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	36,2	R14	36,9
R2	37,2	R15	36,8
R3	36,4	R16	35,9
R4	37,0	R17	35,8
R5	37,5	R18	35,5
R6	39,9	R19	37,6
R7	37,2	R20	36,3
R8	37,5	R21	38,1
R9	38,7	R22	36,8
R10	40,0	R23	47,8
R11	38,1	R24	39,7
R12	37,6	R25	40,2
R13	36,5		

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 konser-

vatiivisen 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

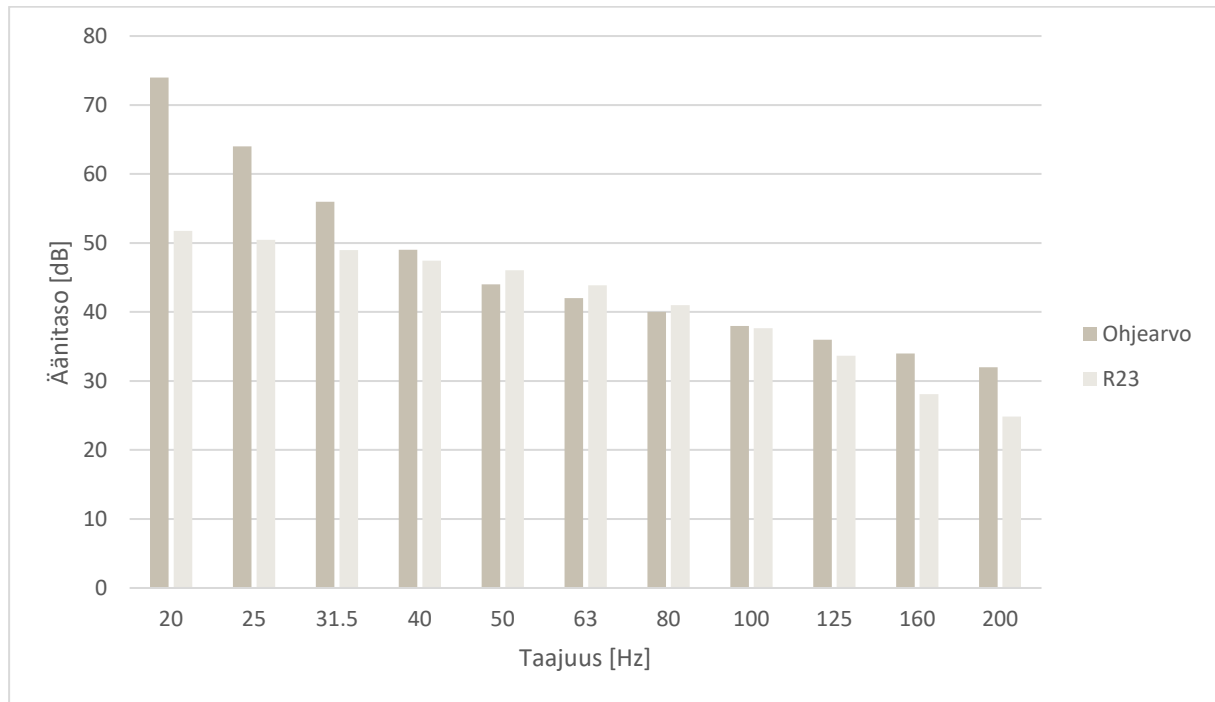
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso 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 R23, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot ylittävät asetusarvot taajuuksilla 50-80 Hz. Muilla taajuuksilla melutasot jäävät alle asetusarvojen.

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 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. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisen melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Raportin mallinnusten perusteella voimaloiden aiheuttamat ulkomelutasot ylittävät ohjearvon kahden rakennuksen kohdalla ja matalataajuisen melun tasot ylittävät ohjearvot yhden rakennuksen kohdalla. On mahdollista, että kyseisten reseptoreiden kohdalla myös asumisterveysasetuksen 30 dB(A):n ohjearvon yöajan sisämelutasolle ylittyy.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,4	50,8	50,1	49,7	49,4	48,6	47,5	45,9	43,6	39,9	37,9
R2	51,7	51,0	50,4	50,0	49,7	49,0	47,8	46,2	44,0	40,2	38,3
R3	51,5	50,9	50,3	49,8	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,1	38,1
R4	51,2	50,5	49,9	49,5	49,2	48,5	47,3	45,7	43,5	39,7	37,8
R5	51,8	51,2	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,5	38,6
R6	53,5	52,8	52,2	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	46,0	42,5	40,7
R7	51,6	51,0	50,4	49,9	49,7	48,9	47,8	46,2	44,0	40,2	38,3
R8	51,9	51,3	50,6	50,2	50,0	49,2	48,0	46,5	44,2	40,5	38,6
R9	52,8	52,1	51,5	51,1	50,9	50,1	48,9	47,4	45,2	41,6	39,7
R10	53,9	53,2	52,6	52,2	52,0	51,2	50,0	48,6	46,4	42,8	41,0
R11	52,4	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	47,0	44,8	41,1	39,2
R12	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,5	40,8	38,9
R13	51,8	51,1	50,5	50,0	49,8	49,0	47,9	46,3	44,1	40,4	38,4
R14	51,9	51,2	50,6	50,1	49,9	49,1	48,0	46,4	44,2	40,5	38,5
R15	51,6	51,0	50,3	49,9	49,7	48,9	47,7	46,2	43,9	40,2	38,3
R16	50,6	49,9	49,3	48,9	48,6	47,8	46,6	45,1	42,8	39,0	37,1
R17	49,7	49,0	48,4	48,0	47,7	46,9	45,7	44,1	41,8	37,9	35,9
R18	49,7	49,0	48,4	47,9	47,7	46,9	45,7	44,1	41,7	37,9	35,9
R19	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,6	44,4	40,7	38,8
R20	51,3	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,5	39,8	37,8
R21	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,7	47,1	44,9	41,2	39,3
R22	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2	49,4	48,3	46,7	44,5	40,7	38,8
R23	59,4	58,8	58,2	57,8	57,6	56,9	55,8	54,4	52,5	49,1	47,6
R24	53,8	53,1	52,5	52,1	51,9	51,1	50,0	48,5	46,3	42,6	40,8
R25	54,1	53,5	52,9	52,5	52,2	51,5	50,3	48,9	46,7	43,0	41,2



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R23 kohdalla.

3.3 Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Vermassalon voimaloiden ja läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 27 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat lähes kuuden kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Tuuramäkeen on puolestaan suunnitteilla 16 voimalaa, joista lähimmät sijaitsevat noin seitsemän kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 8-9.

Taulukko 8: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	155
WTG12	307013	6907544	152
WTG13	306086	6907822	146
WTG14	306082	6909087	142
WTG15	307016	6908882	149
WTG16	307637	6908481	151
WTG17	308497	6908828	151
WTG18	309391	6909203	147
WTG19	308706	6909769	149
WTG20	307886	6909528	149
WTG21	306839	6909719	144
WTG22	306160	6910154	143
WTG23	307543	6910385	146
WTG24	308435	6910779	148
WTG25	307924	6911450	149
WTG26	307102	6911093	142
WTG27	307189	6912183	146

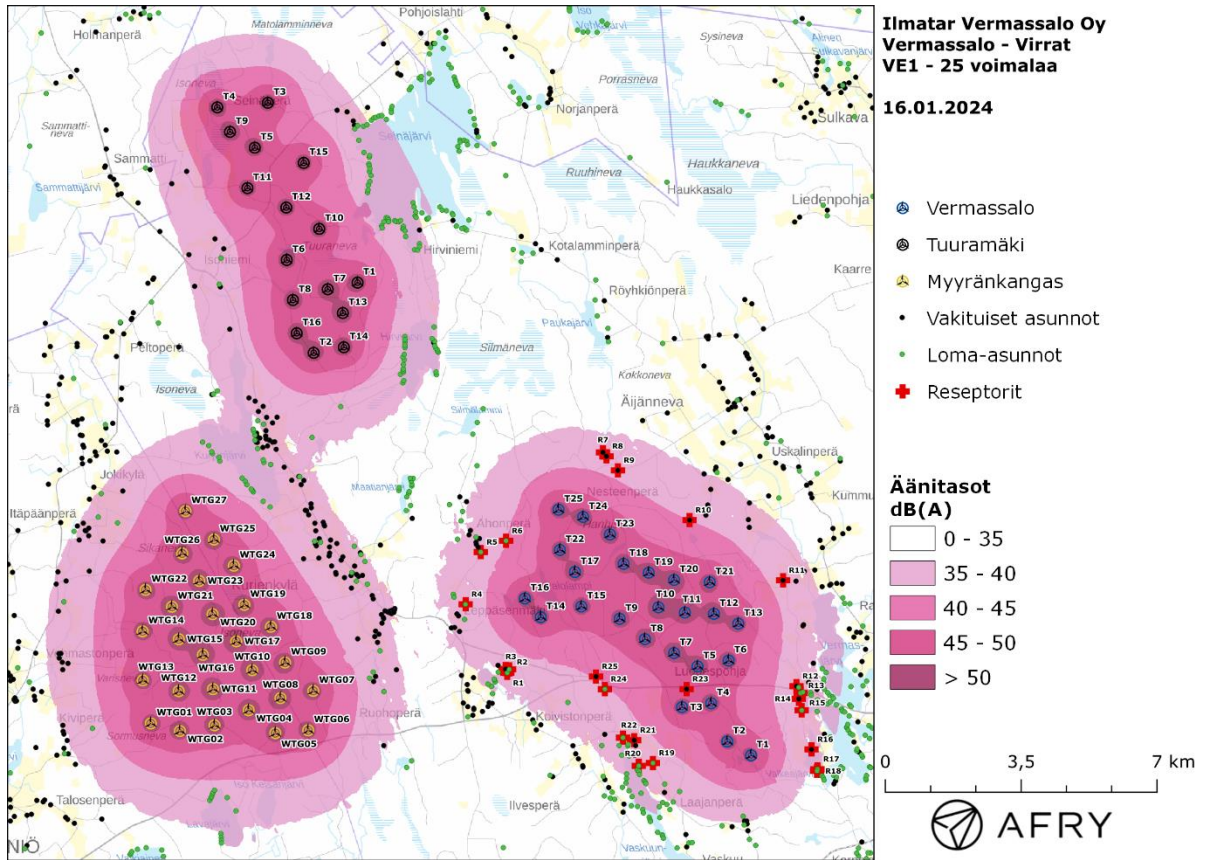
Taulukko 9: Tuuramäen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	311623	6918069	145
T2	310494	6916260	154
T3	309312	6922702	134
T4	308008	6922584	130
T5	308975	6921545	134
T6	309799	6918653	150
T7	310856	6917899	144
T8	309958	6917622	146
T9	308336	6921954	131
T10	310636	6919454	143
T11	308786	6920504	134
T12	309786	6920004	140
T13	311246	6917286	147
T14	311271	6916404	151
T15	310236	6921154	144
T16	310056	6916764	142

Mallinnuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja Tuuramäen voimaloille napakorkeutta 200 m. Mallinnuksissa sekä Myyränkankaan että Tuuramäen voimaloille on käytetty turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tätä äänitehotasoa voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Turbiinityypin melun taajuusjakaumat on saatu kappaleessa 3.1 ilmoitetusta dokumentista.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot on lueteltu taulukossa 10. Mallinnustulosten perusteella melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot ylittävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon kolmen reseptorin kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla melutasot pysyvät ohjearvoissa. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa enimmillään 0,6 dB(A) reseptorien R1 ja R3 kohdalla.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat matalataajuisten melun tasot kohdistuvat reseptoriin R23. Tämän rakennuksen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, voimaloiden aiheuttamat matalataajuiset melutasot ylittyvät taajuusvälillä 50-80 Hz. Ylitykset aiheutuvat pelkästään Vermassalon voimaloista.



Kuva 6: Keskiäänitasot L_{Aeq} , kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

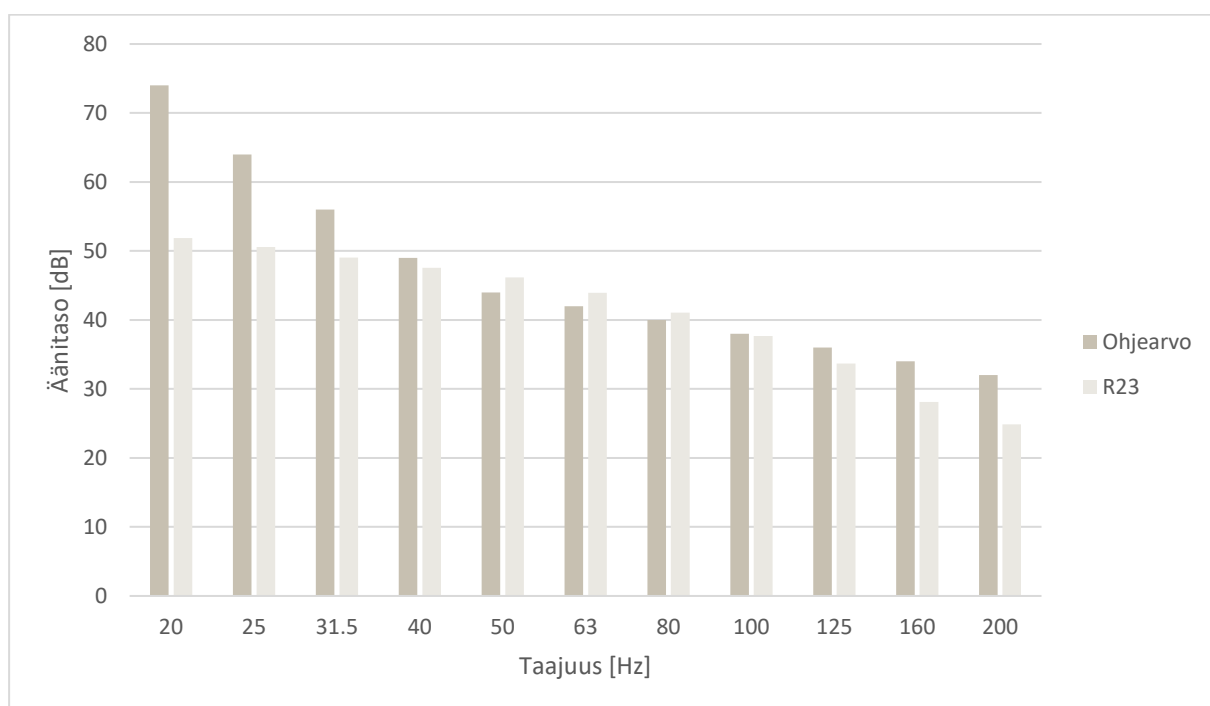
Taulukko 10: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	36,8	R14	36,9
R2	37,7	R15	36,8
R3	37,0	R16	36,0
R4	37,4	R17	36,0
R5	37,7	R18	35,8
R6	40,1	R19	37,6
R7	37,3	R20	36,4
R8	37,6	R21	38,2
R9	38,8	R22	36,9
R10	40,0	R23	47,8
R11	38,1	R24	39,7
R12	37,6	R25	40,2
R13	36,5		

Taulukko 11: Matalataajuuden ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	52,6	52,0	51,3	50,9	50,6	49,8	48,5	46,9	44,5	40,6	38,5
R2	52,9	52,2	51,5	51,1	50,8	50,0	48,8	47,1	44,8	40,9	38,8
R3	52,8	52,1	51,5	51,0	50,7	49,9	48,7	47,0	44,7	40,8	38,7
R4	52,9	52,2	51,5	51,1	50,8	50,0	48,8	47,1	44,7	40,9	38,7
R5	53,1	52,5	51,8	51,4	51,1	50,3	49,1	47,5	45,1	41,2	39,2
R6	54,3	53,6	53,0	52,6	52,3	51,5	50,4	48,8	46,6	42,9	41,0
R7	52,5	51,8	51,2	50,7	50,4	49,6	48,4	46,8	44,4	40,6	38,5
R8	52,6	52,0	51,4	50,9	50,6	49,8	48,6	47,0	44,7	40,9	38,9
R9	53,4	52,7	52,1	51,6	51,4	50,6	49,4	47,8	45,5	41,8	39,9
R10	54,2	53,6	52,9	52,5	52,3	51,5	50,3	48,8	46,5	42,9	41,0
R11	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,3
R12	52,4	51,8	51,1	50,7	50,5	49,6	48,4	46,9	44,6	40,8	38,9
R13	52,1	51,5	50,8	50,4	50,1	49,3	48,1	46,5	44,2	40,4	38,5
R14	52,2	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,6	44,3	40,5	38,6
R15	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,1	47,9	46,4	44,0	40,3	38,3
R16	51,0	50,4	49,7	49,2	49,0	48,1	46,9	45,3	42,9	39,1	37,1
R17	50,2	49,5	48,9	48,4	48,1	47,3	46,0	44,3	41,9	38,0	36,0

R18	50,2	49,5	48,9	48,4	48,1	47,2	46,0	44,3	41,9	38,0	35,9
R19	52,5	51,9	51,3	50,8	50,5	49,7	48,5	46,9	44,6	40,8	38,9
R20	52,0	51,3	50,7	50,2	49,9	49,1	47,9	46,2	43,9	40,0	37,9
R21	53,0	52,4	51,8	51,3	51,0	50,2	49,0	47,5	45,2	41,4	39,4
R22	52,7	52,1	51,5	51,0	50,7	49,9	48,7	47,1	44,8	41,0	38,9
R23	59,5	58,9	58,3	57,8	57,6	56,9	55,9	54,5	52,5	49,1	47,7
R24	54,2	53,6	53,0	52,5	52,3	51,5	50,3	48,8	46,5	42,8	40,9
R25	54,6	53,9	53,3	52,9	52,6	51,9	50,7	49,1	46,9	43,2	41,4



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R23 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 25 voimalan toteutusvaihtoehdolla VE1, käyttäen turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 taajuusjakaumia ja napakorkeutta 225 m. Selvityksessä on arvioitu myös Vermassalon ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden melun yhteisvaikutuksia.

Mallinnusten perustella melutasot ylittyvät kahden asuinrakennuksen kohdalla. Tämän lisäksi matalataajuisen melun tasot ylittävät asumisterveysasetuksessa asetetut ohjearvot taajuuksilla 50-80 Hz yhden asuinrakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla keskiäänitasot sekä matalataajuisen melun tasot pysyvät alle ohjearvojen.

Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloista aiheutuu vähäistä yhteisvaikutusta asutuksen kohdalla. Yhteisvaikutuksista aiheutuu ohjearvon ylitys yhden lomarakennuksen kohdalla.

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: 101021368-010.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 10.01.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Juulianna Lähteinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Juulianna Lähteinen				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 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 225 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™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	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: 2 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl					
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 2 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl					
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: 0 kpl						Luonnonsuojelualueet: 0 kpl					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, kun pelkästään Vermassalon voimalat huomioidaan:											
H_z	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,4	50,8	50,1	49,7	49,4	48,6	47,5	45,9	43,6	39,9	37,9
R2	51,7	51,0	50,4	50,0	49,7	49,0	47,8	46,2	44,0	40,2	38,3
R3	51,5	50,9	50,3	49,8	49,6	48,8	47,6	46,1	43,8	40,1	38,1
R4	51,2	50,5	49,9	49,5	49,2	48,5	47,3	45,7	43,5	39,7	37,8
R5	51,8	51,2	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,5	38,6
R6	53,5	52,8	52,2	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	46,0	42,5	40,7
R7	51,6	51,0	50,4	49,9	49,7	48,9	47,8	46,2	44,0	40,2	38,3
R8	51,9	51,3	50,6	50,2	50,0	49,2	48,0	46,5	44,2	40,5	38,6
R9	52,8	52,1	51,5	51,1	50,9	50,1	48,9	47,4	45,2	41,6	39,7
R10	53,9	53,2	52,6	52,2	52,0	51,2	50,0	48,6	46,4	42,8	41,0
R11	52,4	51,8	51,2	50,7	50,5	49,7	48,5	47,0	44,8	41,1	39,2
R12	52,1	51,5	50,9	50,4	50,2	49,4	48,2	46,7	44,5	40,8	38,9
R13	51,8	51,1	50,5	50,0	49,8	49,0	47,9	46,3	44,1	40,4	38,4
R14	51,9	51,2	50,6	50,1	49,9	49,1	48,0	46,4	44,2	40,5	38,5
R15	51,6	51,0	50,3	49,9	49,7	48,9	47,7	46,2	43,9	40,2	38,3

R16	50,6	49,9	49,3	48,9	48,6	47,8	46,6	45,1	42,8	39,0	37,1
R17	49,7	49,0	48,4	48,0	47,7	46,9	45,7	44,1	41,8	37,9	35,9
R18	49,7	49,0	48,4	47,9	47,7	46,9	45,7	44,1	41,7	37,9	35,9
R19	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,1	46,6	44,4	40,7	38,8
R20	51,3	50,7	50,1	49,6	49,4	48,6	47,4	45,8	43,5	39,8	37,8
R21	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,7	47,1	44,9	41,2	39,3
R22	52,2	51,5	50,9	50,5	50,2	49,4	48,3	46,7	44,5	40,7	38,8
R23	59,4	58,8	58,2	57,8	57,6	56,9	55,8	54,4	52,5	49,1	47,6
R24	53,8	53,1	52,5	52,1	51,9	51,1	50,0	48,5	46,3	42,6	40,8
R25	54,1	53,5	52,9	52,5	52,2	51,5	50,3	48,9	46,7	43,0	41,2



Ilmatar Vermassalo Oy

Vermassalon tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE2)

101021368-010, 16.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Vermassalo Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
16/01/2024

Projektinumero
101021368-010

Raportin tila
VALMIS

Vermassalon tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE2)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laati	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	16.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

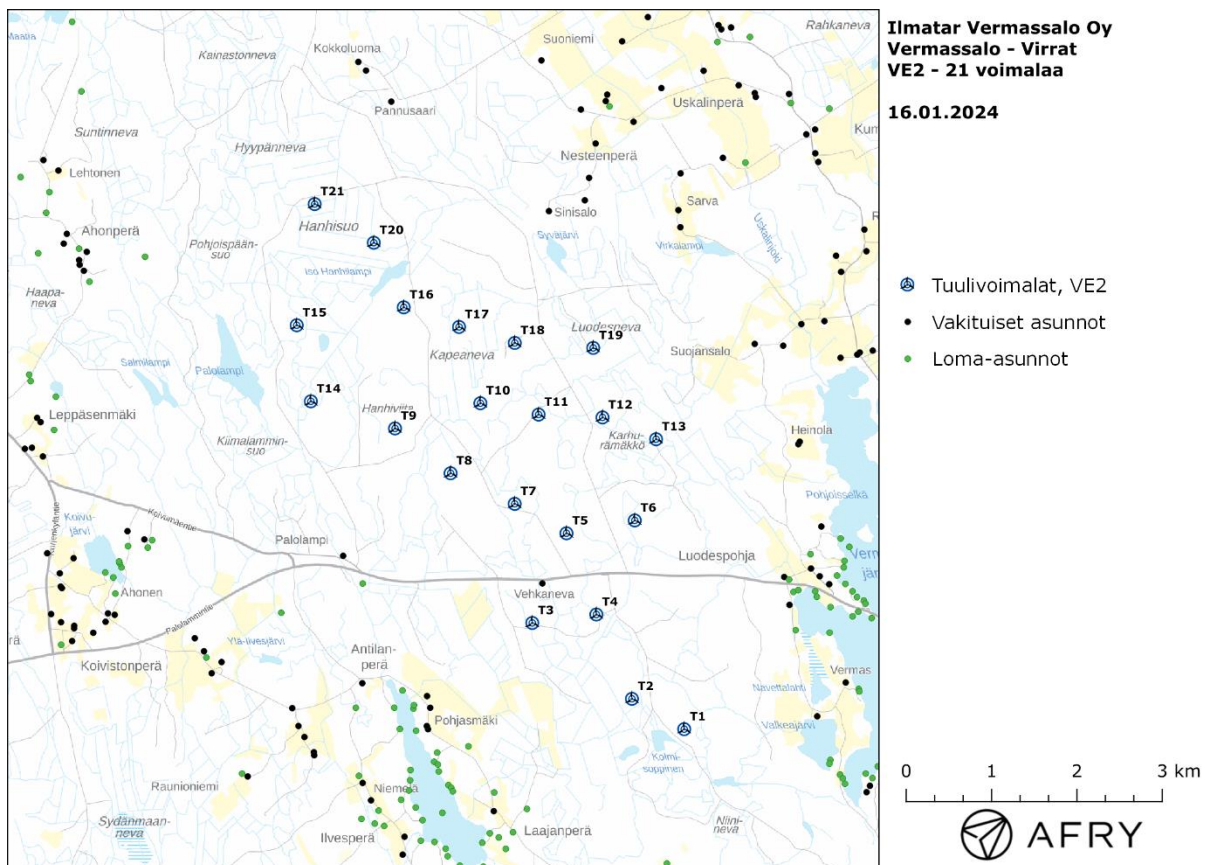
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	14
3.3	Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	23
5	Viitteet	24
6	Melumallinnuksen tiedot	25

1 Johdanto

Selityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnittelun Vermassalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 21 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE2. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan 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 selityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selityksessä arvioidaan lisäksi Vermassalon tuulivoimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Vermassalon hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE2.

Taulukko 1: Vermassalon tuulivoimaloiden (21 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	321768	6905892	163
T2	321156	6906247	156
T3	319988	6907134	158
T4	320739	6907233	164
T5	320389	6908183	178
T6	321189	6908333	170
T7	319782	6908527	177
T8	319031	6908885	181
T9	318380	6909409	181
T10	319380	6909704	168
T11	320062	6909571	166
T12	320811	6909538	158
T13	321439	6909283	153
T14	317394	6909726	166
T15	317228	6910616	166
T16	318482	6910825	170
T17	319130	6910596	162
T18	319783	6910409	163
T19	320702	6910351	149
T20	318131	6911581	155
T21	317439	6912033	157

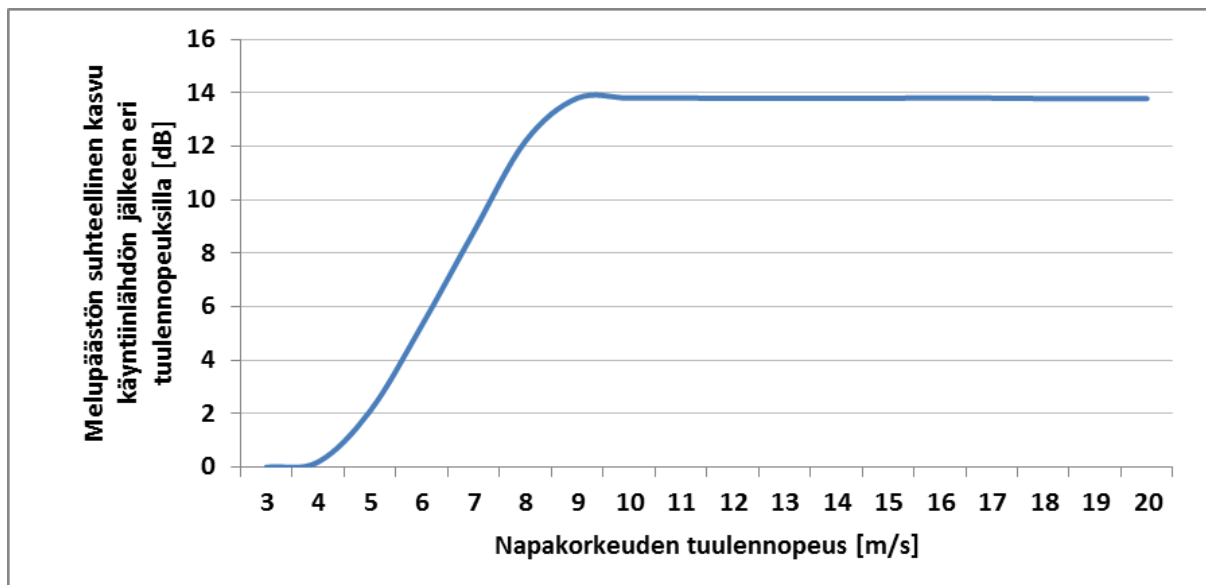
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

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



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

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

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuismelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta,

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

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

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

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

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen 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 ympäristöolosuhteita. 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 V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

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

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty 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). Mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Mallinnuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulen nopeutta 15 m/s napakorkeudella 225 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

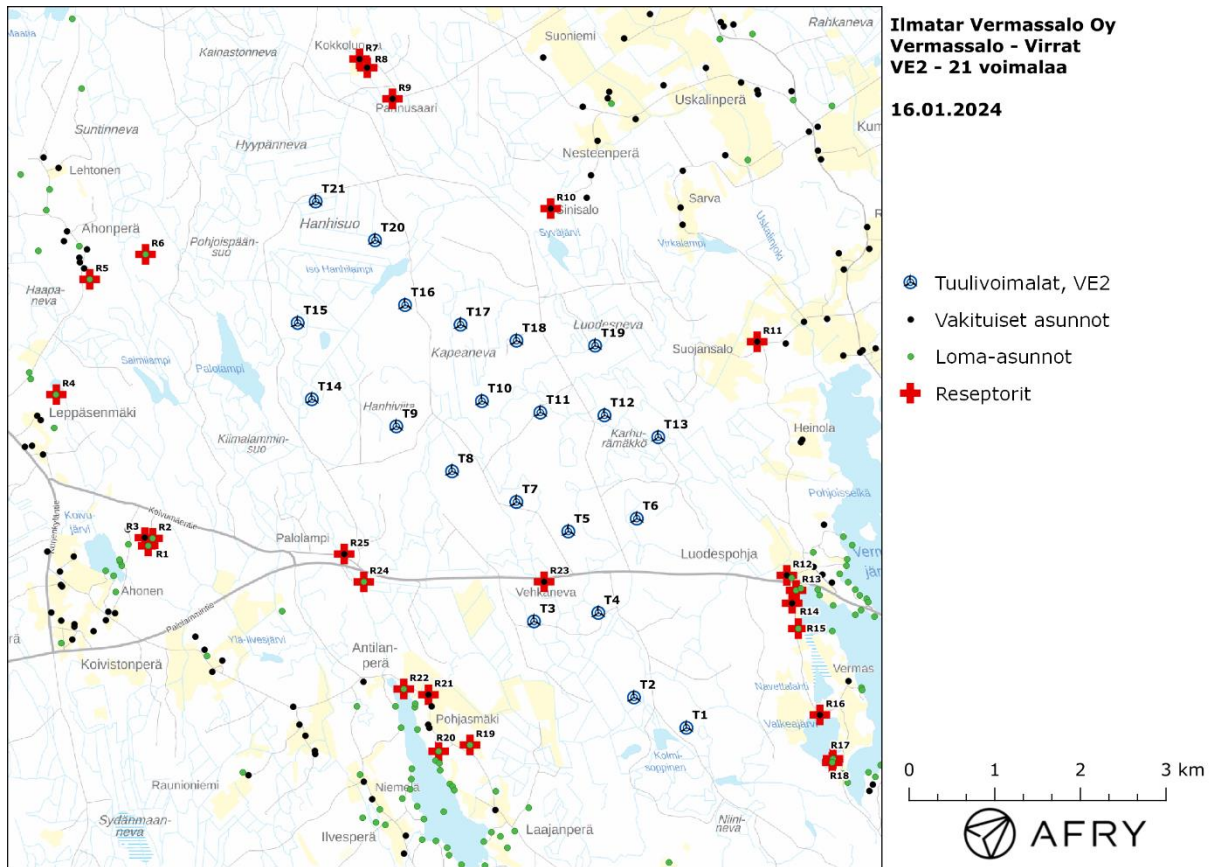
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli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

Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän 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 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Vertailurakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-3 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R23, joka sijaitsee alle 500 metrin etäisyydellä voimalasta T3.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	315484	6908014	183	lomarakenus
R2	315535	6908101	188	lomarakenus
R3	315444	6908110	184	vakituinen asuinrakennus
R4	314411	6909779	167	lomarakenus
R5	314801	6911124	175	lomarakenus
R6	315453	6911415	184	lomarakenus
R7	317951	6913694	148	vakituinen asuinrakennus
R8	318041	6913593	146	vakituinen asuinrakennus
R9	318337	6913230	144	vakituinen asuinrakennus
R10	320184	6911949	144	vakituinen asuinrakennus
R11	322595	6910396	139	vakituinen asuinrakennus
R12	322941	6907670	137	vakituinen asuinrakennus
R13	323049	6907494	129	lomarakenus
R14	323003	6907344	132	vakituinen asuinrakennus
R15	323075	6907049	133	lomarakenus
R16	323328	6906041	131	vakituinen asuinrakennus
R17	323481	6905530	130	lomarakenus
R18	323471	6905487	130	lomarakenus
R19	319241	6905690	149	lomarakenus
R20	318875	6905616	143	lomarakenus
R21	318756	6906277	143	vakituinen asuinrakennus
R22	318468	6906343	138	lomarakenus
R23	320107	6907595	163	vakituinen asuinrakennus
R24	318002	6907594	159	lomarakenus
R25	317773	6907918	156	vakituinen asuinrakennus



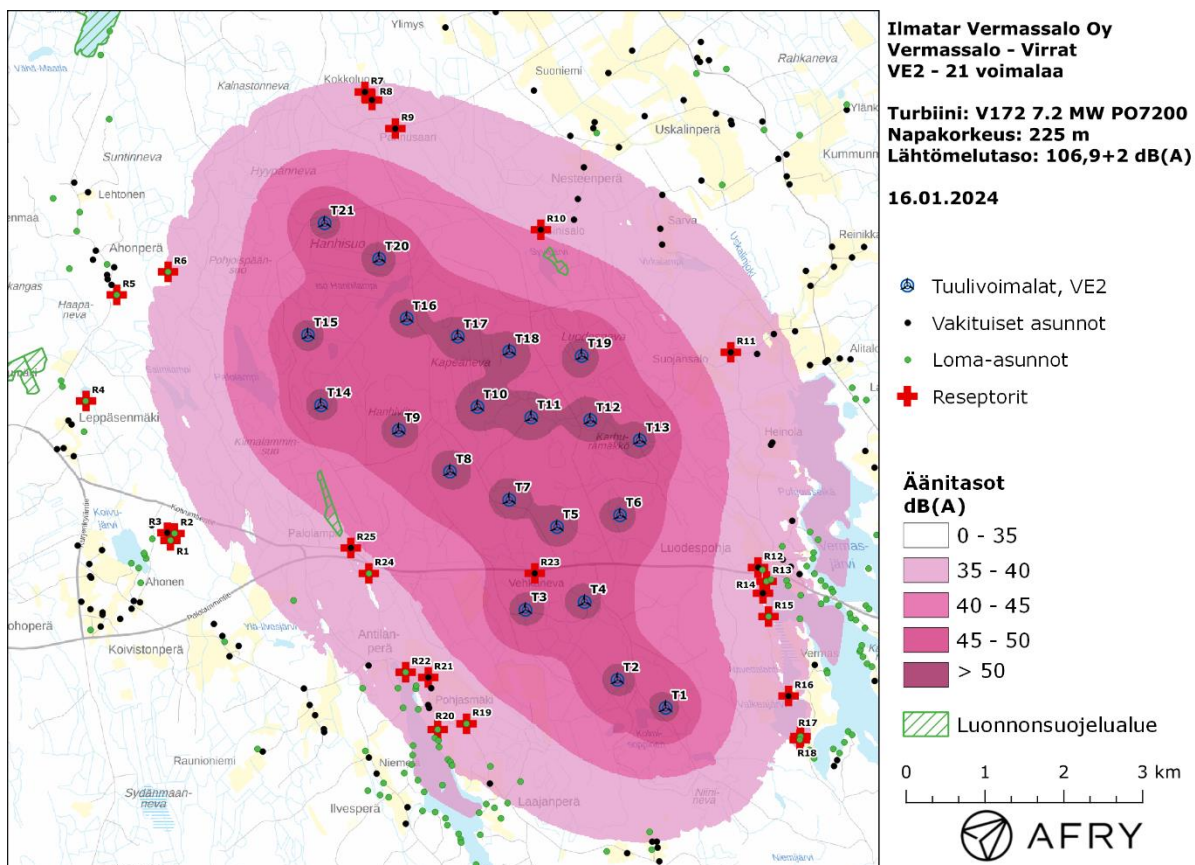
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq 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 ylittävät valtioneuvoston asetuksessa asetetun 40 dB(A):n ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla melutasot jäävät alle ohjearvon.

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



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Vermassalon tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	32,5	R14	36,9
R2	33,7	R15	36,7
R3	32,2	R16	35,9
R4	32,0	R17	35,8
R5	33,4	R18	35,5
R6	35,6	R19	37,4
R7	35,6	R20	36,1
R8	36,1	R21	38,0
R9	37,6	R22	36,5
R10	39,7	R23	47,8
R11	38,0	R24	39,2
R12	37,6	R25	39,5
R13	36,5		

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 konser-

vatiivisen 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

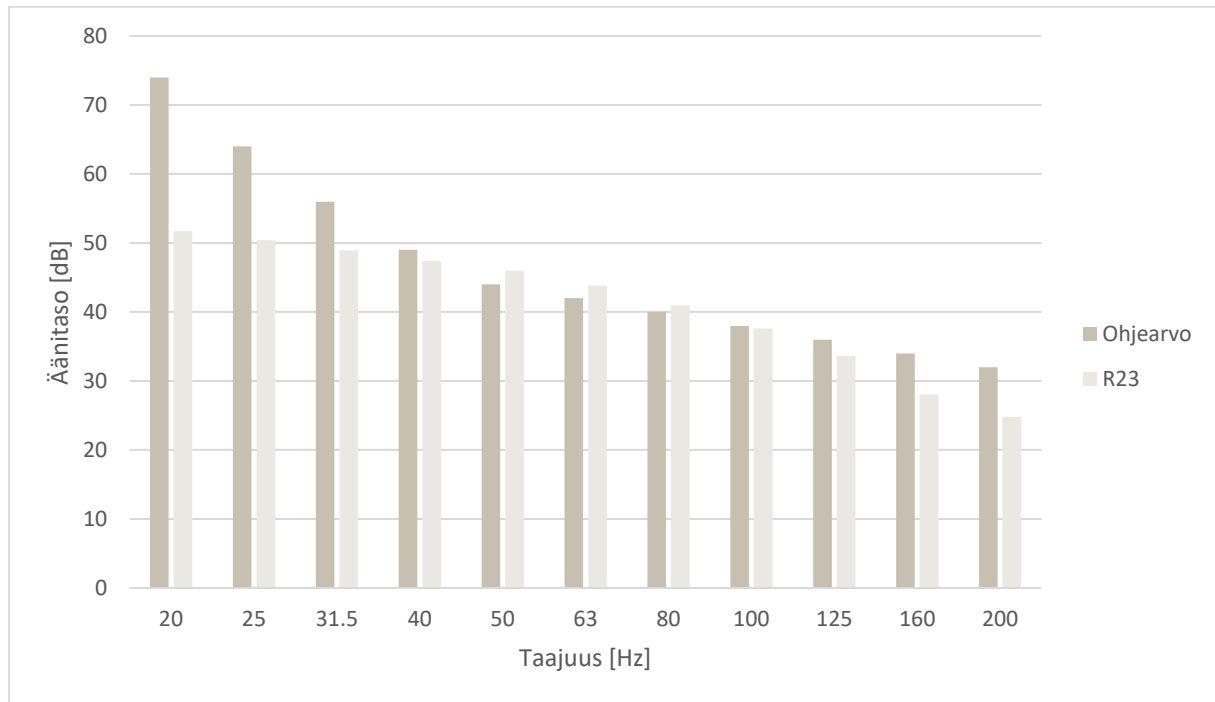
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso 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 R23, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot ylittävät asetusarvot taajuuksilla 50-80 Hz. Muilla taajuuksilla melutasot jäävät alle asetusarvojen.

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. Raportin mallinnusten perusteella voimaloiden aiheuttamat ulkomelutasot sekä matalataajuisen melun tasot ylittävät ohjearvot yhden rakennuksen kohdalla. On mahdollista, että kyseisen reseptorin kohdalla myös asumisterveysasetuksen 30 dB(A):n ohjearvon yöajan sisämelutasolle ylittyy.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,2	48,5	47,9	47,4	47,2	46,4	45,1	43,5	41,1	37,2	35,0
R2	49,4	48,7	48,1	47,6	47,4	46,5	45,3	43,7	41,3	37,4	35,3
R3	49,2	48,6	47,9	47,5	47,2	46,4	45,1	43,5	41,1	37,2	35,0
R4	48,2	47,5	46,9	46,4	46,2	45,3	44,1	42,4	40,0	36,0	33,7
R5	49,0	48,3	47,7	47,2	47,0	46,1	44,9	43,3	40,9	37,0	34,9
R6	50,4	49,8	49,1	48,7	48,5	47,7	46,5	44,9	42,6	38,9	36,9
R7	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,8	42,6	38,8	36,8
R8	50,6	50,0	49,4	48,9	48,7	47,9	46,7	45,2	42,9	39,2	37,2
R9	51,7	51,0	50,4	50,0	49,8	49,0	47,8	46,3	44,1	40,5	38,6
R10	53,5	52,9	52,2	51,8	51,6	50,9	49,7	48,2	46,1	42,5	40,7
R11	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,4	46,9	44,6	41,0	39,1
R12	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,3	48,1	46,6	44,4	40,7	38,8
R13	51,6	51,0	50,4	49,9	49,7	48,9	47,7	46,2	44,0	40,3	38,4
R14	51,7	51,1	50,4	50,0	49,8	49,0	47,8	46,3	44,1	40,4	38,5
R15	51,5	50,8	50,2	49,7	49,5	48,7	47,6	46,0	43,8	40,1	38,2
R16	50,4	49,8	49,2	48,7	48,5	47,7	46,5	45,0	42,7	39,0	37,0
R17	49,5	48,9	48,2	47,8	47,5	46,7	45,5	44,0	41,6	37,9	35,8
R18	49,5	48,8	48,2	47,8	47,5	46,7	45,5	43,9	41,6	37,8	35,8
R19	51,8	51,1	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,2	40,5	38,6
R20	51,0	50,4	49,8	49,3	49,1	48,3	47,1	45,5	43,3	39,5	37,5
R21	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,4	46,9	44,6	41,0	39,1
R22	51,8	51,1	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,4	38,5
R23	59,3	58,7	58,1	57,7	57,5	56,8	55,7	54,4	52,4	49,1	47,6
R24	53,2	52,6	52,0	51,5	51,3	50,6	49,4	47,9	45,8	42,1	40,3
R25	53,5	52,9	52,2	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	46,0	42,4	40,6



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R23 kohdalla.

3.3 Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Vermassalon voimaloiden ja läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 27 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin seitsemän kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Tuuramäkeen on puolestaan suunnitteilla 16 voimalaa, joista lähimmät sijaitsevat noin 7,5 kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 8-09.

Taulukko 8: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	155
WTG12	307013	6907544	152
WTG13	306086	6907822	146
WTG14	306082	6909087	142
WTG15	307016	6908882	149
WTG16	307637	6908481	151
WTG17	308497	6908828	151
WTG18	309391	6909203	147
WTG19	308706	6909769	149
WTG20	307886	6909528	149
WTG21	306839	6909719	144
WTG22	306160	6910154	143
WTG23	307543	6910385	146
WTG24	308435	6910779	148
WTG25	307924	6911450	149
WTG26	307102	6911093	142
WTG27	307189	6912183	146

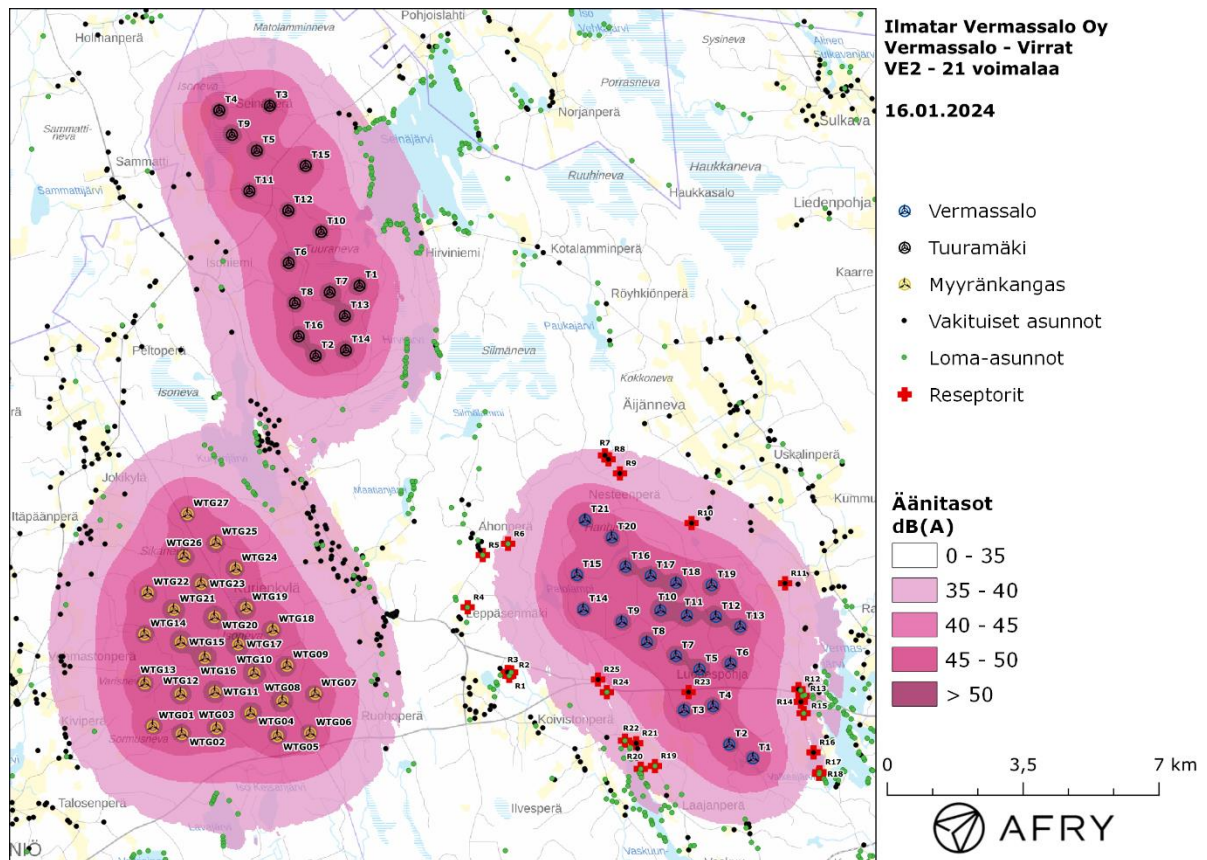
Taulukko 9: Tuuramäen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	311623	6918069	145
T2	310494	6916260	154
T3	309312	6922702	134
T4	308008	6922584	130
T5	308975	6921545	134
T6	309799	6918653	150
T7	310856	6917899	144
T8	309958	6917622	146
T9	308336	6921954	131
T10	310636	6919454	143
T11	308786	6920504	134
T12	309786	6920004	140
T13	311246	6917286	147
T14	311271	6916404	151
T15	310236	6921154	144
T16	310056	6916764	142

Mallinnuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja Tuuramäen voimaloille napakorkeutta 200 m. Mallinnuksissa sekä Myyränkankaan että Tuuramäen voimaloille on käytetty turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tätä äänitehotasoa voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Turbiinityypin melun taajuusjakaumat on saatu kappaleessa 3.1 ilmoitetusta dokumentista.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot on lueteltu taulukossa 10. Mallinnustulosten perusteella melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot ylittävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla melutasot pysyvät ohjearvoissa. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa enimmillään 1,3 dB(A) reseptorien R1 ja R3 kohdalla.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R23. Tämän rakennuksen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, voimaloiden aiheuttamat matalataajuiset melutasot ylittyvät taajuusvälillä 50-80 Hz. Ylitykset aiheutuvat pelkästään Vermassalon voimaloista.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

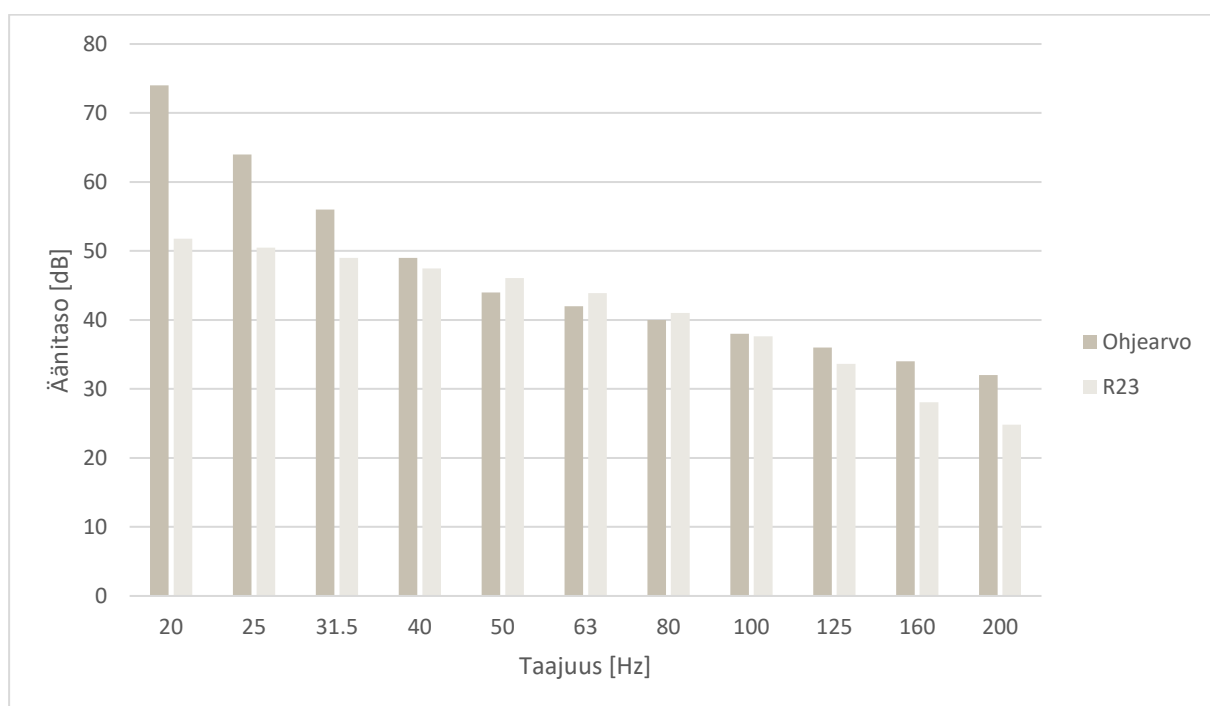
Taulukko 10: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	33,8	R14	36,9
R2	34,7	R15	36,8
R3	33,5	R16	35,9
R4	33,1	R17	36,0
R5	33,9	R18	35,8
R6	36,3	R19	37,5
R7	35,8	R20	36,2
R8	36,2	R21	38,0
R9	37,7	R22	36,6
R10	39,8	R23	47,8
R11	38,1	R24	39,3
R12	37,6	R25	39,6
R13	36,5		

Taulukko 11: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,1	50,4	49,8	49,3	49,0	48,1	46,8	45,1	42,6	38,5	36,1
R2	51,2	50,5	49,9	49,4	49,1	48,2	47,0	45,2	42,7	38,6	36,3
R3	51,1	50,5	49,8	49,3	49,0	48,2	46,9	45,1	42,6	38,5	36,1
R4	51,0	50,4	49,7	49,2	48,9	48,0	46,8	45,0	42,4	38,3	35,8
R5	51,2	50,5	49,9	49,4	49,1	48,3	47,0	45,2	42,7	38,6	36,2
R6	52,0	51,3	50,6	50,2	49,9	49,1	47,8	46,1	43,7	39,8	37,6
R7	51,4	50,7	50,1	49,6	49,3	48,5	47,2	45,6	43,2	39,3	37,2
R8	51,6	50,9	50,3	49,8	49,6	48,7	47,5	45,9	43,5	39,6	37,5
R9	52,4	51,8	51,1	50,7	50,4	49,6	48,4	46,8	44,5	40,7	38,8
R10	53,9	53,2	52,6	52,1	51,9	51,1	50,0	48,5	46,2	42,6	40,7
R11	52,6	51,9	51,3	50,8	50,6	49,8	48,6	47,0	44,8	41,1	39,2
R12	52,3	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,3	46,8	44,5	40,7	38,8
R13	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,2	48,0	46,4	44,1	40,3	38,4
R14	52,0	51,4	50,8	50,3	50,1	49,3	48,0	46,5	44,2	40,5	38,5
R15	51,8	51,2	50,5	50,1	49,8	49,0	47,8	46,2	43,9	40,2	38,2
R16	50,9	50,2	49,6	49,1	48,8	48,0	46,8	45,2	42,8	39,0	37,1
R17	50,0	49,4	48,7	48,2	48,0	47,1	45,9	44,2	41,8	38,0	35,9

R18	50,0	49,3	48,7	48,2	47,9	47,1	45,8	44,2	41,8	37,9	35,9
R19	52,3	51,7	51,0	50,6	50,3	49,5	48,3	46,7	44,4	40,6	38,7
R20	51,7	51,0	50,4	49,9	49,6	48,8	47,6	46,0	43,6	39,8	37,7
R21	52,8	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,8	47,2	44,9	41,2	39,2
R22	52,4	51,8	51,1	50,6	50,4	49,6	48,4	46,8	44,5	40,6	38,6
R23	59,4	58,8	58,2	57,8	57,6	56,9	55,8	54,4	52,4	49,1	47,6
R24	53,8	53,1	52,5	52,0	51,8	51,0	49,8	48,3	46,0	42,3	40,4
R25	54,0	53,4	52,7	52,3	52,0	51,2	50,1	48,5	46,3	42,6	40,7



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R23 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 21 voimalan toteutusvaihtoehdolla VE2, käyttäen turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 taajuusjakaumia ja napakorkeutta 225 m. Selvityksessä on arvioitu myös Vermassalon ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden melun yhteisvaikutuksia.

Mallinnusten perustella melutasot ylittyvät yhden asuinrakennuksen kohdalla. Tämän lisäksi matalataajuisen melun tasot ylittävät asumisterveysasetuksessa asetetut ohjearvot taajuuksilla 50-80 Hz kyseisen asuinrakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla keskiäänitasot sekä matalataajuisen melun tasot pysyvät alle ohjearvojen.

Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloista aiheutuu vähäistä yhteisvaikutusta asutuksen kohdalla. 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: 101021368-010.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 10.01.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Juulianna Lähteinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Juulianna Lähteinen				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 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 225 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™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	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 mittaust ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
4 m						10 m x 10 m					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
70 %						15 C°					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos						Vaakaresoluutio: 2 m			Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
ISO 9613-2											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
Neutraali											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
Vapaa avaruus											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: 1 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 1 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: 0 kpl						Luonnonsuojelualueet: 0 kpl					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, kun pelkästään Vermassalon voimalat huomioidaan:											
H_z	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	49,2	48,5	47,9	47,4	47,2	46,4	45,1	43,5	41,1	37,2	35,0
R2	49,4	48,7	48,1	47,6	47,4	46,5	45,3	43,7	41,3	37,4	35,3
R3	49,2	48,6	47,9	47,5	47,2	46,4	45,1	43,5	41,1	37,2	35,0
R4	48,2	47,5	46,9	46,4	46,2	45,3	44,1	42,4	40,0	36,0	33,7
R5	49,0	48,3	47,7	47,2	47,0	46,1	44,9	43,3	40,9	37,0	34,9
R6	50,4	49,8	49,1	48,7	48,5	47,7	46,5	44,9	42,6	38,9	36,9
R7	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,8	42,6	38,8	36,8
R8	50,6	50,0	49,4	48,9	48,7	47,9	46,7	45,2	42,9	39,2	37,2
R9	51,7	51,0	50,4	50,0	49,8	49,0	47,8	46,3	44,1	40,5	38,6
R10	53,5	52,9	52,2	51,8	51,6	50,9	49,7	48,2	46,1	42,5	40,7
R11	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,4	46,9	44,6	41,0	39,1
R12	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,3	48,1	46,6	44,4	40,7	38,8
R13	51,6	51,0	50,4	49,9	49,7	48,9	47,7	46,2	44,0	40,3	38,4
R14	51,7	51,1	50,4	50,0	49,8	49,0	47,8	46,3	44,1	40,4	38,5
R15	51,5	50,8	50,2	49,7	49,5	48,7	47,6	46,0	43,8	40,1	38,2

R16	50,4	49,8	49,2	48,7	48,5	47,7	46,5	45,0	42,7	39,0	37,0
R17	49,5	48,9	48,2	47,8	47,5	46,7	45,5	44,0	41,6	37,9	35,8
R18	49,5	48,8	48,2	47,8	47,5	46,7	45,5	43,9	41,6	37,8	35,8
R19	51,8	51,1	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,2	40,5	38,6
R20	51,0	50,4	49,8	49,3	49,1	48,3	47,1	45,5	43,3	39,5	37,5
R21	52,2	51,6	51,0	50,5	50,3	49,5	48,4	46,9	44,6	41,0	39,1
R22	51,8	51,1	50,5	50,1	49,9	49,1	47,9	46,4	44,1	40,4	38,5
R23	59,3	58,7	58,1	57,7	57,5	56,8	55,7	54,4	52,4	49,1	47,6
R24	53,2	52,6	52,0	51,5	51,3	50,6	49,4	47,9	45,8	42,1	40,3
R25	53,5	52,9	52,2	51,8	51,6	50,8	49,7	48,2	46,0	42,4	40,6



Ilmatar Vermassalo Oy

Vermassalon tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE3)

101021368-010, 16.01.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Ilmatar Vermassalo Oy
Kirsi Kyllönen

Päivämäärä
16/01/2024

Projektinumero
101021368-010

Raportin tila
VALMIS

Vermassalon tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE3)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	16.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	16.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

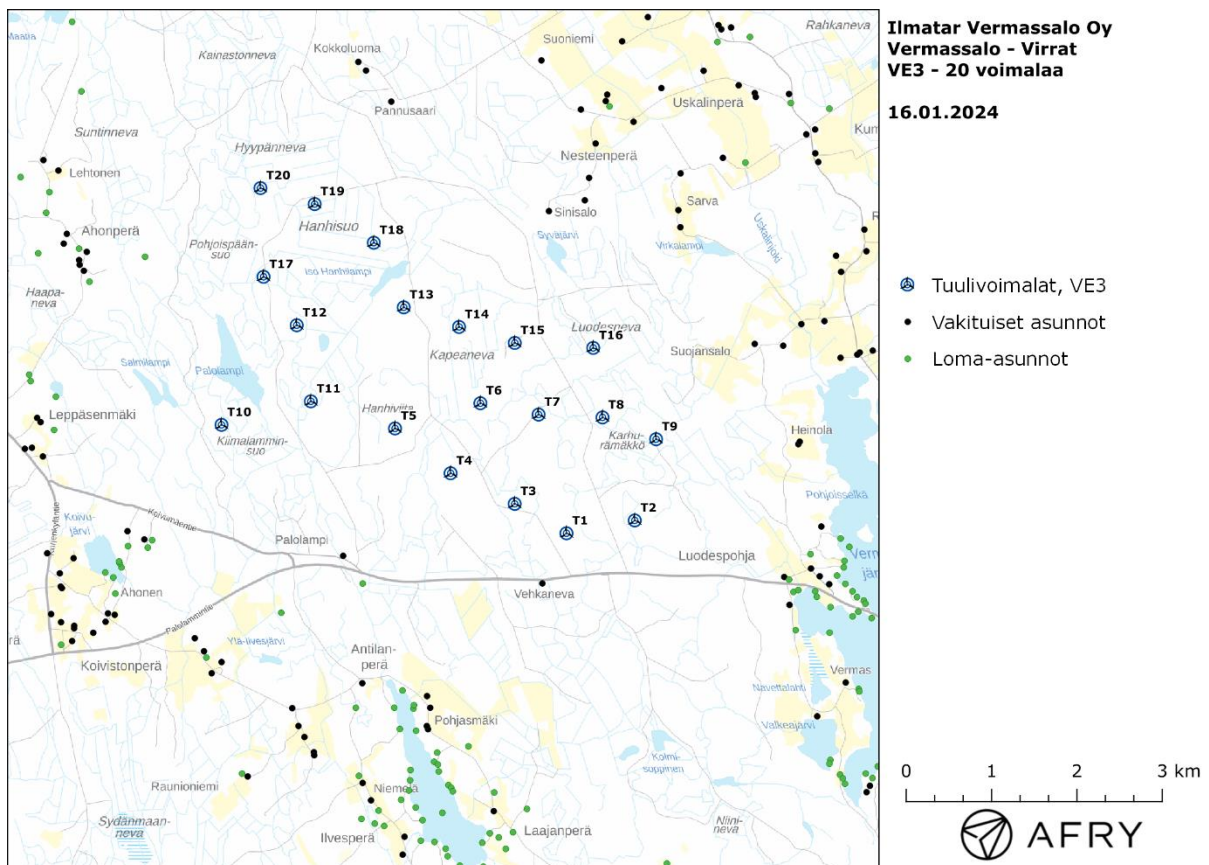
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	14
3.3	Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus.....	18
4	Yhteenveto	23
5	Viitteet	24
6	Melumallinnuksen tiedot	25

1 Johdanto

Selityksessä arvioidaan Virtain kaupungin alueelle suunnittelun Vermassalon tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Arviointi on tehty 20 voimalan toteutusvaihtoehdolle VE3. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 225 m ja turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytäkään 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 Vermassalon tuulivoimaloiden sekä läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Vermassalon hankealueella toteutusvaihtoehdolla VE3.

Taulukko 1: Vermassalon tuulivoimaloiden (20 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	320389	6908183	178
T2	321189	6908333	170
T3	319782	6908527	177
T4	319031	6908885	181
T5	318380	6909409	181
T6	319380	6909704	168
T7	320062	6909571	166
T8	320811	6909538	158
T9	321439	6909283	153
T10	316347	6909451	167
T11	317394	6909726	166
T12	317228	6910616	166
T13	318482	6910825	170
T14	319130	6910596	162
T15	319783	6910409	163
T16	320702	6910351	149
T17	316839	6911182	163
T18	318131	6911581	155
T19	317439	6912033	157
T20	316804	6912220	158

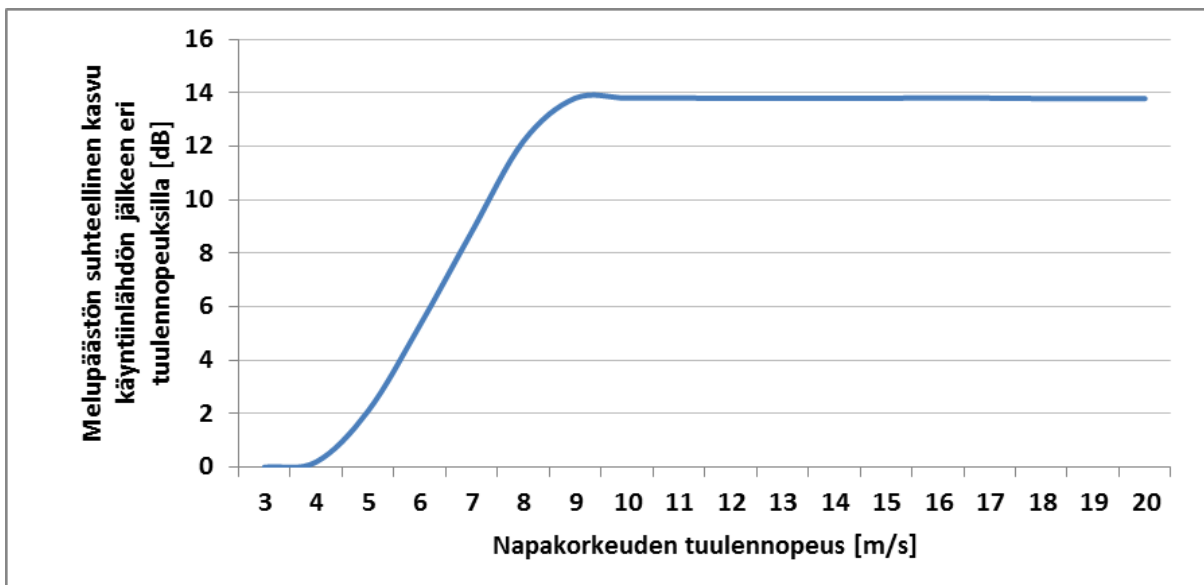
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

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



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

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

Taustamelu, kuten liikennemelu ja teollisuismelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina, peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esimerkiksi puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta,

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

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

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitäajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitäajuuksilla 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 suunnitteluohjeistuksiin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhteita.

Melun häiritsevyyteen vaikuttaa äänitasojen lisäksi melupäästöön mahdollisesti liittyvät erityisen häiritsevät melukomponentit: melun kapeakaistaisuus, melun impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (nk. amplitudimodulaatio). Melun impulssimaisuuden ja merkityksellisen 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 ympäristöolosuhteita. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisten äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka

parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla ääneneneristävyydellä.

2.3 Ohjearvot

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

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, laskettuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 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 V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

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

Dokumenttia varten turbiinityypin V172 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V172:n melutasoja on arvioitu dokumentissa esitetyllä tavalla. Dokumentissa ilmoitettuihin melutasoihin on lisätty 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 225 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa.

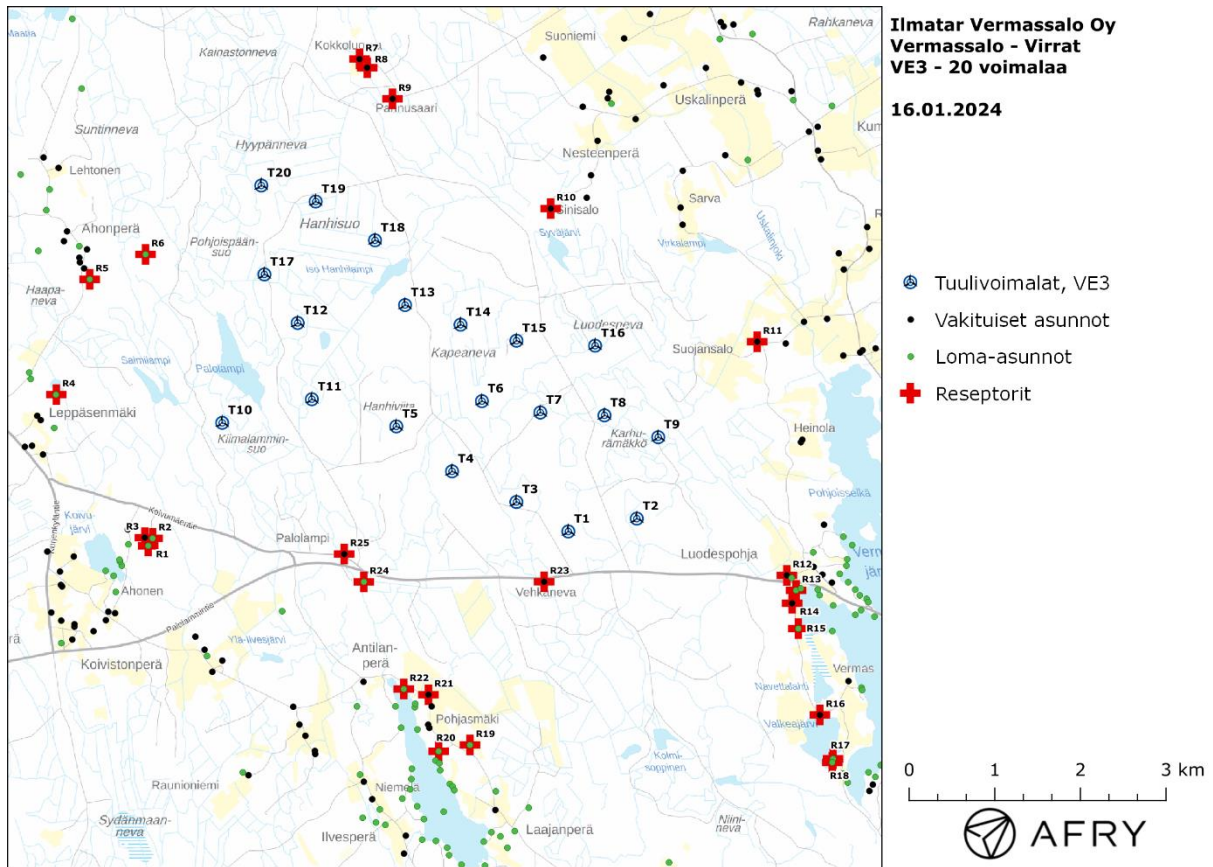
Turbiinityyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [11] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli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

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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 25 vertailurakennusta, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuaisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Vertailurakennusten sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptorit sijaitsevat noin 1,5-3 km etäisyydellä voimaloista, lukuun ottamatta reseptoria R23, joka sijaitsee noin 650 metrin etäisyydellä voimalasta T1.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	315484	6908014	183	lomarakenus
R2	315535	6908101	188	lomarakenus
R3	315444	6908110	184	vakituinen asuinrakennus
R4	314411	6909779	167	lomarakenus
R5	314801	6911124	175	lomarakenus
R6	315453	6911415	184	lomarakenus
R7	317951	6913694	148	vakituinen asuinrakennus
R8	318041	6913593	146	vakituinen asuinrakennus
R9	318337	6913230	144	vakituinen asuinrakennus
R10	320184	6911949	144	vakituinen asuinrakennus
R11	322595	6910396	139	vakituinen asuinrakennus
R12	322941	6907670	137	vakituinen asuinrakennus
R13	323049	6907494	129	lomarakenus
R14	323003	6907344	132	vakituinen asuinrakennus
R15	323075	6907049	133	lomarakenus
R16	323328	6906041	131	vakituinen asuinrakennus
R17	323481	6905530	130	lomarakenus
R18	323471	6905487	130	lomarakenus
R19	319241	6905690	149	lomarakenus
R20	318875	6905616	143	lomarakenus
R21	318756	6906277	143	vakituinen asuinrakennus
R22	318468	6906343	138	lomarakenus
R23	320107	6907595	163	vakituinen asuinrakennus
R24	318002	6907594	159	lomarakenus
R25	317773	6907918	156	vakituinen asuinrakennus



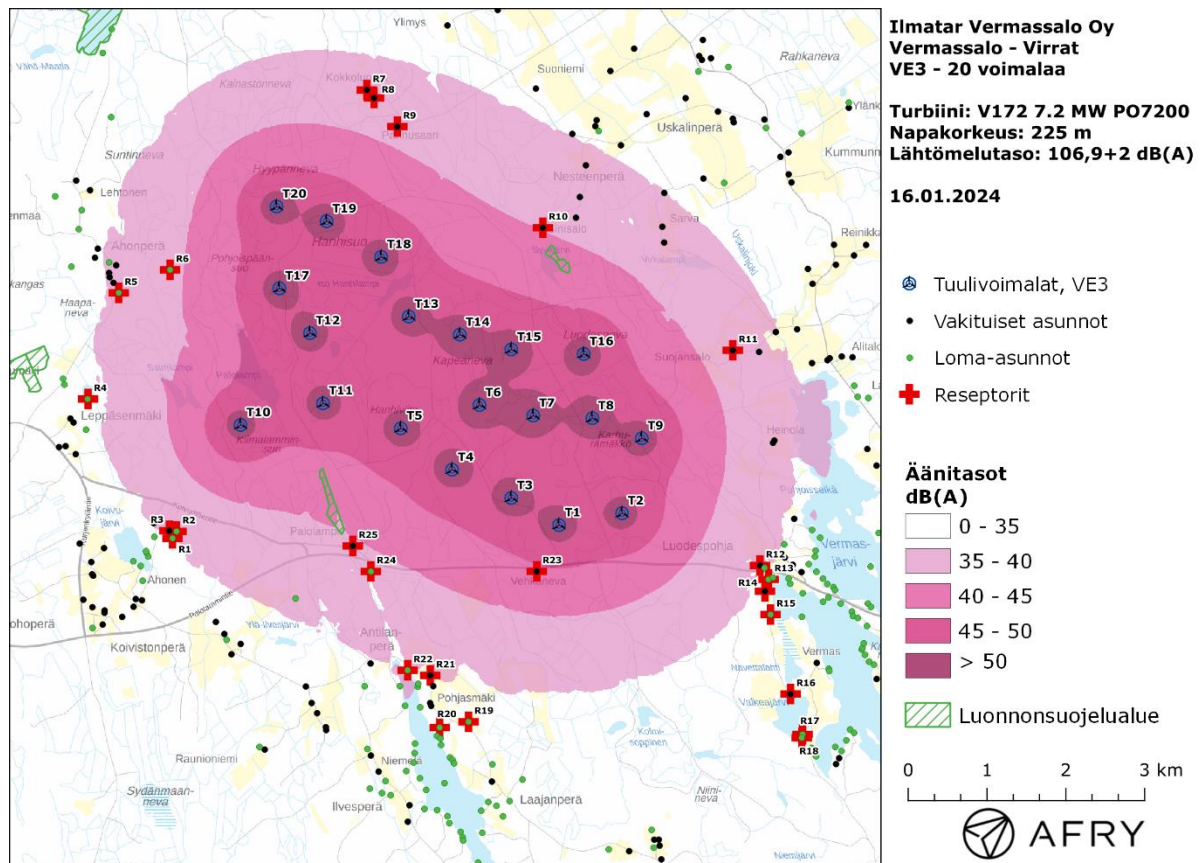
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq 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 ylittävät valtioneuvoston asetuksessa asetetun 40 dB(A):n ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla melutasot jäävät alle ohjearvon.

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



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Vermassalon tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,0	R14	33,9
R2	36,0	R15	33,1
R3	35,2	R16	30,6
R4	34,9	R17	30,6
R5	36,1	R18	30,3
R6	39,0	R19	33,5
R7	37,0	R20	32,8
R8	37,4	R21	35,1
R9	38,6	R22	33,7
R10	39,8	R23	44,1
R11	37,8	R24	38,8
R12	35,6	R25	39,5
R13	33,8		

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

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

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille sisämelutasoille (Taulukko 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 konser-

vatiivisen 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

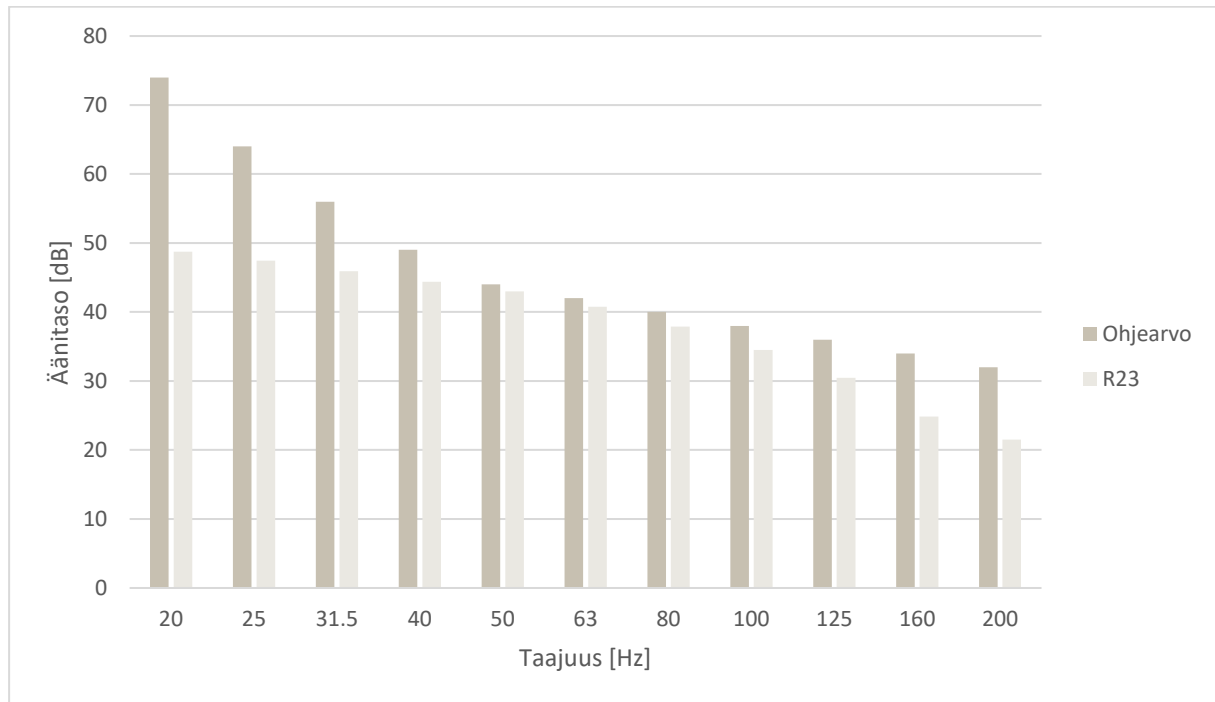
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuisen ulkomelutaso 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 R23, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuvälillä.

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 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. Lähtökohtaisesti näiden yöajan ohjearvojen oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä matalataajuisen melun tulokset alittavat valtioneuvoston asetuksen ja asumisterveysasetuksen ohjearvot. Raportin mallinnusten perusteella voimaloiden aiheuttamat ulkomelutasot ylittävät ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla. On mahdollista, että kyseisen reseptorin kohdalla myös asumisterveysasetuksen 30 dB(A):n ohjearvon yöajan sisämelutasolle ylittyy.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,4	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,9	42,6	38,8	36,8
R2	50,7	50,0	49,4	48,9	48,7	47,9	46,7	45,2	42,9	39,2	37,2
R3	50,5	49,9	49,2	48,8	48,5	47,8	46,6	45,0	42,7	39,0	37,0
R4	49,8	49,1	48,5	48,0	47,8	47,0	45,8	44,2	41,9	38,1	36,0
R5	50,8	50,1	49,5	49,0	48,8	48,0	46,9	45,3	43,0	39,3	37,4
R6	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,9	47,4	45,3	41,7	39,9
R7	51,4	50,7	50,1	49,7	49,4	48,7	47,5	46,0	43,7	40,0	38,1
R8	51,6	51,0	50,4	49,9	49,7	48,9	47,8	46,2	44,0	40,4	38,5
R9	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,9	48,7	47,2	45,0	41,4	39,6
R10	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	51,0	49,8	48,4	46,2	42,6	40,8
R11	51,9	51,3	50,7	50,2	50,0	49,2	48,1	46,6	44,4	40,7	38,9
R12	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,9	42,6	38,8	36,9
R13	49,8	49,2	48,6	48,1	47,9	47,1	45,9	44,3	42,0	38,2	36,2
R14	49,7	49,1	48,4	48,0	47,7	47,0	45,7	44,2	41,9	38,0	36,0
R15	49,1	48,5	47,9	47,4	47,1	46,3	45,1	43,5	41,2	37,3	35,2
R16	47,3	46,6	46,0	45,5	45,2	44,4	43,1	41,4	38,9	34,9	32,5
R17	46,5	45,8	45,1	44,6	44,4	43,5	42,2	40,5	37,9	33,7	31,2
R18	46,4	45,7	45,1	44,6	44,3	43,5	42,1	40,4	37,8	33,7	31,2
R19	49,3	48,6	48,0	47,5	47,3	46,5	45,2	43,6	41,2	37,4	35,2
R20	49,0	48,3	47,7	47,2	47,0	46,1	44,9	43,3	40,9	37,0	34,8
R21	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,8	42,5	38,7	36,6
R22	50,3	49,6	49,0	48,6	48,3	47,5	46,3	44,8	42,4	38,6	36,5
R23	56,3	55,7	55,1	54,7	54,5	53,8	52,7	51,3	49,2	45,8	44,3
R24	52,9	52,2	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,6	45,4	41,7	39,9
R25	53,4	52,8	52,2	51,7	51,5	50,8	49,6	48,1	46,0	42,4	40,6



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R23 kohdalla.

3.3 Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen yhteisvaikutus

Tässä luvussa arvioidaan Vermassalon voimaloiden ja läheisten suunnitteilla olevien Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloiden melun yhteisvaikutuksia. Myyränkankaaseen on suunnitteilla 27 voimalaa ja lähimmät niistä sijaitsevat noin kuuden kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Tuuramäkeen on puolestaan suunnitteilla 16 voimalaa, joista lähimmät sijaitsevat lähes seitsemän kilometrin etäisyydellä Vermassalon voimaloista. Naapuripuistojen voimaloiden sijaintikoordinaatit on annettu taulukoissa 8-09.

Taulukko 8: Myyränkankaan tuulivoimaloiden (27 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	306296	6906714	155
WTG02	307044	6906518	156
WTG03	307938	6906665	158
WTG04	308816	6907054	158
WTG05	309505	6906463	158
WTG06	310351	6906536	157
WTG07	310483	6907552	154
WTG08	309637	6907365	156
WTG09	309755	6908282	150
WTG10	308908	6908084	154
WTG11	307897	6907598	155
WTG12	307013	6907544	152
WTG13	306086	6907822	146
WTG14	306082	6909087	142
WTG15	307016	6908882	149
WTG16	307637	6908481	151
WTG17	308497	6908828	151
WTG18	309391	6909203	147
WTG19	308706	6909769	149
WTG20	307886	6909528	149
WTG21	306839	6909719	144
WTG22	306160	6910154	143
WTG23	307543	6910385	146
WTG24	308435	6910779	148
WTG25	307924	6911450	149
WTG26	307102	6911093	142
WTG27	307189	6912183	146

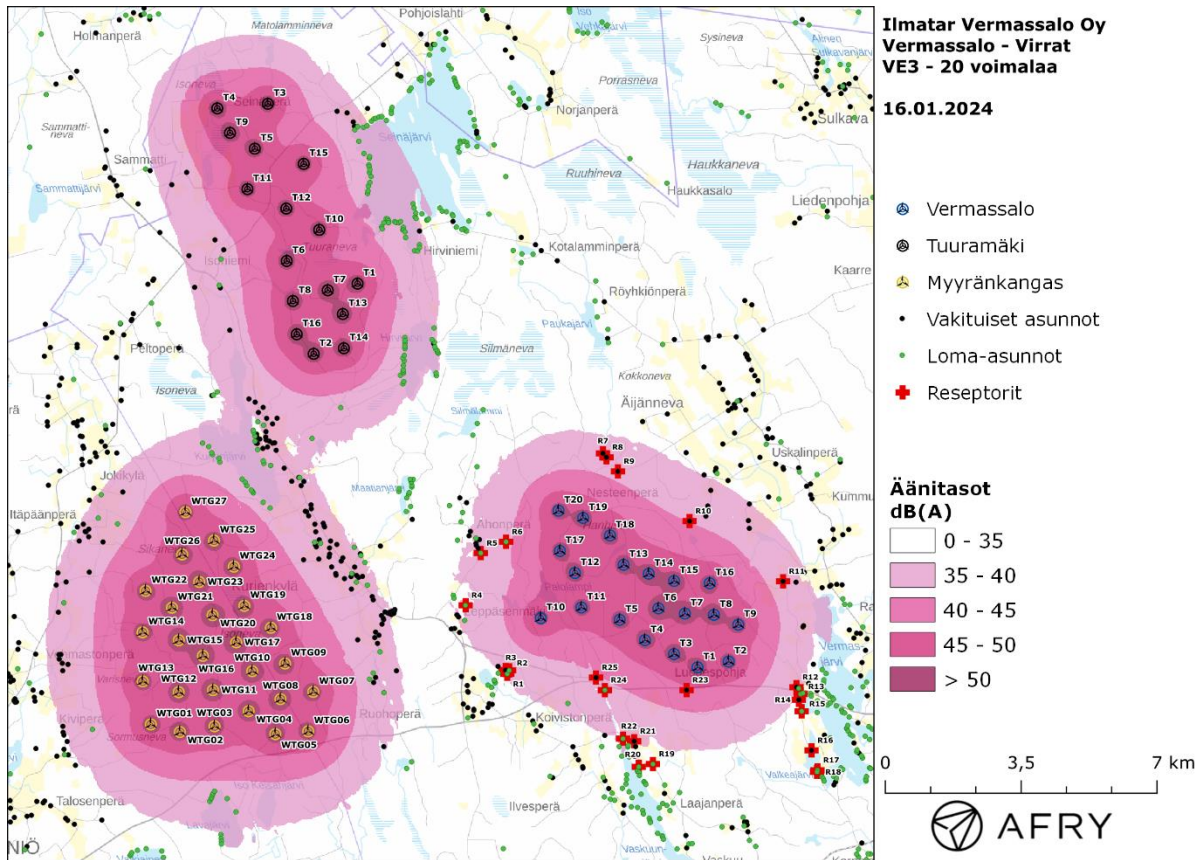
Taulukko 9: Tuuramäen tuulivoimaloiden (16 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TMS35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	311623	6918069	145
T2	310494	6916260	154
T3	309312	6922702	134
T4	308008	6922584	130
T5	308975	6921545	134
T6	309799	6918653	150
T7	310856	6917899	144
T8	309958	6917622	146
T9	308336	6921954	131
T10	310636	6919454	143
T11	308786	6920504	134
T12	309786	6920004	140
T13	311246	6917286	147
T14	311271	6916404	151
T15	310236	6921154	144
T16	310056	6916764	142

Mallinnuksissa Myyränkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 210 m ja Tuuramäen voimaloille napakorkeutta 200 m. Mallinnuksissa sekä Myyränkankaan että Tuuramäen voimaloille on käytetty turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,9 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tätä äänitehotasoa voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Turbiinityypin melun taajuusjakaumat on saatu kappaleessa 3.1 ilmoitetusta dokumentista.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot on lueteltu taulukossa 10. Mallinnustulosten perusteella melun yhteisvaikutuksissa keskiäänitasot ylittävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon reseptorin R23 kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla melutasot pysyvät ohjearvoissa. Asutuksen kohdalla yhteisvaikutukset nostavat keskiäänitasoa enimmillään 0,8 dB(A) reseptorin R1 kohdalla.

Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 10). Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoriin R23. Tämän rakennuksen kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, matalataajuisen melun tasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

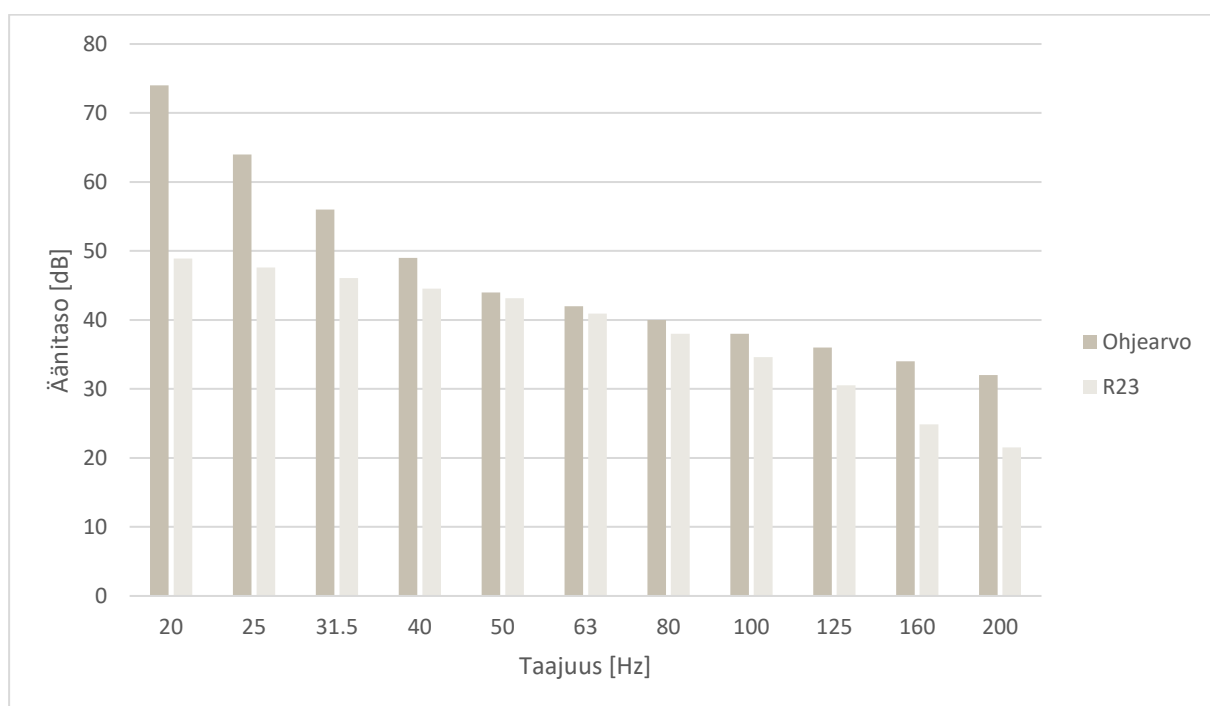
Taulukko 10: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)	Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	35,8	R14	34,0
R2	36,7	R15	33,2
R3	35,9	R16	30,7
R4	35,5	R17	30,9
R5	36,4	R18	30,7
R6	39,3	R19	33,7
R7	37,2	R20	33,1
R8	37,5	R21	35,2
R9	38,7	R22	33,9
R10	39,9	R23	44,1
R11	37,8	R24	38,9
R12	35,6	R25	39,6
R13	33,8		

Taulukko 11: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan sekä Tuuramäen voimalat.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	51,9	51,2	50,6	50,1	49,9	49,0	47,8	46,1	43,7	39,8	37,6
R2	52,1	51,4	50,8	50,3	50,0	49,2	48,0	46,3	43,9	40,0	37,9
R3	52,0	51,3	50,7	50,2	50,0	49,1	47,9	46,2	43,8	39,9	37,7
R4	51,9	51,3	50,6	50,1	49,9	49,0	47,8	46,1	43,6	39,6	37,4
R5	52,4	51,7	51,1	50,6	50,4	49,5	48,3	46,6	44,2	40,3	38,2
R6	53,7	53,0	52,4	51,9	51,7	50,9	49,7	48,2	45,9	42,2	40,3
R7	52,2	51,6	50,9	50,5	50,2	49,4	48,2	46,6	44,2	40,4	38,4
R8	52,4	51,8	51,1	50,7	50,4	49,6	48,4	46,8	44,5	40,7	38,7
R9	53,1	52,5	51,9	51,4	51,2	50,4	49,2	47,6	45,4	41,6	39,7
R10	54,0	53,3	52,7	52,3	52,0	51,2	50,1	48,6	46,3	42,7	40,9
R11	52,3	51,7	51,0	50,6	50,3	49,5	48,3	46,8	44,5	40,8	38,9
R12	50,8	50,2	49,5	49,0	48,8	48,0	46,7	45,1	42,8	38,9	36,9
R13	50,4	49,7	49,1	48,6	48,3	47,5	46,2	44,6	42,2	38,3	36,2
R14	50,3	49,6	49,0	48,5	48,2	47,4	46,1	44,5	42,1	38,2	36,1
R15	49,8	49,1	48,4	47,9	47,7	46,8	45,5	43,8	41,4	37,4	35,3
R16	48,2	47,5	46,8	46,3	46,0	45,1	43,7	41,9	39,3	35,1	32,6
R17	47,5	46,7	46,1	45,5	45,2	44,3	42,9	41,0	38,3	34,0	31,4

R18	47,4	46,7	46,0	45,5	45,2	44,2	42,8	41,0	38,3	34,0	31,3
R19	50,2	49,5	48,9	48,4	48,1	47,2	45,9	44,2	41,7	37,7	35,4
R20	50,0	49,3	48,7	48,2	47,9	47,0	45,7	44,0	41,5	37,4	35,0
R21	51,1	50,5	49,8	49,4	49,1	48,2	47,0	45,3	42,9	39,0	36,8
R22	51,1	50,5	49,8	49,4	49,1	48,2	47,0	45,3	42,9	39,0	36,8
R23	56,5	55,9	55,3	54,9	54,6	53,9	52,8	51,4	49,3	45,9	44,3
R24	53,4	52,8	52,1	51,7	51,5	50,7	49,5	47,9	45,7	41,9	40,0
R25	53,9	53,3	52,7	52,2	52,0	51,2	50,0	48,5	46,2	42,6	40,7



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R23 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimalat.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Virtain kaupungin alueelle suunnitellun Vermassalon tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty 20 voimalan toteutusvaihtoehdolla VE3, käyttäen turbiinityypin V172 7.2 MW PO7200 taajuusjakaumia ja napa-korkeutta 225 m. Selvityksessä on arvioitu myös Vermassalon ja läheisten suunnitteilla olevien naapuripuistojen Myyränkankaan ja Tuuramäen tuulivoimaloiden melun yhteisvaikutuksia.

Mallinnusten perustella melutasot ylittyvät yhden asuinrakennuksen kohdalla. Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdilla melutasot pysyvät ohjearvoissa. Myös matalataajuiset melutasot pysyvät asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

Vermassalon, Myyränkankaan ja Tuuramäen voimaloista aiheutuu vähäistä yhteisvaikutusta asutuksen kohdalla. 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: 101021368-010.001				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 10.01.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Juulianna Lähteinen ja Erkki Heikkola							
Laatija: Juulianna Lähteinen				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 (with serrated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 225 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™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_00. 2022-06-30.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	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 mittaust ja havainnot:											
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus			Impulssimaisuus			Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)			Muu, mikä:		
kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei		kyllä	ei	
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
4 m						10 m x 10 m					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
70 %						15 C°					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos						Vaakaresoluutio: 2 m			Pystyresoluutio: 0,3 m		
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
ISO 9613-2											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
Neutraali											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
Vapaa avaruus											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: 1 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl					
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 1 kpl			Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl			Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl					
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: 0 kpl						Luonnonsuojelualueet: 0 kpl					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella, kun pelkästään Vermassalon voimalat huomioidaan:											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	50,4	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,9	42,6	38,8	36,8
R2	50,7	50,0	49,4	48,9	48,7	47,9	46,7	45,2	42,9	39,2	37,2
R3	50,5	49,9	49,2	48,8	48,5	47,8	46,6	45,0	42,7	39,0	37,0
R4	49,8	49,1	48,5	48,0	47,8	47,0	45,8	44,2	41,9	38,1	36,0
R5	50,8	50,1	49,5	49,0	48,8	48,0	46,9	45,3	43,0	39,3	37,4
R6	52,7	52,1	51,5	51,0	50,8	50,0	48,9	47,4	45,3	41,7	39,9
R7	51,4	50,7	50,1	49,7	49,4	48,7	47,5	46,0	43,7	40,0	38,1
R8	51,6	51,0	50,4	49,9	49,7	48,9	47,8	46,2	44,0	40,4	38,5
R9	52,5	51,9	51,3	50,8	50,6	49,9	48,7	47,2	45,0	41,4	39,6
R10	53,6	53,0	52,4	51,9	51,7	51,0	49,8	48,4	46,2	42,6	40,8
R11	51,9	51,3	50,7	50,2	50,0	49,2	48,1	46,6	44,4	40,7	38,9
R12	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,9	42,6	38,8	36,9
R13	49,8	49,2	48,6	48,1	47,9	47,1	45,9	44,3	42,0	38,2	36,2
R14	49,7	49,1	48,4	48,0	47,7	47,0	45,7	44,2	41,9	38,0	36,0
R15	49,1	48,5	47,9	47,4	47,1	46,3	45,1	43,5	41,2	37,3	35,2

R16	47,3	46,6	46,0	45,5	45,2	44,4	43,1	41,4	38,9	34,9	32,5
R17	46,5	45,8	45,1	44,6	44,4	43,5	42,2	40,5	37,9	33,7	31,2
R18	46,4	45,7	45,1	44,6	44,3	43,5	42,1	40,4	37,8	33,7	31,2
R19	49,3	48,6	48,0	47,5	47,3	46,5	45,2	43,6	41,2	37,4	35,2
R20	49,0	48,3	47,7	47,2	47,0	46,1	44,9	43,3	40,9	37,0	34,8
R21	50,3	49,7	49,1	48,6	48,4	47,6	46,4	44,8	42,5	38,7	36,6
R22	50,3	49,6	49,0	48,6	48,3	47,5	46,3	44,8	42,4	38,6	36,5
R23	56,3	55,7	55,1	54,7	54,5	53,8	52,7	51,3	49,2	45,8	44,3
R24	52,9	52,2	51,6	51,2	51,0	50,2	49,0	47,6	45,4	41,7	39,9
R25	53,4	52,8	52,2	51,7	51,5	50,8	49,6	48,1	46,0	42,4	40,6