Sitowise

Valkiavaaran tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE2)

101020250-001, 21.09.2023

Tekijä
AFRY Finland Oy
Pinja Tikka

E-mail
pinja.tikka@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Sitowise
Anna-Maria Kujala

Päivämäärä
21/09/2023

Projektinumero
101020250–001

Raportin tila
LUONNOS

Valkiavaaran tuulivoimahankkeen meluselvitys (VE2)

copyright© AFRY

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	21.09.2023/ Pinja Tikka, Technical Consultant	21.09.2023/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Alkuperäinen

Aineistojen käyttöoikeudet

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

copyright© AFRY

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 15
4 Yhteenveto 20
5 Viitteet 21
6 Melumallinnuksen tiedot 22

copyright© AFRY

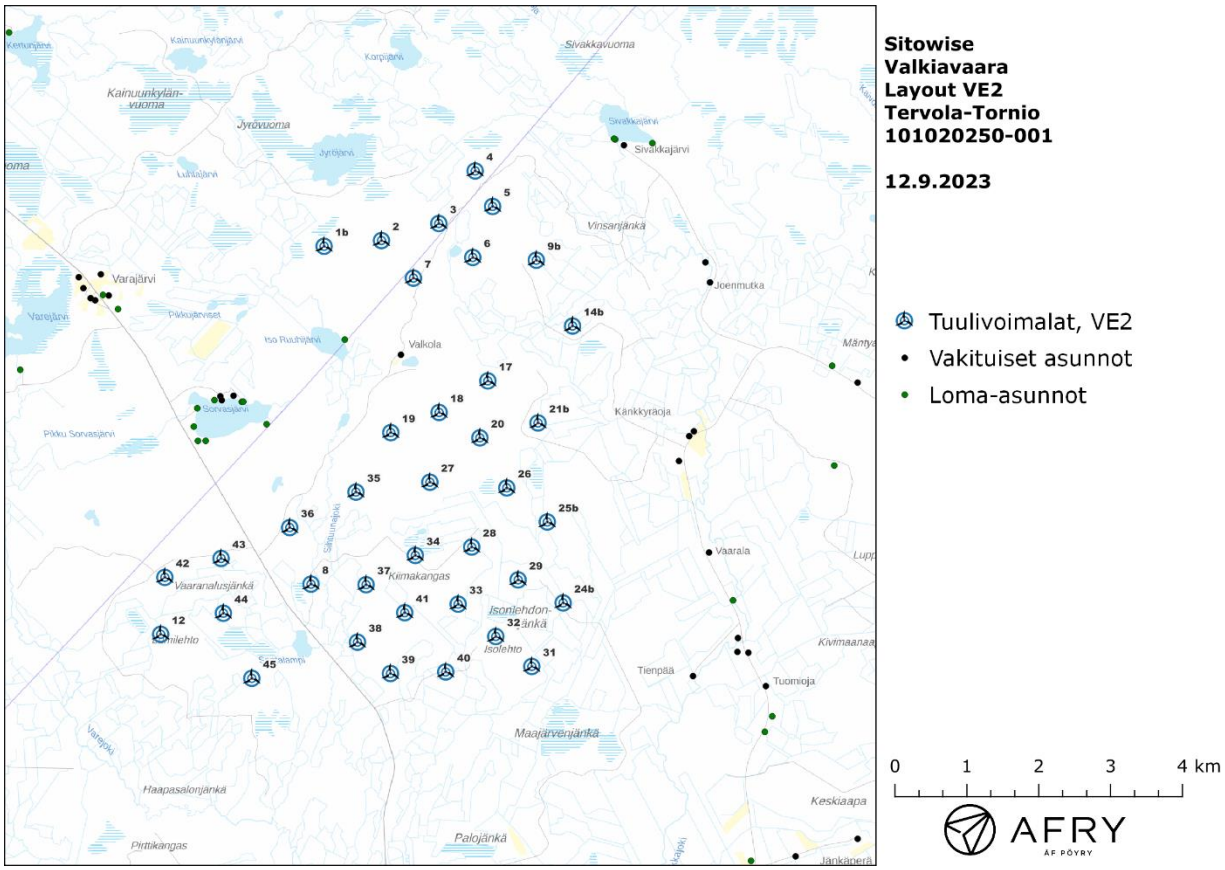
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Tervolan kuntaan ja Tornion kaupunkiin suunnitellun Valkiavaaran tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Meluvaikutusten arviointi tehdään 37 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2. Suunnitelluista tuulivoimaloista neljä voimalaa sijaitsee Tornion puolella ja 33 voimalaa Tervolan puolella. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja turbiinityypin V162 5,6 MW Mode 0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa. Mallinnukset on tehty kahdella äänitehotasolla:

- 106 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 104 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A).
- 108 dB(A) (turbiinivalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 104 dB(A) + varmuusarvo 4 dB(A)

Turbiinityypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja. Toisessa mallinnuksessa käytetyllä 4 dB:n varmuusarvolla halutaan varautua tulevaisuuden suurempiin ja meluisampiin voimalatyyppeihin, joiden lähtötietoja ei ole vielä käytössä.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit hankealueella.

copyright© AFRY

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (37 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Maaston korkeus [m]
1b	393589,2	7351458,7	147
2	394387,3	7351538,2	168
3	395185,2	7351775,0	154
4	395691,2	7352505,9	143
5	395933,6	7352012,2	153
6	395657,6	7351303,1	142
7	394832,1	7351015,7	142
8	393407,2	7346761,1	96
9b	396541,6	7351265,2	119
12	391315,5	7346063,3	107
14b	397046,2	7350349,9	100
17	395867,5	7349586,8	139
18	395189,4	7349147,9	165
19	394517,3	7348867,8	180
20	395756,4	7348794,9	121
21b	396565,8	7349002,1	94
24b	396915,0	7346499,8	79
25b	396694,6	7347625,1	95
26	396130,6	7348099,1	102
27	395061,0	7348178,1	120
28	395643,1	7347276,9	97
29	396288,7	7346820,1	88
31	396479,1	7345616,8	77
32	395977,8	7346033,0	93
33	395454,2	7346482,8	89
34	394858,2	7347160,1	104
35	394032,5	7348040,7	117
36	393110,7	7347547,2	108
37	394173,3	7346753,1	99
38	394053,6	7345953,8	92
39	394512,5	7345518,1	83
40	395281,3	7345540,1	75
41	394711,0	7346363,7	98
42	391373,2	7346855,0	110
43	392156,3	7347118,2	109
44	392188,2	7346356,3	100
45	392583,6	7345451,4	99

copyright© AFRY

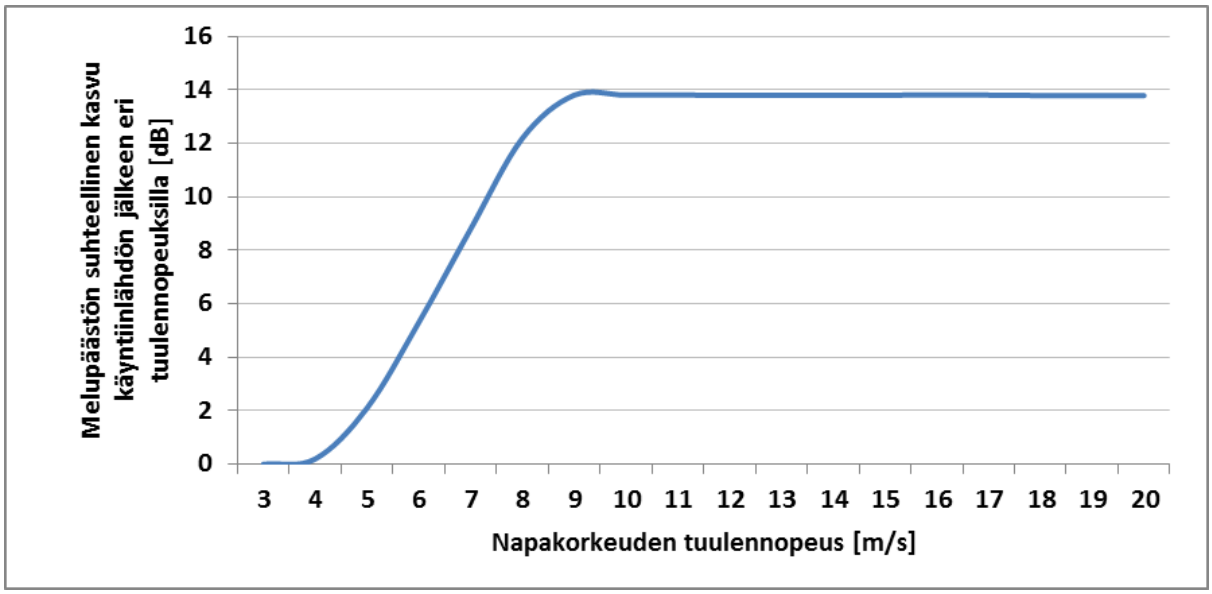
2 Tuulivoimaloiden melu

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

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



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

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

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

copyright© AFRY

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

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

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

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

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

copyright© AFRY

mioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorption ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuusalueella 20–200 Hz melulle merkittävimmin altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella. Laskennan tarkoituksena on tuottaa tieto ulkomelutasoista terssikaistoittain, ja niiden perusteella voidaan arvioida rakennuksen sisämelutaso oletetulla 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 ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

copyright© AFRY

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

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

copyright© AFRY

3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksissa on käytetty V162 5,6 MW Mode 0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- V162-5.6MW Third octave noise emission. DMS no: 0079-5298_01. 2019-01-23.

Dokumenttia varten turbiinityypin V162 testimittauksia ei ollut saatavilla. Esitetyt melutasot perustuvat turbiinityypillä V136 tehtyihin mittauksiin, joiden perusteella V162: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 V162 5,6 MW äänitehotaso on 104 dB(A). Mallinnukset on tehty kahdella eri äänitehotasolla, 106 dB(A) sekä 108 dB(A). Mallinnuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 200 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.

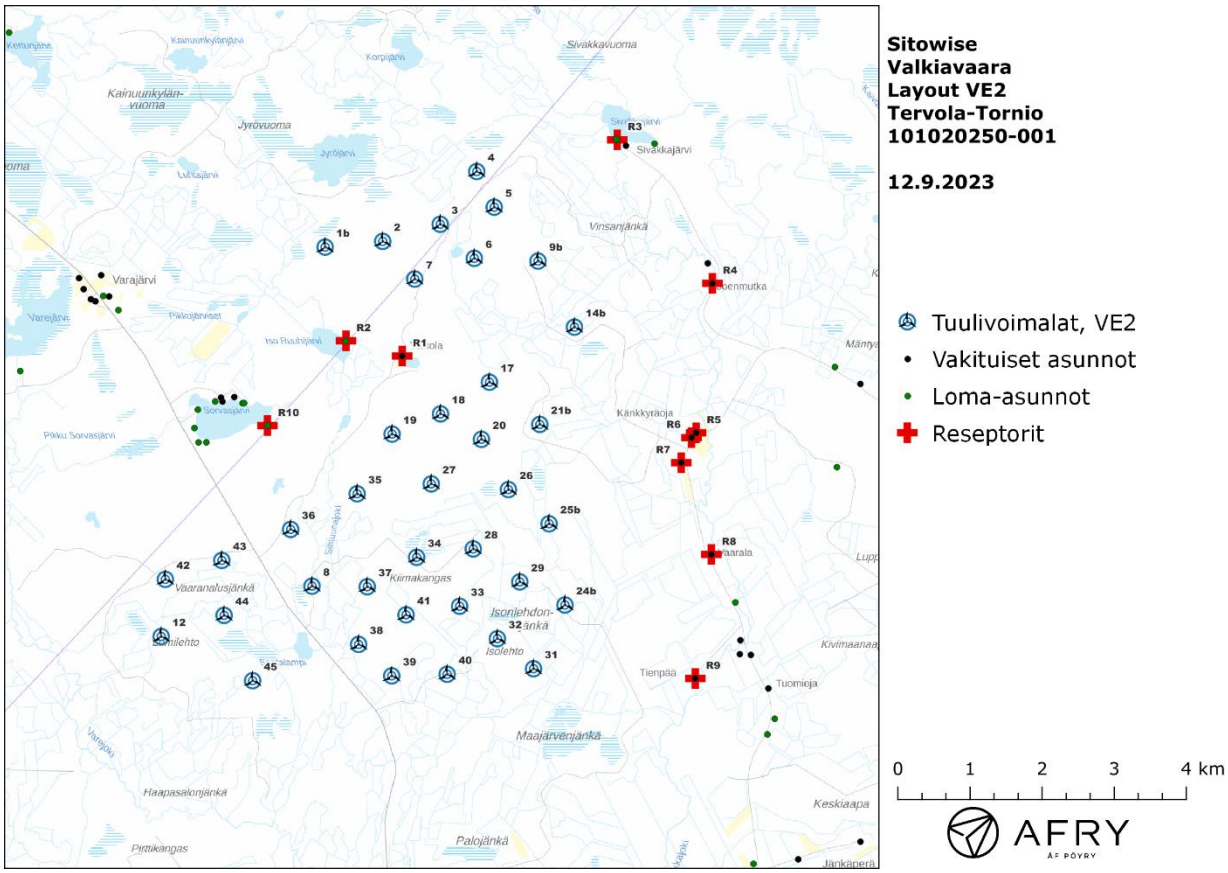
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 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 10 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3). Reseptoripisteet sijaitsevat noin 1,0–2,2 km etäisyydellä voimaloista.

copyright© AFRY

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	394659	7349948	141	vakituinen asuinrakennus
R2	393879	7350159	118	lomarakennus
R3	397641	7352942	101	lomarakennus
R4	398960	7350955	79	vakituinen asuinrakennus
R5	398736	7348884	69	vakituinen asuinrakennus
R6	398670	7348816	70	vakituinen asuinrakennus
R7	398528	7348470	75	vakituinen asuinrakennus
R8	398946	7347198	72	vakituinen asuinrakennus
R9	398723	7345480	61	vakituinen asuinrakennus
R10	392791	7348983	123	lomarakennus



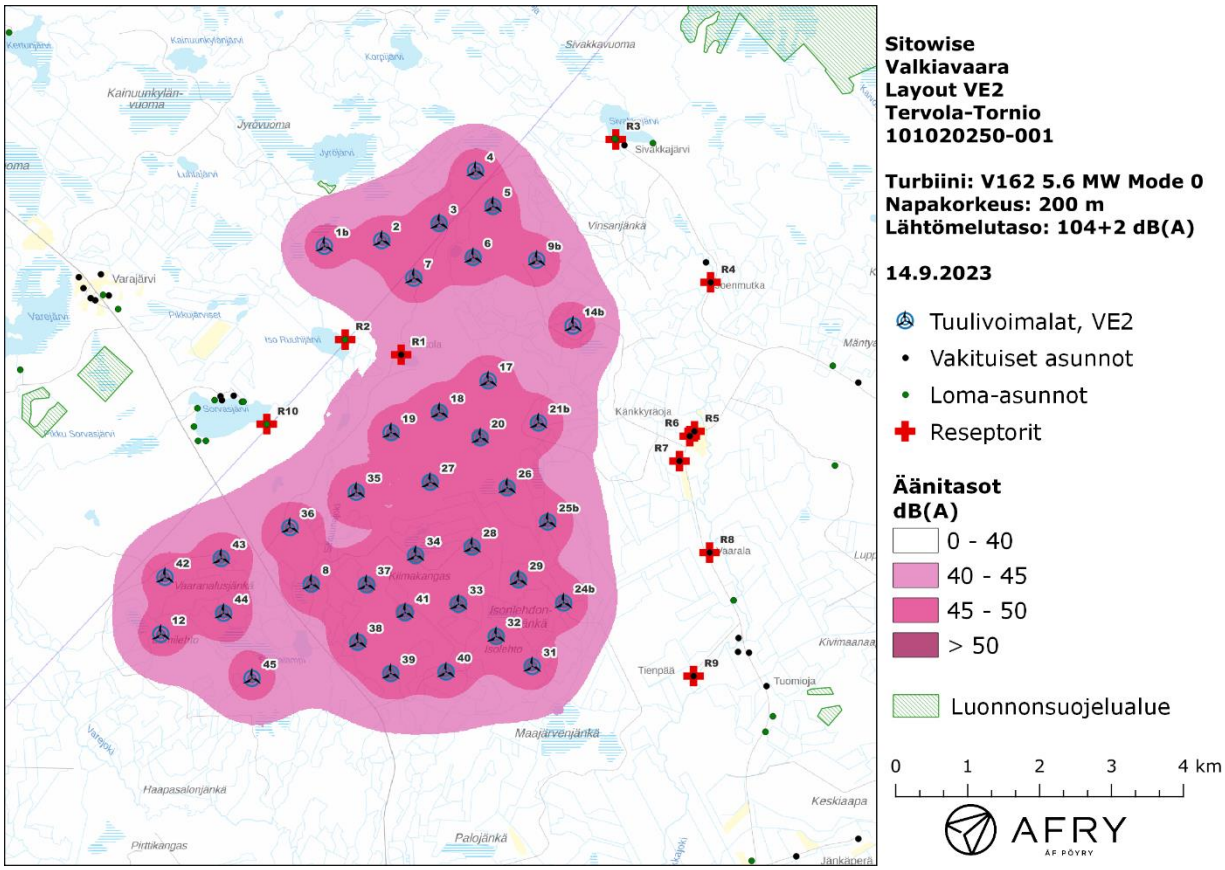
Kuva 3: Vertailukiinteistöjen paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

copyright© AFRY

Meluvaikutus

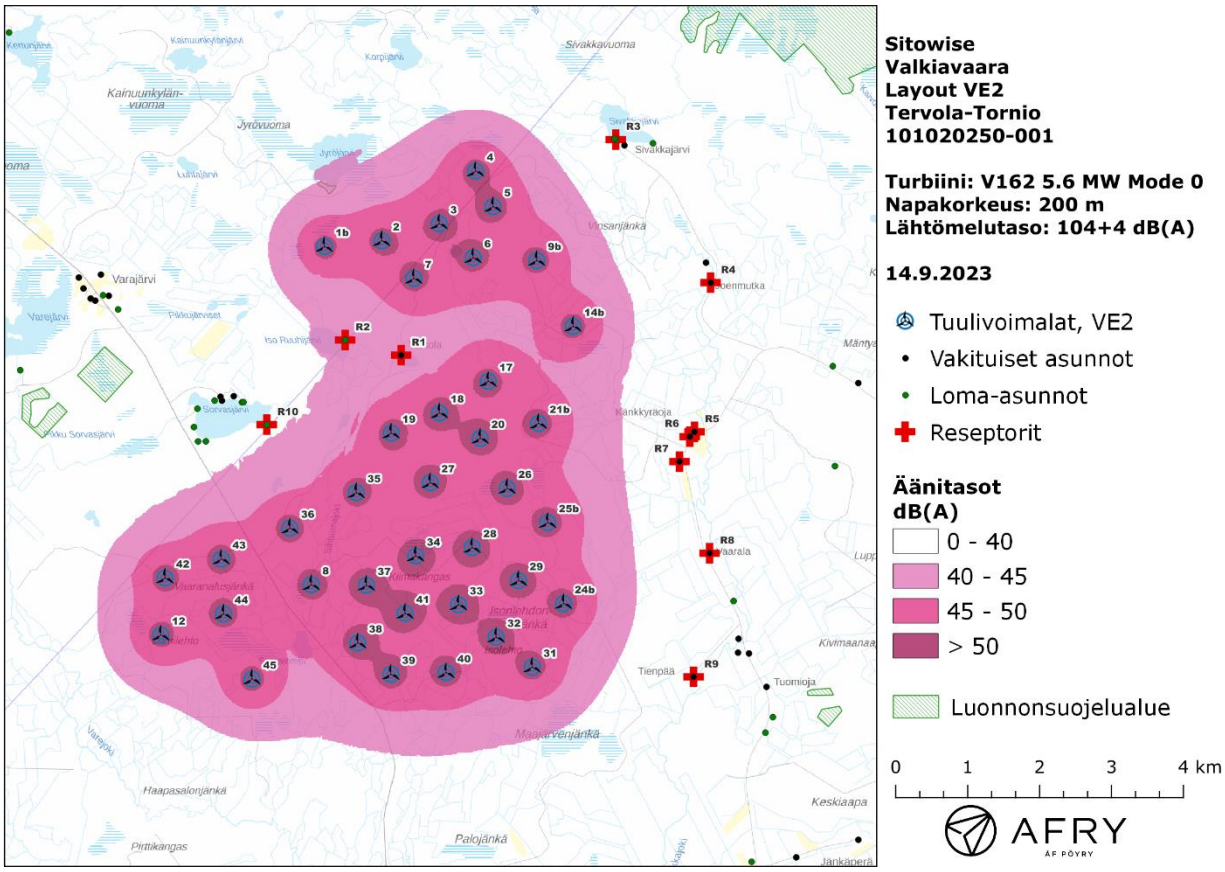
Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso Laeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4 ja Kuva 5). Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa. Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuin- ja lomarakennukset. Karttakuvaan on merkitty myös hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet, joista yksi altistuu tuulivoimaloiden melulle kun turbiinien äänitehotaso on 108 dB(A). Melu ei kuitenkaan ylitä virkistysalueiden 45 dB(A) ohjearvoa luonnonsuojelualueella.

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukoissa (Taulukko 5 ja Taulukko 6). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot ylittävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla kun äänitehotaso on 106 dB(A), ja kahden rakennuksen kohdalla kun äänitehotaso on 108 dB(A). Muiden loma- ja asuinrakennusten kohdalla meluvaikutukset jäävät 40 dB:n ohjearvon.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapuiston hankealueella kun turbiinien äänitehotaso on 106 dB(A).

copyright© AFRY



Kuva 5: Keskiäänitasot LAeq tuulivoimapuiston hankealueella kun turbiinien äänitehotaso on 108 dB(A).

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla kun turbiinien äänitehotaso on 106 dB(A).

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	41,2
R2	39,2
R3	33,3
R4	32,5
R5	33,7
R6	34,0
R7	34,5
R8	33,0
R9	32,5
R10	36,4

copyright© AFRY

Taulukko 6: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla kun turbiinien äänitehotaso on 108 dB(A).

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	43,2
R2	41,2
R3	35,3
R4	34,5
R5	35,7
R6	36,0
R7	36,5
R8	35,0
R9	34,5
R10	38,4

copyright© AFRY

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

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

Meluvaikutus

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

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

Tässä raportissa käytetyt rakennusten ääneneristävyysparametrit perustuvat sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeisiin että tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyysarvot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailukiinteistöjen matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä molempia ääneneristävyysarvoja. Taulukossa (Taulukko 7) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyyden arvot.

Taulukko 7: 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 molempia ääneneristysarvoja (Taulukko 7) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 8). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

copyright© AFRY

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöihin R1 ja R2, joiden kohdalla on laskettu myös sisämelutasot käyttäen molempia ääneneristävyysarvoja ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 6-Kuva 9). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä ja molemmilla ääneneristävyysarvoilla.

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 40 dB(A):n ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla kun äänitehotaso on 106 dB(A), ja kahden rakennuksen kohdalla kun äänitehotaso on 108 dB(A). On mahdollista, että kyseisten rakennusten kohdalla myös asumisterveysasetuksen 30 dB(A):n ohjearvo yöajan sisämelutasolle ylittyy.

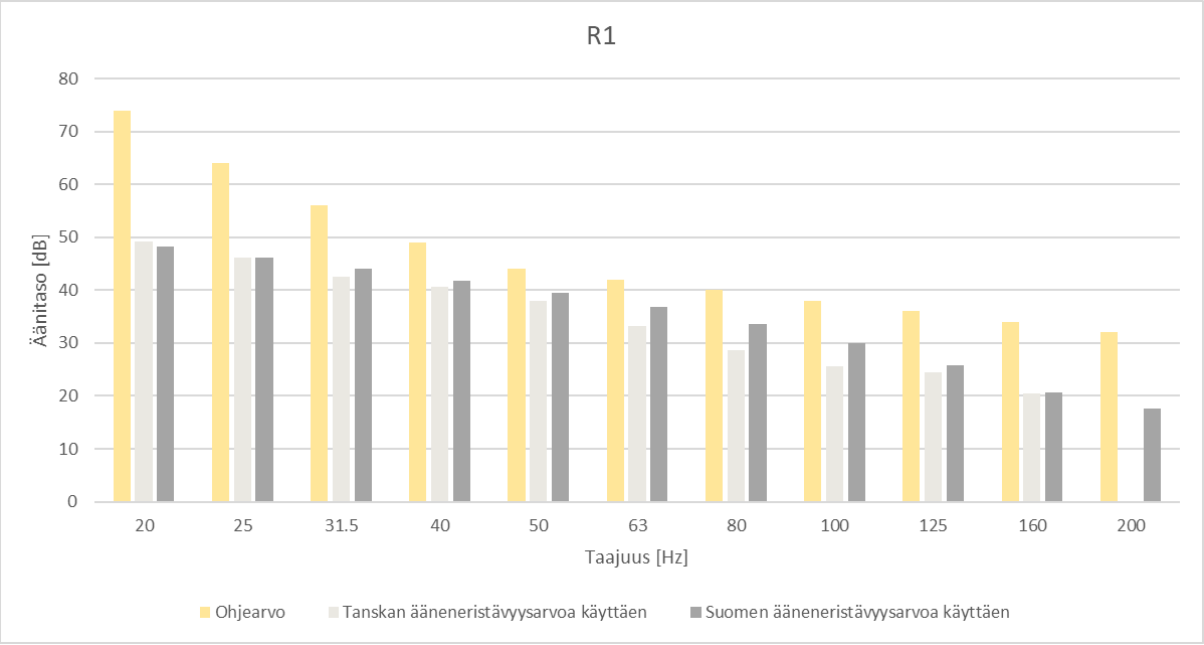
Taulukko 8: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla kun turbiinien äänitehotaso on 106 dB(A).

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

copyright© AFRY

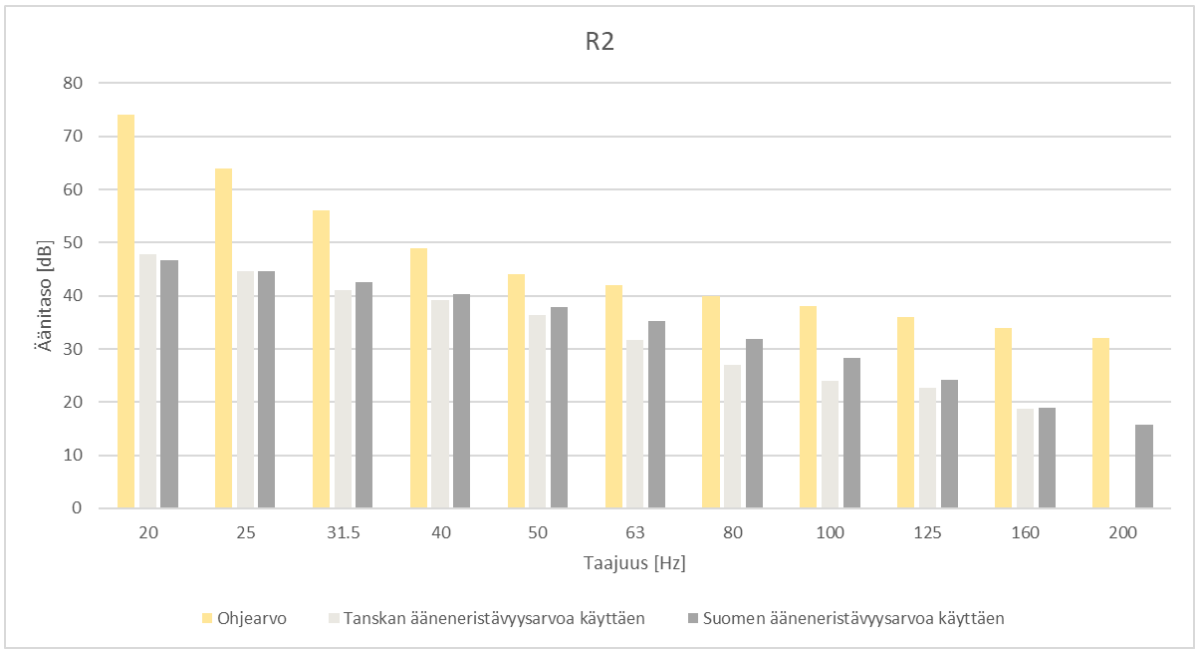
Taulukko 9: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla kun turbiinien äänitehotaso on 108 dB(A).

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	57,8	56,5	55,3	54,1	53,0	51,8	50,3	48,7	46,6	43,6	42,4
R2	56,3	55,0	53,8	52,6	51,5	50,2	48,8	47,1	45,0	41,9	40,5
R3	52,1	50,8	49,5	48,3	47,1	45,8	44,3	42,6	40,3	37,0	35,4
R4	51,6	50,2	49,0	47,7	46,6	45,3	43,8	41,9	39,6	36,2	34,5
R5	52,8	51,4	50,2	48,9	47,8	46,5	45,0	43,2	40,9	37,6	35,9
R6	52,9	51,6	50,4	49,1	48,0	46,7	45,2	43,4	41,1	37,8	36,2
R7	53,3	52,0	50,7	49,5	48,4	47,1	45,6	43,8	41,5	38,3	36,7
R8	52,4	51,0	49,8	48,5	47,4	46,1	44,6	42,8	40,4	37,1	35,4
R9	51,9	50,6	49,3	48,1	46,9	45,6	44,1	42,3	39,9	36,6	34,9
R10	55,4	54,0	52,8	51,6	50,4	49,2	47,7	46,0	43,8	40,7	39,3

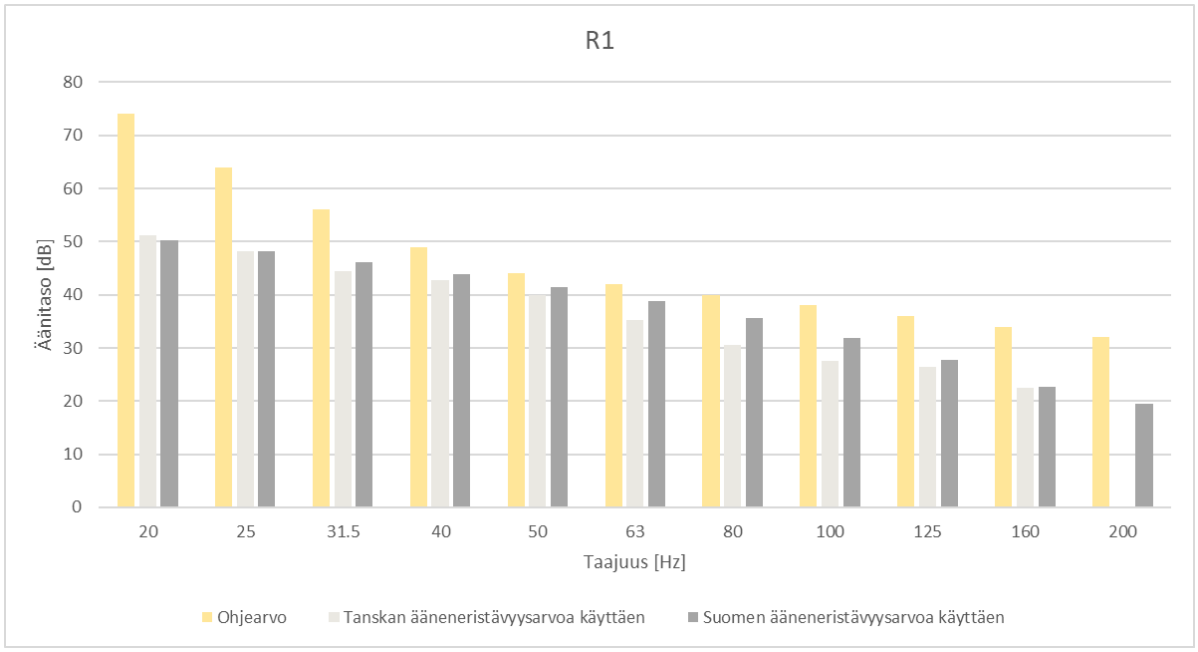


Kuva 6: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla kun turbiinien äänitehotaso on 106 dB(A).

copyright© AFRY

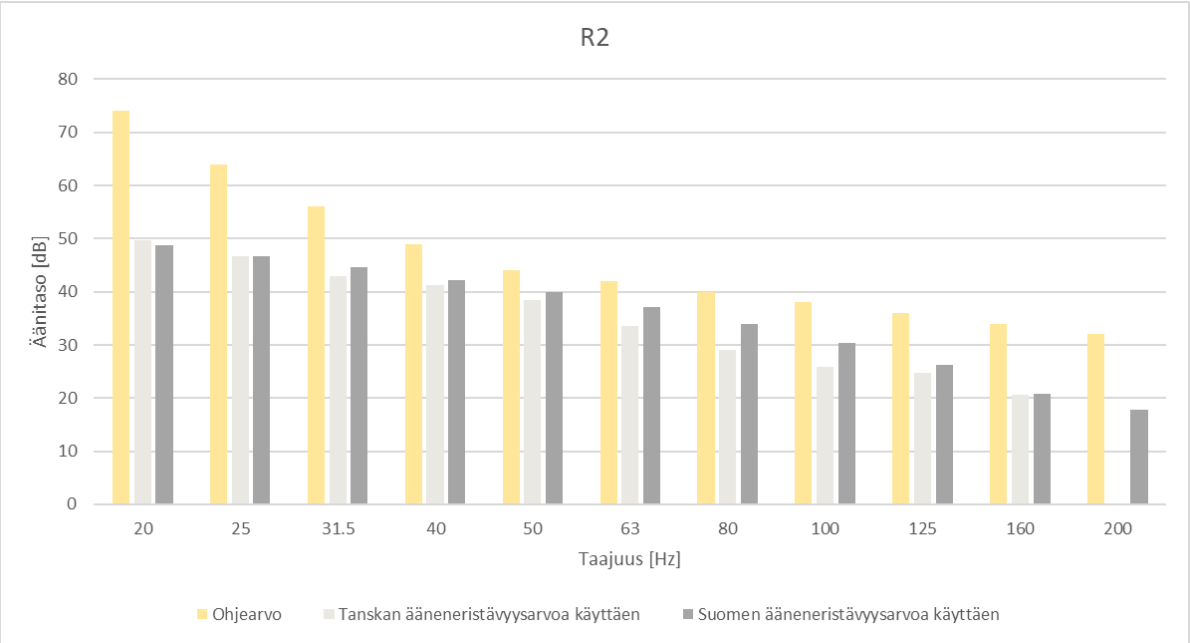


Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R2 kohdalla kun turbiinien äänitehotaso on 106 dB(A).



Kuva 8: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla kun turbiinien äänitehotaso on 108 dB(A).

copyright© AFRY



Kuva 9: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R2 kohdalla kun turbiinien äänitehotaso on 108 dB(A).

copyright© AFRY

4 Yhteenveto

Selvityksessä arvioidaan Tervolan kuntaan ja Tornion kaupunkiin suunnitellun Valkiavaaran tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Meluvaikutusten arviointi tehdään 37 voimalan sijoitussuunnitelmalle VE2. Arvioinnissa on käytetty napakorkeutta 200 m ja voimalatyypin V162 5,6 MW (mode 0) taajuusjakaumia.

Mallinnusten perusteella keskiäänitasot ylittävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvon yhden rakennuksen kohdalla kun äänitehotaso on 106 dB(A), ja kahden rakennuksen kohdalla kun äänitehotaso on 108 dB(A). Muiden asuin- ja lomarakennusten kohdilla keskiäänitasot jäävät alle valtioneuvoston ohjearvon. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

copyright© AFRY

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 Envinronment 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 Con-ference 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.

copyright© AFRY

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: **101020250-001**				Raportin hyväksyntäpäivämäärä**: 21.09.2023**			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: **AFRY Finland Oy**							
Vastuuhenkilöt: **Pinja Tikka ja Mika Laitinen**							
Laatija: **Pinja Tikka**				Tarkastaja/hyväksyjä: **Mika Laitinen**			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: **AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto**				Mallinnusmenetelmä: **ISO 9613-2**			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: **Vestas**				Tyyppi: **V162 5.6 MW Mode 0** **(with serrated trailing edges)**		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: **5.6 MW**		Napakorkeus: **200 m**		Roottorin halkaisija: **200 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							
V162-5.6MW Third octave noise emission. DMS no: 0079-5298_01. 2019-01-23.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot):							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5	74,5	20	59,8	200	91	2000	89,6
63	84,9	25	64,3	250	92,3	2500	87,7
125	92,4	31,5	68,6	315	93,3	3150	85,4
250	97,1	40	72,6	400	94	4000	82,7
500	99,0	50	76,1	500	94,3	5000	79,9
1000	98,1	63	79,4	630	94,4	6300	76,7
2000	94,5	80	82,5	800	94	8000	72,9
4000	88,0	100	85	1000	93,4	10000	69,2
8000	78,7	125	87,3	1250	92,5		
		160	89,4	1600	91,1		

copyright© AFRY

Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:									
Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi-modulaatio)		Muu, mikä:			
kyllä	**ei**	kyllä	**ei**	kyllä	**ei**	kyllä	**ei**		

Laskentakorkeus	Laskentaruudun koko [m x m]
4 m	**10 m x 10 m**
Suhteellinen kosteus	Lämpötila
70 %	**15 C°**

Maastomallin lähde ja tarkkuus		
Maastomallin lähde: **Maanmittauslaitos**	Vaakaresoluutio**: 2 m**	Pystyresoluutio: **0,3 m**

Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet	
ISO 9613-2	
Vesialueet, (0) / (G)	
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)	
Maa-alueet (0) / (G)	
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus	
Neutraali	
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen	
Vapaa avaruus	

Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)		
Asuinrakennukset: **0 kpl**	Vapaa-ajan rakennukset: **1 kpl**	Hoito- ja oppilaitokset: **0 kpl**
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)		
Asuinrakennukset: **0 kpl**	Vapaa-ajan rakennukset: **1 kpl**	Hoito- ja oppilaitokset: **0 kpl**

Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille	
Virkistysalueet: **0 kpl**	Luonnonsuojelualueet: **2 kpl**

Turbiinien äänitehotaso 106 dB(A)						
Hz	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**
20	55,8	54,3	50,1	49,6	50,8	50,9
25	54,5	53,0	48,8	48,2	49,4	49,6
31,5	53,3	51,8	47,5	47,0	48,2	48,4
40	52,1	50,6	46,3	45,7	46,9	47,1
50	51,0	49,5	45,1	44,6	45,8	46,0
63	49,8	48,2	43,8	43,3	44,5	44,7
80	48,3	46,8	42,3	41,8	43,0	43,2
100	46,7	45,1	40,6	39,9	41,2	41,4
125	44,6	43,0	38,3	37,6	38,9	39,1
160	41,6	39,9	35,0	34,2	35,6	35,8
200	40,4	38,5	33,4	32,5	33,9	34,2

copyright© AFRY

Hz	R7	R8	R9	R10		
20	51,3	50,4	49,9	53,4		
25	50,0	49,0	48,6	52,0		
31,5	48,7	47,8	47,3	50,8		
40	47,5	46,5	46,1	49,6		
50	46,4	45,4	44,9	48,4		
63	45,1	44,1	43,6	47,2		
80	43,6	42,6	42,1	45,7		
100	41,8	40,8	40,3	44,0		
125	39,5	38,4	37,9	41,8		
160	36,3	35,1	34,6	38,7		
200	34,7	33,4	32,9	37,3		
Turbiinien äänitehotaso 108 dB(A)						
Hz	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**
20	57,8	56,3	52,1	51,6	52,8	52,9
25	56,5	55,0	50,8	50,2	51,4	51,6
31,5	55,3	53,8	49,5	49,0	50,2	50,4
40	54,1	52,6	48,3	47,7	48,9	49,1
50	53,0	51,5	47,1	46,6	47,8	48,0
63	51,8	50,2	45,8	45,3	46,5	46,7
80	50,3	48,8	44,3	43,8	45,0	45,2
100	48,7	47,1	42,6	41,9	43,2	43,4
125	46,6	45,0	40,3	39,6	40,9	41,1
160	43,6	41,9	37,0	36,2	37,6	37,8
200	42,4	40,5	35,4	34,5	35,9	36,2
Hz	**R7**	**R8**	**R9**	**R10**		
20	53,3	52,4	51,9	55,4		
25	52,0	51,0	50,6	54,0		
31,5	50,7	49,8	49,3	52,8		
40	49,5	48,5	48,1	51,6		
50	48,4	47,4	46,9	50,4		
63	47,1	46,1	45,6	49,2		
80	45,6	44,6	44,1	47,7		
100	43,8	42,8	42,3	46,0		
125	41,5	40,4	39,9	43,8		
160	38,3	37,1	36,6	40,7		
200	36,7	35,4	34,9	39,3		

copyright© AFRY