

Solarwind Finland Oy

Tervalamminvuori

Tuulivoimapuiston meluselvitys

17.09.2026

Copyright © AFRY Finland Oy

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

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101034028-001.

Kannen kuva:© AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Solarwind Finland Oy

Ari Meinander

ari.meinander@solarwind.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Kalle Auvinen

kalle.auvinen@afry.com

Renewables & Energy Storage Finland Development

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinumero: 101034028-001

Raporttiversio: 003

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	23.04.2025/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	23.04.2025/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen (raportti nro. 101024342-007.001)
002	13.02.2026/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	13.02.2026/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Voimalasijainnit muuttuneet. (raportti nro. 101034028-001.002)
003	17.09.2026/ Kalle Auvinen, Technical Consultant	17.09.2026/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Voimalasijainnit, voimalatyyppi ja napakorkeus muuttuneet.

Copyright © AFRY Finland Oy

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5

2 TUULIVOIMALOIDEN MELU 7
2.1 Yleistä tuulivoimamelusta 7
2.2 Melumallinnusohjeistus 8
2.3 Ohjearvot 9
2.4 Sisämelutasojen arviointi 10

3 TUULIVOIMAKOHTEEN MELUMALLINNUS 11
3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus 11
3.2 Matalataajuisen melun mallinnus 14

4 YHTEENVETO 16

5 VIITTEET 17

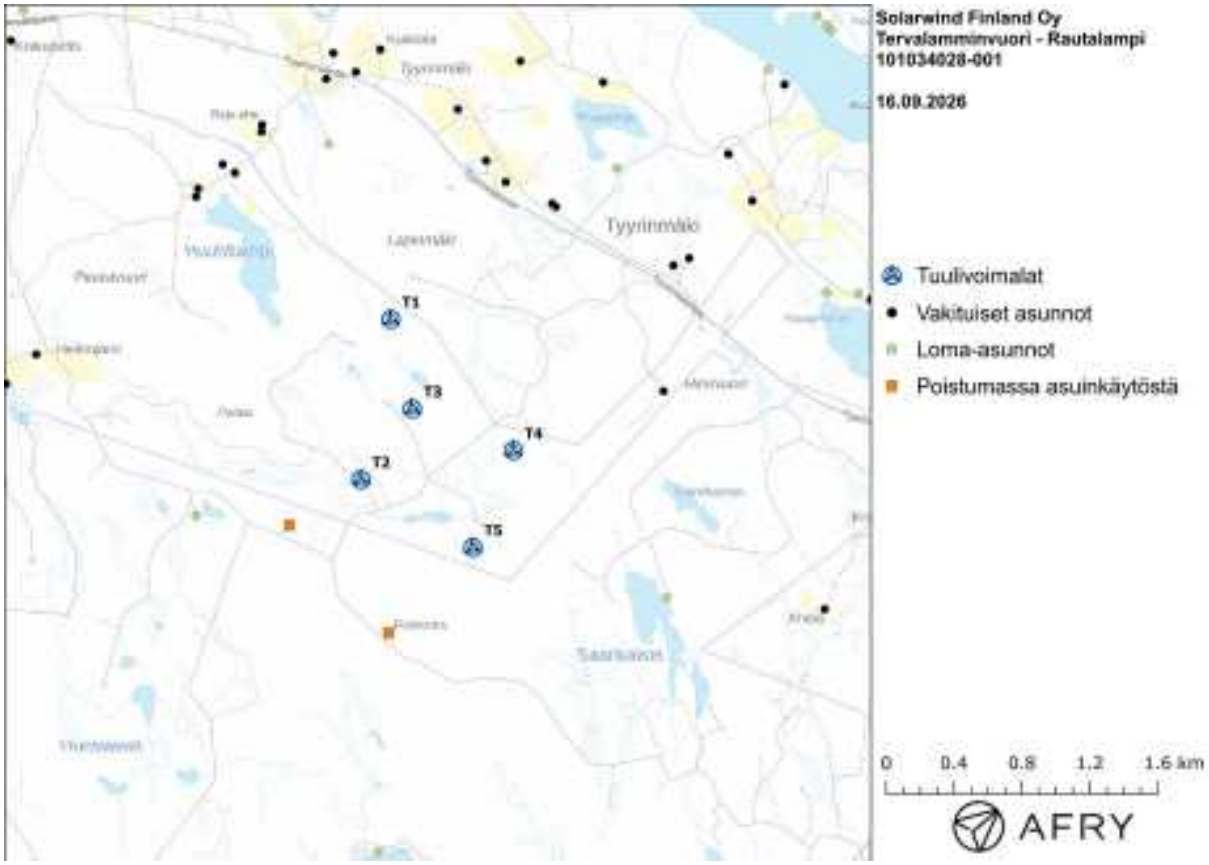
6 MELUMALLINNUKSEN TIEDOT 18

Copyright © AFRY Finland Oy

1 JOHDANTO

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

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 162,5 m ja tuulivoimalatyypin Nordex N175 6,8 MW (Mode 0.b, with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 108,4 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 106,9 dB(A) + varmuusarvo 1,5 dB(A)). Tuulivoimalavalmistaja Nordexin dokumentin mukaan standardin IEC TS 61400-14 mukainen melupäästön tunnusarvo saavutetaan lisäämällä ilmoitettuun äänitehotasoon 1,5 dB varmuusarvo. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Tervalamminvuoren hankealueella.

Copyright © AFRY Finland Oy

Taulukko 1-1: Tuulivoimaloiden (5 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	497332	6941059	166
T2	497155	6940119	132
T3	497458	6940534	168
T4	498054	6940289	161
T5	497815	6939720	148

Copyright © AFRY Finland Oy

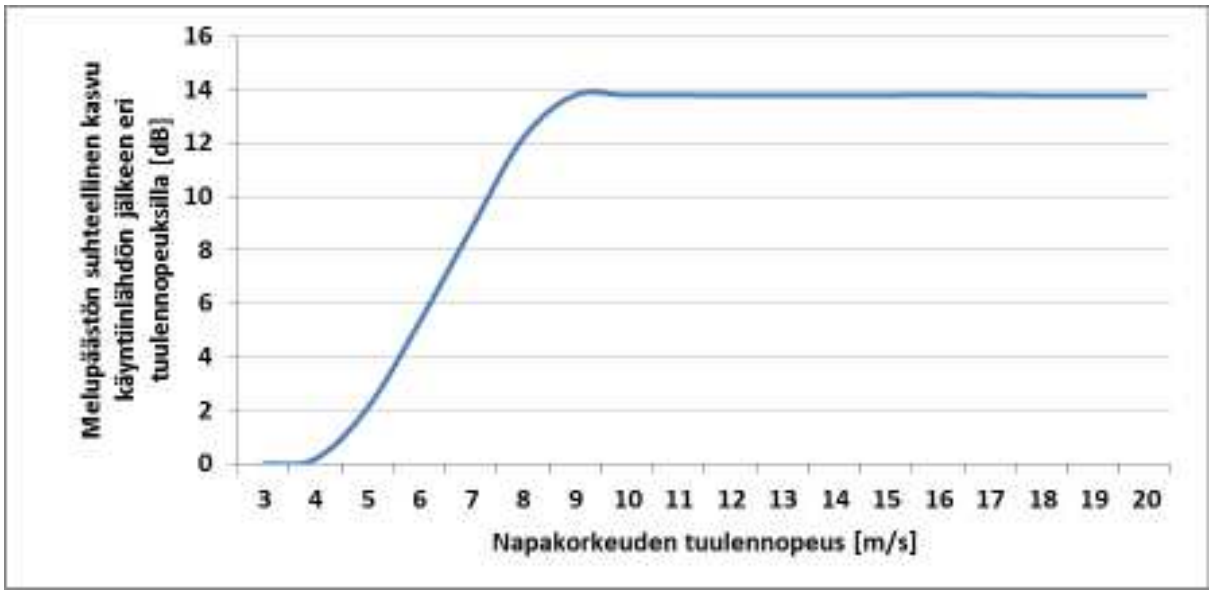
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

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

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

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



Kuva 2-1: Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan 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

Copyright © AFRY Finland Oy

äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [16].

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

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

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

Ympäristöministeriö on julkaissut 28.2.2014 ohjeen tuulivoimaloiden melun mallintamiseen [7]. Ohjeessa on annettu tietoja mallinnusmenettelyistä arvioitaessa tuulivoimaloiden aiheuttamaa melukuormitusta ympäristönsuojelulain täytäntöönpanossa ja soveltamisessa sekä maankäyttö- ja rakennuslain mukaisissa menettelyissä. Ohjeissa määritellään yksityiskohtaisesti käytettävät mallit, niiden parametrit ja lähtötiedot sekä tulosten 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 tuulivoimalan 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 voimalatyyppien melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

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

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2:2024 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan

Copyright © AFRY Finland Oy

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

2.3 Ohjearvot

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

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

Kun laskennallisia melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen ohjearvoihin, lasketuun melutasoon ei tehdä korjausta melun impulssimaisuuden tai kapeakaistaisuuden vuoksi. Ympäristöministeriön melumallinnusohjeistuksen [7] mukaan näiden vaikutusten oletetaan lähtökohtaisesti sisältyvän valmistajan ilmoittamiin melupäästön tunnusarvoihin, joita käytetään laskennan lähtötietoina. Sen sijaan valvonnan yhteydessä tehtäviin mittaustuloksiin lisätään 5 dB ennen valtioneuvoston ohjearvoon vertaamista, mikäli tuulivoimalan ääni sisältää kapeakaistaisia tai impulssimaisia komponentteja. Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2-1).

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

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA_{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 toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 2-2). Ohjeistuksen mukaiset mallinnus-

Copyright © AFRY Finland Oy

tulokset vastaavat matalataajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

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

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

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

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

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

Copyright © AFRY Finland Oy

3 TUULIVOIMAKOHTEEN MELUMALLINNUS

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2:2024 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty Nordex N175 6,8 MW (Mode 0.b, with serrated trailing edges) taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista tuulivoimalavalmistajan dokumenteista:

- Octave sound power levels, Nordex N175/6.X, Doc. 9003490, Rev. 11, 2025-11-28
- Third octave sound power levels, Nordex N175/6.X VPC, Doc. 9038573, Rev. 09, 2026-03-16.

Dokumentissa esitetyt melutasot on määritetty aerodynaamisella laskentamallilla. Tuulivoimalavalmistaja Nordexin dokumentin mukaan standardin IEC TS 61400-14 mukainen melupäästön tunnusarvo saavutetaan lisäämällä ilmoitettuun äänitehotasoon 1,5 dB varmuusarvo.

Tuulivoimalatyypin N175 6,8 MW odotusarvoinen äänitehotaso on 106,9 dB(A), joten mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 108,4 dB(A). Mallinnuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella 162,5 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Teknisessä dokumentissa esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

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

Taulukossa (Taulukko 3-1) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä kahdeksan pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Pisteet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Lähin reseptori sijaitsee noin 950 metrin etäisyydellä voimaloista ja kaukaisin 2 km etäisyydellä lähimmistä voimaloista.

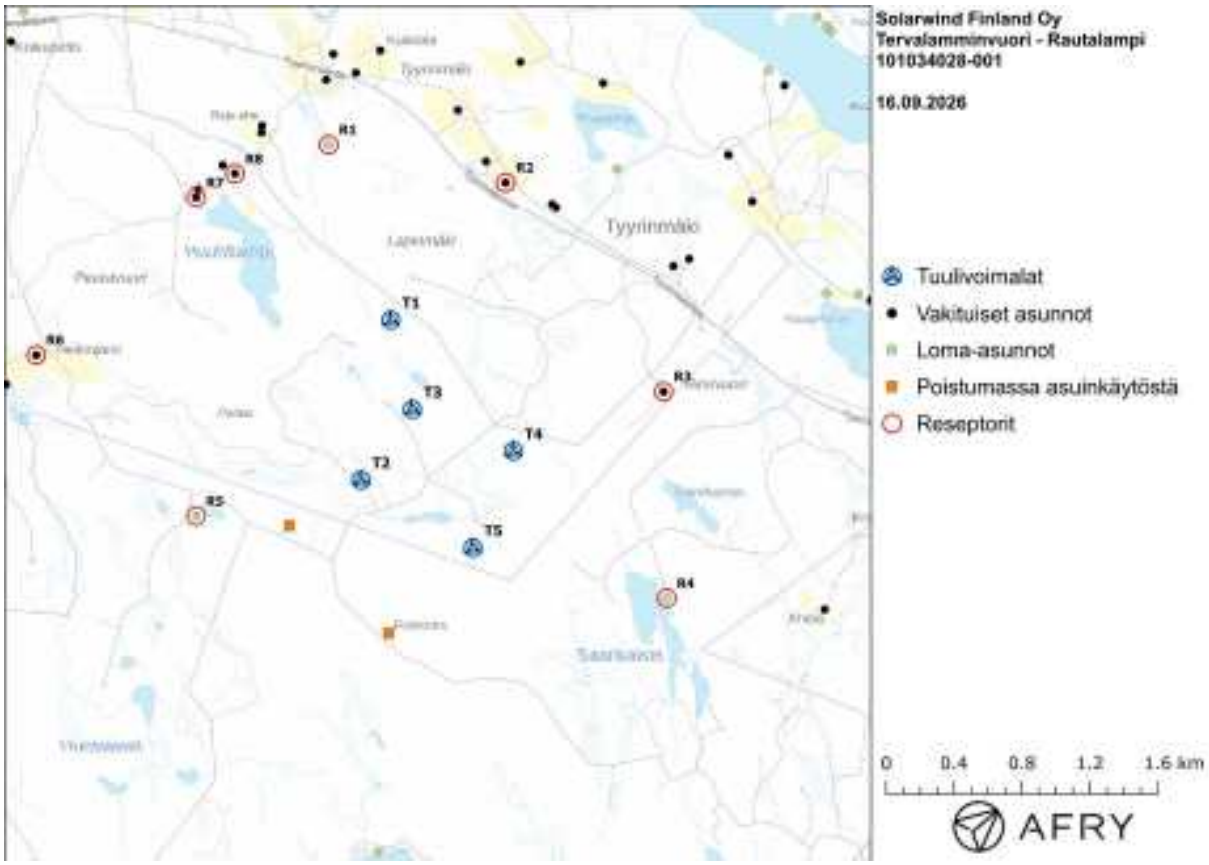
Maastotietokannan mukaan Tervalamminvuoren voimaloiden lounaispuolella on kaksi vakituista asuinrakennusta, jotka ovat asiakkaalta tulleen tiedon mukaan poistumassa

Copyright © AFRY Finland Oy

asuinkäytöstä. Rakennukset on merkitty karttoihin oranssilla. Melun ohjearvot koskevat ainoastaan asuin- ja lomarakennuksia, minkä vuoksi kyseisiä rakennuksia ei huomioida tämän selvityksen melutarkasteluissa.

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

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	496966	6942088	138	loma-asunto
R2	498009	6941865	160	vakituinen asunto
R3	498939	6940637	171	vakituinen asunto
R4	498958	6939424	156	loma-asunto
R5	496185	6939906	136	loma-asunto
R6	495243	6940853	106	vakituinen asunto
R7	496185	6941778	154	vakituinen asunto
R8	496414	6941918	149	vakituinen asunto



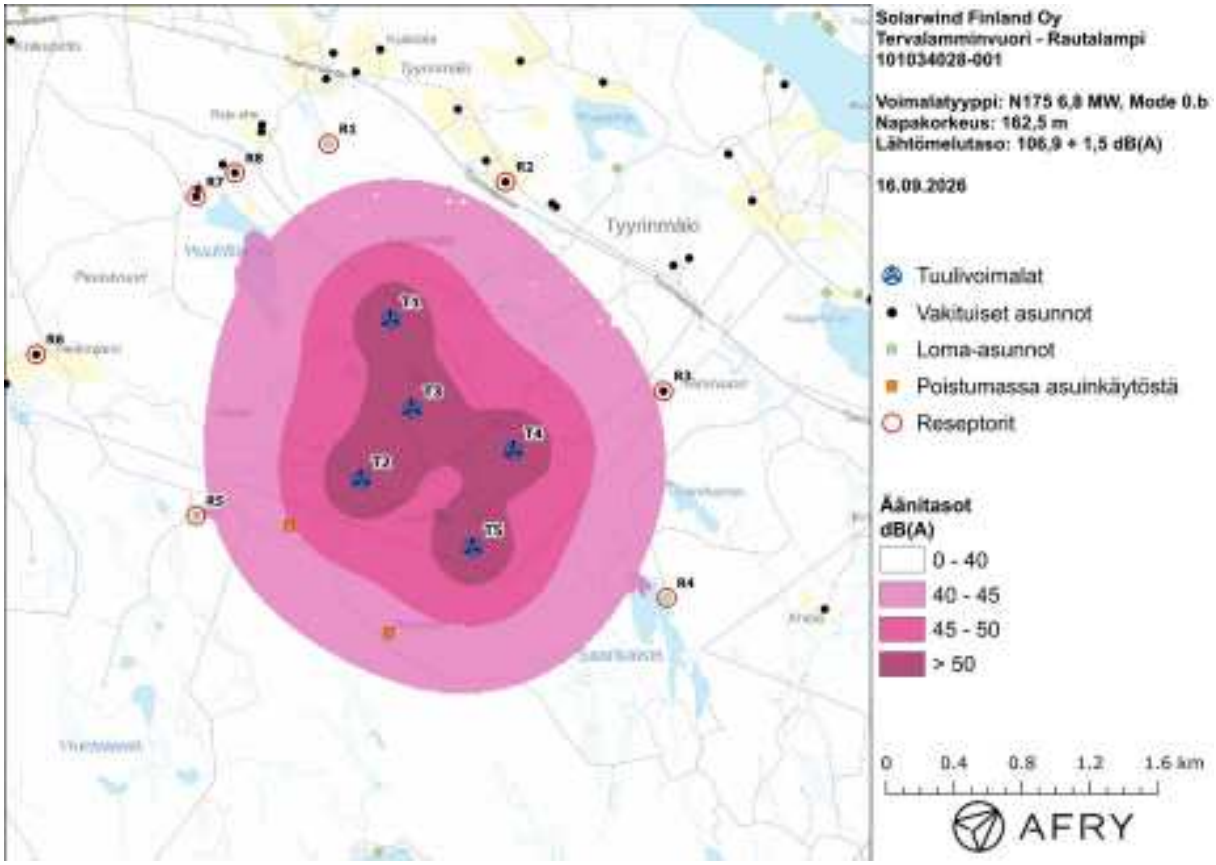
Kuva 3-1: Reseptoreiden paikat Tervalamminvuoren tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3-2). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaan on merkitty keskiäänitasojen 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet, joita käytetään apuna tulosten arvioinnissa.

Copyright © AFRY Finland Oy

Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 3-2). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot eivät ylitä valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvoa minkään asuin- tai lomarakennuksen kohdalla. Tervalamminvuoren hankealueen läheisyydessä ei sijaitse luonnonsuojelualueita.



Kuva 3-2: Keskiäänitasot LAeq Tervalamminvuoren tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 3-2: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	37,4
R2	38,5
R3	39,5
R4	38,5
R5	39,6
R6	34,1
R7	36,1
R8	36,4

Copyright © AFRY Finland Oy

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty valmistajan 1/3-oktaaveittain ilmoittamia melutasoja taajuuksille 20–200 Hz. Tuulivoimalavalmistaja Nordexin dokumentin mukaan kokonaisäänitehotason tunnusarvo saavutetaan lisäämällä ilmoitettuun äänitehotasoon 1,5 dB varmuusarvo, mutta ilmoitettujen 1/3-oktaavitasojen epävarmuus on korkeampi. Ohjeistuksen mukaisen varmuustason saavuttaminen matalataajuisen melun laskennassa edellyttää varmuusarvoa 3 dB. Laskenta suoritetaan taajuuspainottamattomilla melutasoilla

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 2-2). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, 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 rakennuksesta aiheutuva äänitasoero (ΔL_σ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja toimenpiderajoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyyden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 3-3) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 3-3: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

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

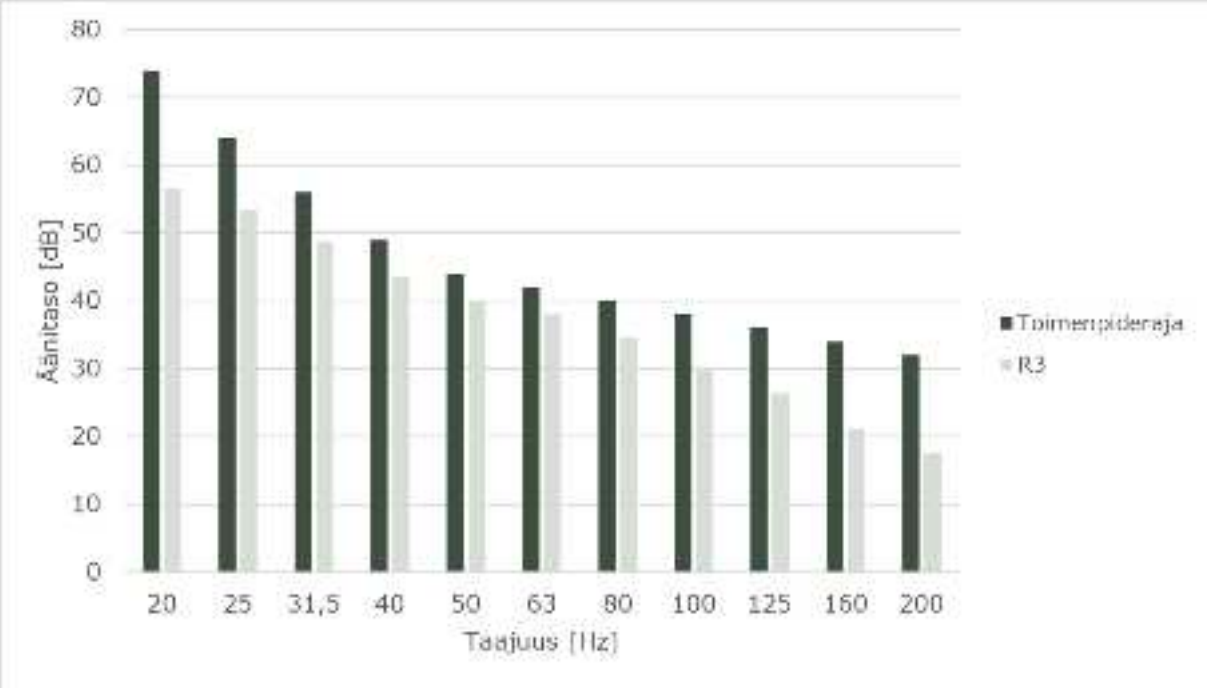
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-3) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso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

Copyright © AFRY Finland Oy

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoripisteeseen R3, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-3). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

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

Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	62,4	60,0	56,4	52,4	49,8	49,5	47,7	45,2	43,5	40,5	38,7
R2	63,3	60,9	57,3	53,2	50,7	50,5	48,6	46,2	44,4	41,4	39,6
R3	64,0	61,6	58,0	54,0	51,4	51,2	49,4	46,9	45,2	42,2	40,5
R4	63,0	60,5	56,9	52,9	50,3	50,1	48,3	45,8	44,1	41,0	39,3
R5	63,8	61,4	57,7	53,7	51,1	50,9	49,1	46,7	44,9	41,9	40,2
R6	59,4	56,9	53,3	49,3	46,7	46,4	44,6	42,0	40,2	37,0	35,0
R7	61,4	59,0	55,4	51,3	48,7	48,5	46,7	44,2	42,4	39,3	37,5
R8	61,7	59,3	55,7	51,6	49,0	48,8	47,0	44,5	42,7	39,6	37,8



Kuva 3-3: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R3 kohdalla.

Copyright © AFRY Finland Oy

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Rautalammen kunnan alueelle suunnitellun Tervalamminvuoren tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty viiden voimalan suunnitelmalla käyttäen tuulivoimalatyypin Nordex N175 6,8 MW (Mode 0.b, with serrated trailing edges) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 162,5 m.

Mallinnusten perusteella melutasot eivät ylitä valtioneuvoston 40 dB(A):n ohjearvoa alueen asuin- ja lomarakennusten kohdalla. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien asuin- ja lomarakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella.

Copyright © AFRY Finland Oy

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 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.

[10] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.1.1993.

[11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.

[12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.

[13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.

[14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.

[15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.

[16] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Con-ference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.

[17] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

Copyright © AFRY Finland Oy

6 MELUMALLINNUKSEN TIEDOT

Raportin ja raportoijan tiedot					
Mallinnusraportin numero/tunniste: **101034028-001.003**			Raportin hyväksyntäpäivämäärä: **17.09.2026**		
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: **AFRY Finland Oy**					
Vastuuhenkilöt: **Kalle Auvinen ja Erkki Heikkola**					
Laatija: **Kalle Auvinen**			Tarkastaja/hyväksyjä: **Erkki Heikkola**		
Mallinnusohjelman tiedot					
Mallinnusohjelma ja versio: **AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto**			Mallinnusmenetelmä: **ISO 9613-2:2024**		
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot					
Tuulivoimalan valmistaja: **Nordex**			Tyyppi: **N175 6,8 MW (Mode 0.b, with serrated trailing edges)**		Sarjanumero/t:
Nimellisteho: **6,8 MW**	Napakorkeus: **162,5 m**		Roottorin halkaisija: **175 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					
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot) • Octave sound power levels, Nordex N175/6.X, Doc. 9003490, Rev. 11, 2025-11-28. • Third octave sound power levels, Nordex N175/6.X VPC, Doc. 9038573, Rev. 09, 2026-03-16.					

Copyright © AFRY Finland Oy

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 9613-2:2024	
Vesialueet, (0) / (G)	
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)	
Maa-alueet (0) / (G)	
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus	
Neutraali	
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen	
Vapaa avaruus	

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

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

Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella:

Hz	**20**	**25**	**31,5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**
R1	62,4	60,0	56,4	52,4	49,8	49,5	47,7	45,2	43,5	40,5	38,7
R2	63,3	60,9	57,3	53,2	50,7	50,5	48,6	46,2	44,4	41,4	39,6
R3	64,0	61,6	58,0	54,0	51,4	51,2	49,4	46,9	45,2	42,2	40,5
R4	63,0	60,5	56,9	52,9	50,3	50,1	48,3	45,8	44,1	41,0	39,3
R5	63,8	61,4	57,7	53,7	51,1	50,9	49,1	46,7	44,9	41,9	40,2
R6	59,4	56,9	53,3	49,3	46,7	46,4	44,6	42,0	40,2	37,0	35,0
R7	61,4	59,0	55,4	51,3	48,7	48,5	46,7	44,2	42,4	39,3	37,5
R8	61,7	59,3	55,7	51,6	49,0	48,8	47,0	44,5	42,7	39,6	37,8

Copyright © AFRY Finland Oy