



Eurowind Energy AS

Tielammen tuulivoimapuiston meluselvitys (VE3)

101023002-001, 20.03.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
002

Asiakas
Eurowind Energy AS
Neil Stewart

Päivämäärä
20/03/2024

Projektinumero
101023002-001

Raportin tila
VALMIS

Tielammen tuulivoimapuiston meluselvitys (VE3)

Raporttihistoria

Versio	Pvm/Laatiija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	29.01.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	29.01.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	20.03.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant	20.03.2024/ Erkki Heikkola, Senior Consultant	Tuulivoimalatyypin ja napakorkeus muutettu

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

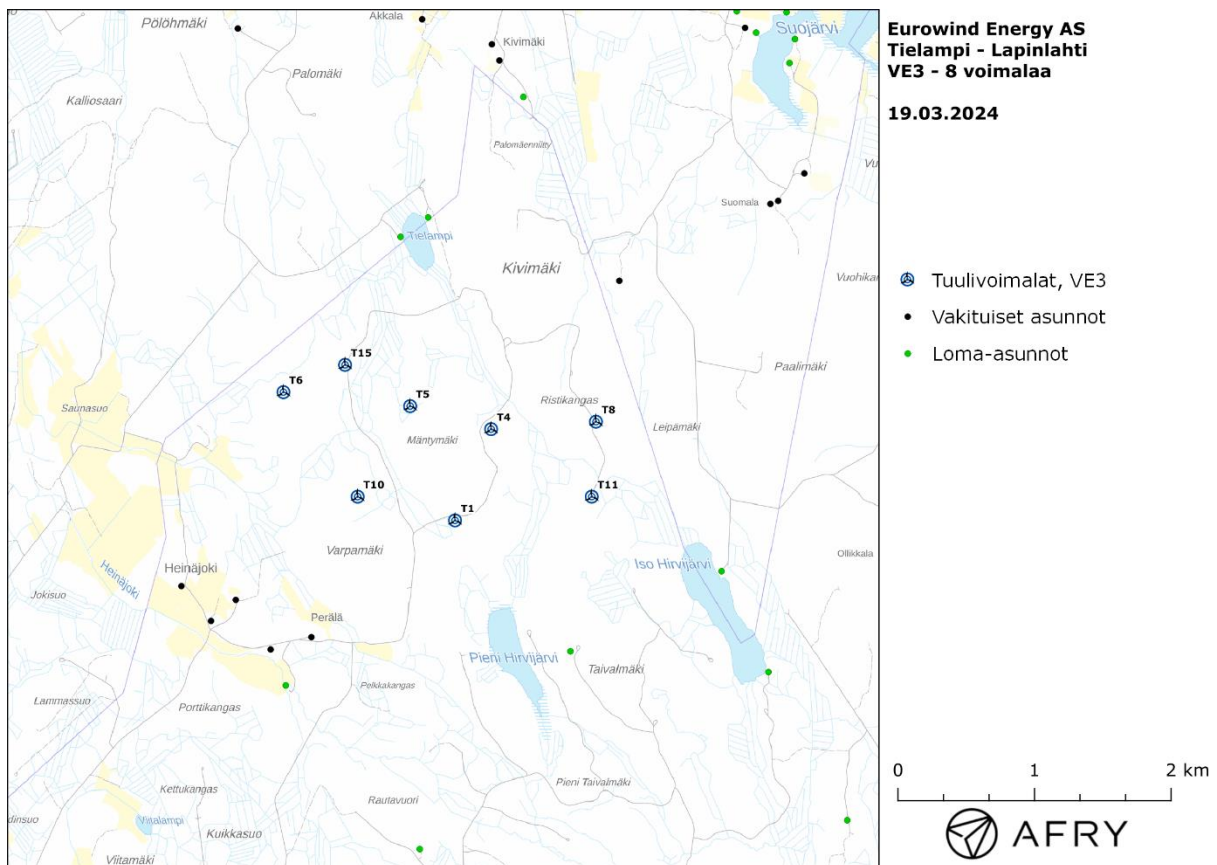
1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	6
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	7
2.3	Ohjearvot	8
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	9
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	10
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	10
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	13
3.3	Melun yhteisvaikutukset	16
4	Yhteenveto	19
5	Viitteet.....	20
6	Melumallinnuksen tiedot.....	21

1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Lapinlahden kuntaan suunnitellun Tielammen tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimahanke sijaitsee Lapinlahden kunnan ja Iisalmen kaupungin rajan tuntumassa. Arviointi on tehty kahdeksan voimalan toteutusvaihtoehdolle VE3. Voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Mallinnuksissa voimaloille on käytetty napakorkeutta 173 m ja tuulivoimalatyyppin Siemens Gamesa SG 6.6-155 AM 0 taajuusjakaumaa äänitehotasolla 107 dB(A)) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 105 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyyppin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja.

Selvityksessä arvioidaan lisäksi Tielammen ja sen viereen suunnitellun Iso-Petäjämäen tuulivoimapuiston melun yhteisvaikutuksia. Yhteisvaikutuksia käsitellään kappaleessa 3.3.



Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Tielammen hankealueella suunnitelmalla VE3.

Taulukko 1: Tuulivoimaloiden (8 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T1	520704	7039805	140
T4	520968	7040473	132
T5	520375	7040641	124
T6	519447	7040744	113
T8	521736	7040527	143
T10	519991	7039978	121
T11	521705	7039979	137
T15	519899	7040943	119

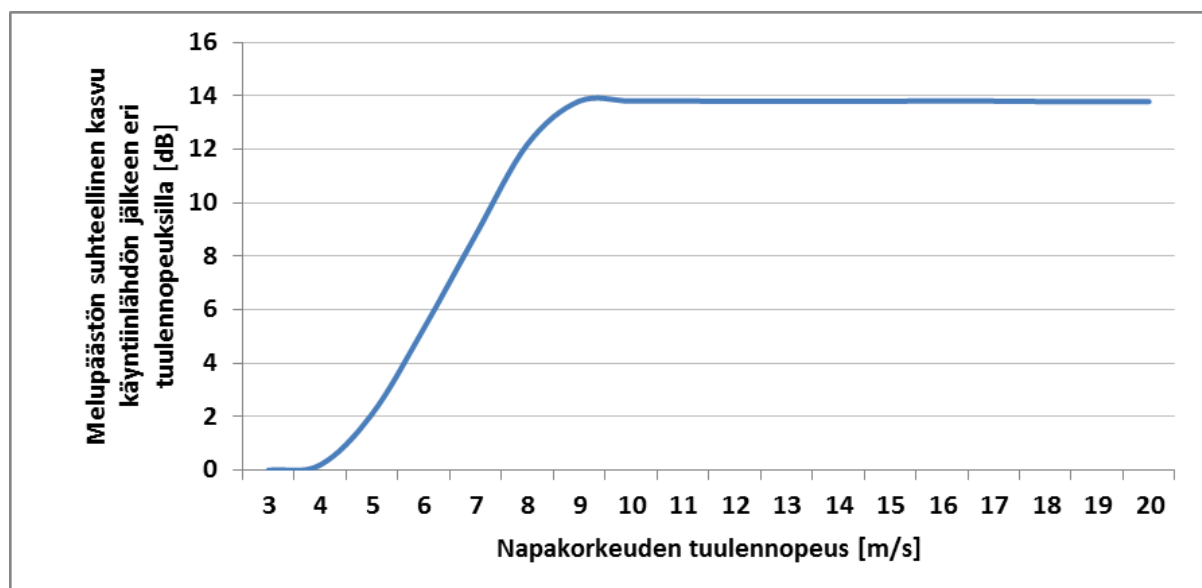
2 Tuulivoimaloiden melu

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 [17].

Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiinlähönnopeutta 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 siipikulmasäättö 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 [16].

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmapirran turbulenssin vaihtelut vuorokauden eri aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla [15]. Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa korkeudella 100 m nopeutta 12 m/s, korkeudella 160 m nopeutta 14 m/s ja korkeudella 200 m nopeutta 15 m/s.

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaadoituksen, 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 verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta L_{WA} sekä varmuusarvosta K , joka vastaa tuulivoimatyyppien 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 suunnitteluohjeistuksiin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhdearvoja.

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

Äänen etenemislaskennassa käytetään ohjeen mukaisia standardiin ISO 9613-2 perustuvia sää- ja ympäristöolosuhdearvoja. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisen äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka parametreja on mukautettu Suomen olosuhteisiin [3]. Laskennassa otetaan huomioon geometrinen etäisyysvaimennus sekä ohjeistuksen mukaiset ilmakehän absorptio ja maastovaikutuksen parametrit. Matalataajuisen äänen tarkastelu tehdään erikseen 1/3-oktaaveittain taajuualueella 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 toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat 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.

Taulukko 3: 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 3) 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 kokonaisten äänitasojen 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 ääneneristykseen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20–200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 6) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisen 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.

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 Siemens Gamesa SG 6.6-155 AM0 taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavasta tuulivoimalavalmistajan dokumentista:

- Acoustic Emission for SG 6.6-155, Rev.0_AM0. Document ID and revision D2311677_006. 2022-11-08.

Koska yllä ilmoitetussa dokumentissa ei ollut saatavilla 1/3 oktaavijakaumaa, selvityksessä käytettiin meluselvitysraportin "FCG, Kämppekankaan tuulivoimahanke, melu- ja varjostusmallinnusraportti 30.5.2023" sivun 6 Kämppekankaan tuulivoimapuiston voimaloille esitettyä 1/3 oktaavijakaumaa. Kyseisen meluselvitysraportin akustiset tiedot perustuvat dokumenttiin:

- SG-F18.16-IN-01318_R01. 2021-11-09.

Dokumenteissa 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."

Tuulivoimalatyyppin SG 6.6-155 AM0 äänitehotaso on 105 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 107 dB(A). Koska mallinuksessa käytetyt oktaavijakaumat ja 1/3 oktaavijakaumat perustuvat eri lähteisiin, niiden datat eivät ole täysin vastaavat. Oktaavijakauma vastaa tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. 1/3 oktaavijakauma puolestaan vastaa tuulennopeutta 8 m/s napakorkeudella. Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudi-modulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksessa.

Tuulivoimalatyyppien 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.

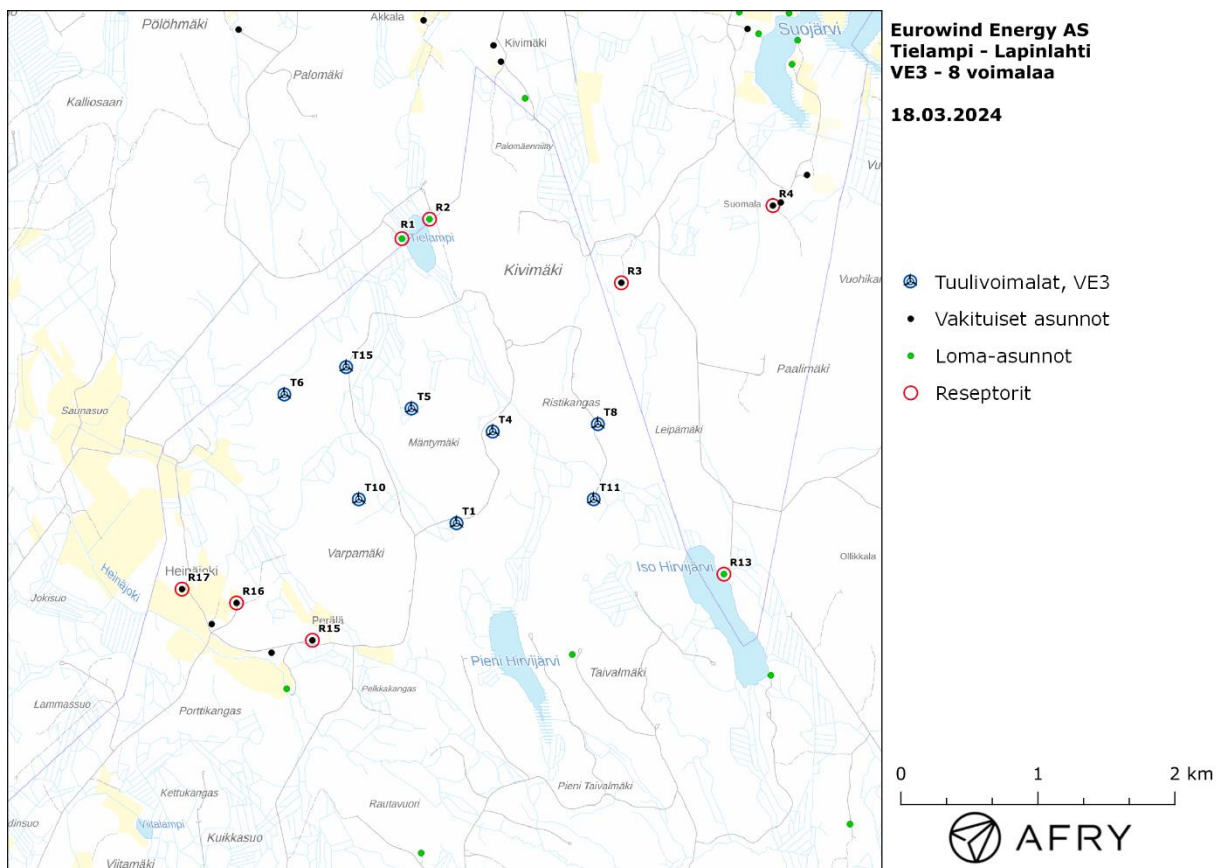
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Maastotietokannan mukaan Tielammen voimaloiden eteläpuolella noin 1 km etäisyydellä sijaitsee loma-asunto. Tätä ei ole kuitenkaan otettu mukaan tämän selvityksen reseptoripisteeksi, koska se sijaitsee noin 200 m etäisyydellä suunnitellusta Iso-Petäjämäen voimalapaikasta. Rakennukseen kohdistuvat vaikutukset aiheutuvat siis pääosin naapurikohteesta eikä Tielammen voimaloista.

Taulukko 4: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Maaston korkeus [m]	Rakennusluokitus
R1	520306	7041879	115	lomarakennus
R2	520508	7042021	116	lomarakennus
R3	521908	7041557	122	vakituinen asuinrakennus
R4	523014	7042120	109	vakituinen asuinrakennus
R13	522656	7039432	140	lomarakennus
R15	519653	7038950	110	vakituinen asuinrakennus
R16	519099	7039222	105	vakituinen asuinrakennus
R17	518701	7039323	106	vakituinen asuinrakennus



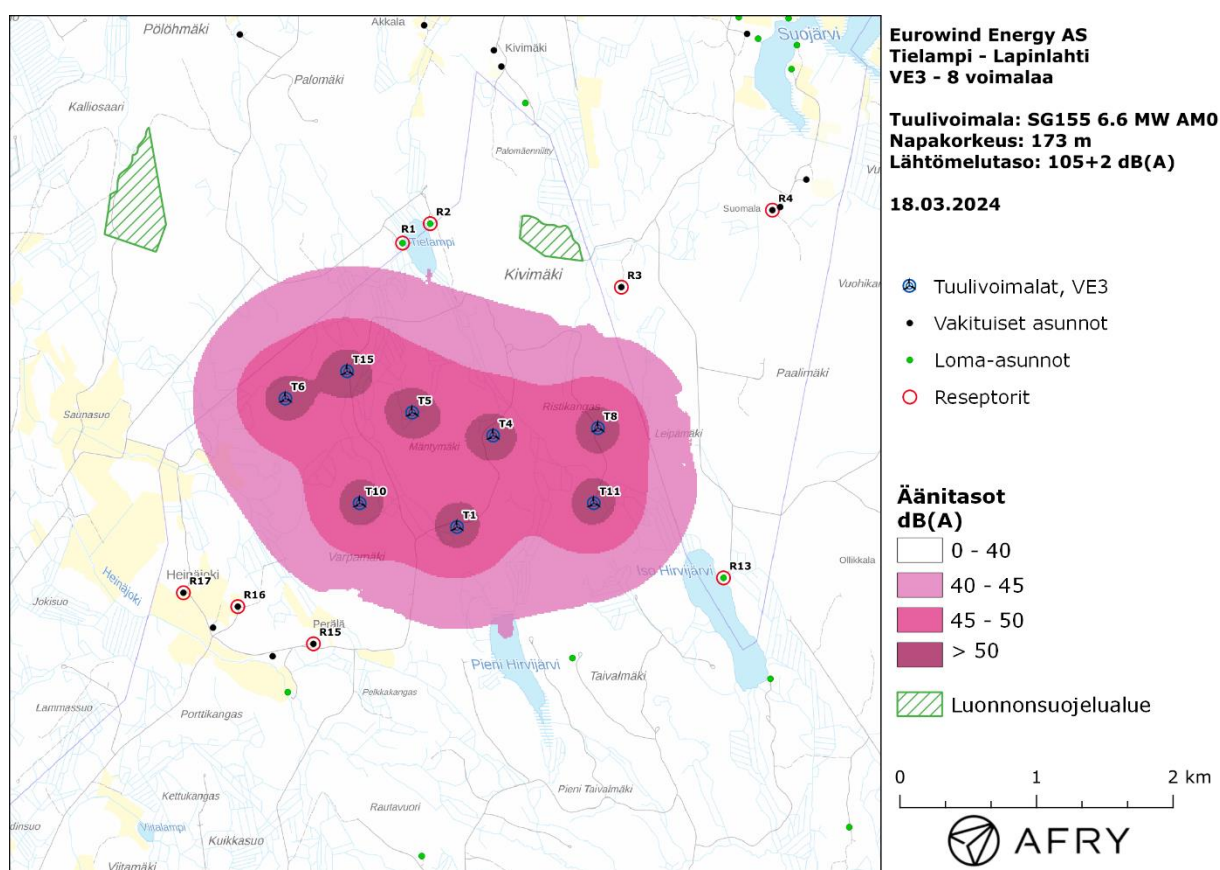
Kuva 3: Reseptoreiden paikat tuulivoimapuiston hankealueella.

Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden 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 eivät ylitä valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvoa alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.

Karttakuvassa on lisäksi esitetty hankkeen ympäristössä sijaitsevat luonnonsuojelualueet. Luonnonsuojelualueisiin sovelletaan virkistysalueiden 45 dB(A) melun ohjearvoa, jos niillä on merkittävää virkistyskäyttöä.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq Tielammen tuulivoimapuiston hankealueella.

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	38,2
R2	37,2
R3	36,9
R4	30,1
R13	36,5
R15	36,6
R16	36,1
R17	34,6

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakaumia 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 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_o) 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 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 6: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

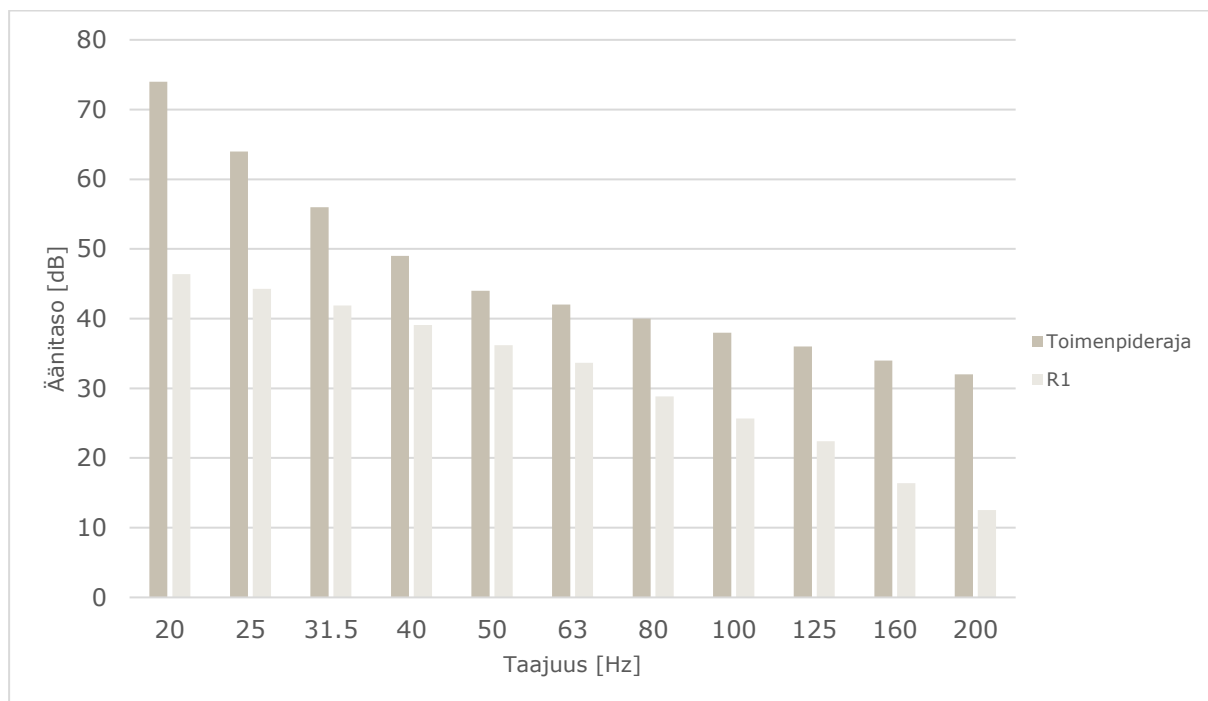
Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden 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 R1, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 5). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

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

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,0	52,6	51,1	49,4	47,7	46,6	43,7	42,5	41,2	37,5	35,3
R2	53,1	51,7	50,2	48,5	46,8	45,7	42,7	41,5	40,3	36,5	34,3
R3	53,2	51,8	50,3	48,6	46,9	45,8	42,8	41,6	40,4	36,6	34,4
R4	48,6	47,1	45,6	43,9	42,1	41,1	38,0	36,7	35,3	31,3	28,9
R13	52,2	50,8	49,3	47,6	45,9	44,9	41,9	40,7	39,4	35,6	33,4
R15	53,1	51,7	50,2	48,5	46,8	45,8	42,8	41,6	40,3	36,6	34,4
R16	52,6	51,2	49,7	47,9	46,2	45,2	42,2	41,0	39,7	36,0	33,7
R17	51,5	50,1	48,6	46,8	45,1	44,1	41,1	39,8	38,5	34,7	32,4



Kuva 5: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R1 kohdalla.

3.3 Melun yhteisvaikutukset

Tässä luvussa arvioidaan Tielammen ja sen eteläpuolelle suunnitellun Iso-Petäjämäen tuulivoimapuiston yhteisvaikutuksia. Iso-Petäjämäen tuulivoimahanketta suunnittelee ABO Wind Oy. Iso-Petäjämäkeen on suunnitteilla 14 voimalaa, ja lähimmät niistä sijaitsevat noin 1,2-1,5 km etäisyydellä Tielammen voimaloista. Iso-Petäjämäen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukossa 8.

Taulukko 8: Iso-Petäjämäen (14 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimaloiden paikalla.

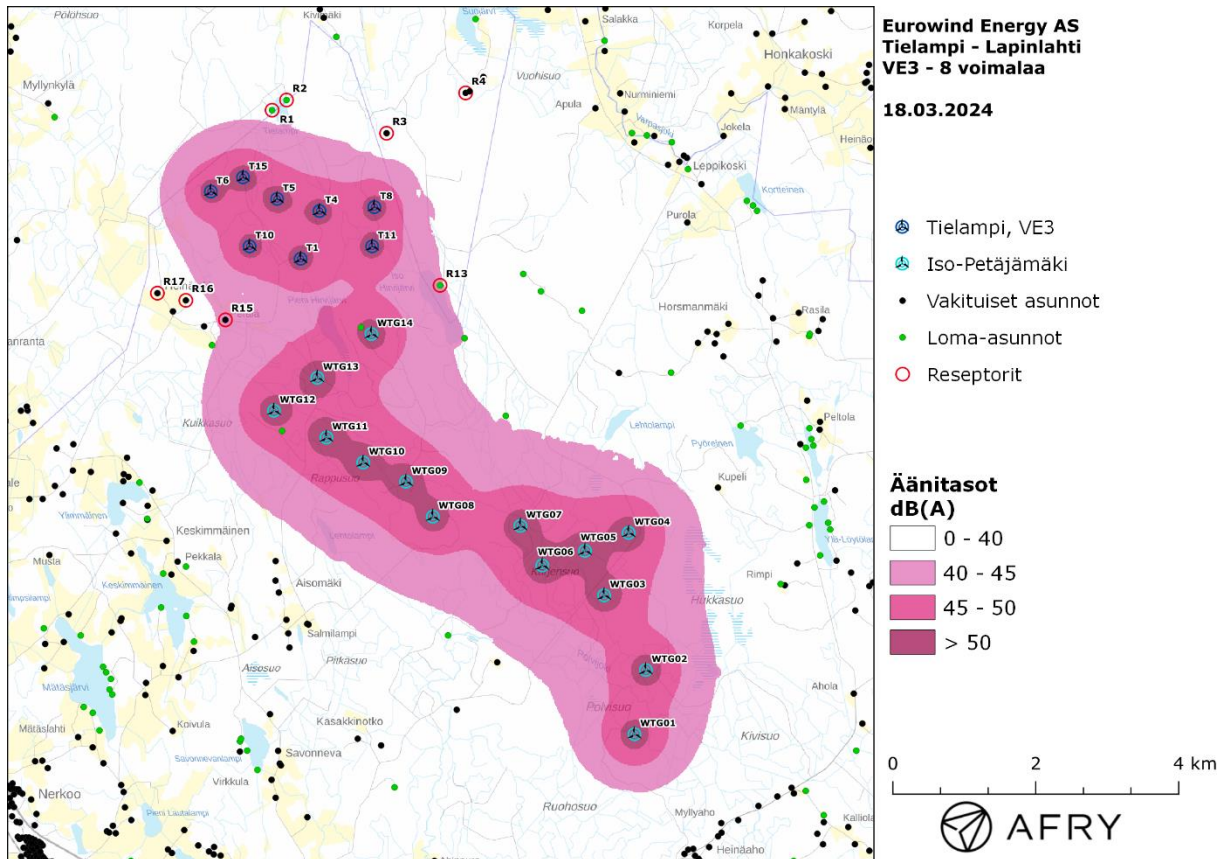
Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
WTG01	525375	7033164	152
WTG02	525535	7034061	140
WTG03	524951	7035104	149
WTG04	525295	7035976	161
WTG05	524684	7035725	152
WTG06	524085	7035522	144
WTG07	523780	7036074	138
WTG08	522554	7036203	174
WTG09	522178	7036690	130
WTG10	521580	7036959	130
WTG11	521065	7037308	130
WTG12	520331	7037683	144
WTG13	520937	7038142	122
WTG14	521694	7038754	180

Melumallinnuksissa Iso-Petäjämäen voimaloille on käytetty napakorkeutta 200 m ja tuulivoimalatyyppiä Vestas V172 7.2 MW PO7200. Tämän tuulivoimalatyyppin äänitehotaso on 106,9 dB(A), johon on lisätty 2 dB:n varmuusarvo, joten mallinnuksissa on käytetty äänitehotasoa 108,9 dB(A). Tätä äänitehotasoa voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Melun taajuusjakaumat on saatu seuraavasta tuulivoimalavalmistajan dokumentista:

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

Melun yhteisvaikutusten mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 6). Keskiäänitasot reseptoreiden kohdilla on lueteltu taulukossa 9. Mallinnusten perusteella melun yhteisvaikutukset ylittävät 40 dB(A):n ohjearvon kahden reseptorin kohdalla. Karttakuvasta nähdään, että melutasot ylittävät ohjearvon myös muiden asuin- ja lomarakennusten kohdalla kuin pelkästään tarkastelussa olleiden reseptoreiden kohdalla. Kartan rakennustieto on peräisin Maanmittauslaitoksen maastotietokannasta, eivätkä asuntojen tiedot ole välttämättä aina ajan tasalla.

Yhteisvaikutusten matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa 10. Korkeimmat melutasot saavutetaan reseptorin R15 kohdalla, jonka kohdalla laskettuja sisämelutasoja on verrattu asumisterveysasetuksen arvoihin kuvassa (Kuva 7). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.



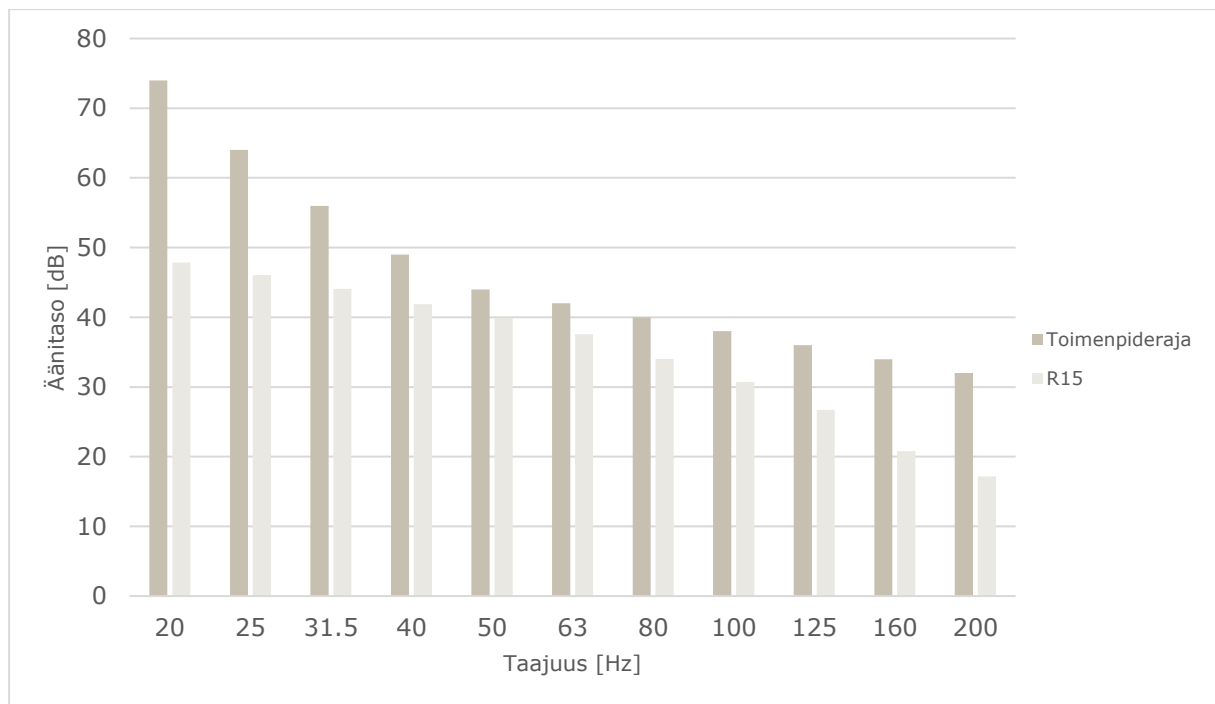
Kuva 6: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnoissa huomioidaan Tielammen suunnitelma VE3 ja Iso-Petäjämäen voimalat.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinnoissa huomioidaan Tielammen suunnitelma VE3 ja Iso-Petäjämäen voimalat.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	38,7
R2	37,8
R3	37,5
R4	31,8
R13	40,7
R15	40,5
R16	38,6
R17	37,0

Taulukko 10: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Tielammen suunnitelma VE3 ja Iso-Petäjämäen voimalat.

taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	54,6	53,3	51,9	50,4	49,1	48,1	45,6	44,3	42,6	38,8	36,6
R2	53,8	52,5	51,1	49,7	48,4	47,4	45,0	43,6	41,9	38,0	35,7
R3	54,1	52,8	51,5	50,1	48,9	47,9	45,6	44,2	42,5	38,6	36,4
R4	50,3	49,1	47,9	46,7	45,7	44,8	42,7	41,2	39,0	34,9	32,4
R13	55,0	54,0	52,9	51,9	51,2	50,4	48,7	47,4	45,4	41,7	39,8
R15	55,5	54,4	53,3	52,2	51,4	50,6	48,8	47,5	45,5	41,9	40,0
R16	54,3	53,1	52,0	50,8	49,8	49,0	47,0	45,7	43,7	40,0	37,9
R17	53,2	52,0	50,9	49,6	48,7	47,8	45,9	44,5	42,5	38,7	36,5



Kuva 7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R15 kohdalla, kun mallinuksissa huomioidaan Tielammen suunnitelma VE3 sekä Iso-Petäjämäen voimalat.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Lapinlahden kuntaan suunnitellun Tielammen tuulivoimapuiston ympäristölle aiheuttaman meluvaikutuksen laskennallinen arvio. Arviointi on tehty kahdeksan voimalan toteutusvaihtoehdolle VE3. Selvityksessä on arvioitu myös melun yhteisvaikutuksia Tielammen viereen suunnitellun Iso-Petäjämäen tuulivoimapuiston kanssa.

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

Melun yhteisvaikutusten mallinnusten perusteella, yhteisvaikutukset ylittävät 40 dB(A):n ohjearvon useamman loma- ja asuinrakennuksen kohdalla. Jotta melun yhteisvaikutukset saadaan alle ohjearvon, tulee joko yhden tai molempien tuulivoimapuistojen voimalasijoitteluun, -määrään tai -malliin tehdä muutoksia.

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] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [17] S. Oerlemans, J.G. Schepers: Prediction of wind turbine noise directivity and swish, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, 2009.

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste:				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 20.03.2024			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuhenkilöt: 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: Siemens Gamesa				Tyyppi: SG 6.6-155		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 6.6 MW		Napakorkeus: 173 m		Roottorin halkaisija: 155 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							
Oktaavijakauman tiedot perustuvat dokumenttiin: Acoustic Emission for SG 6.6-155, Rev.0_AM0. Document ID and revision D2311677_006. 2022-11-08.							
1/3 oktaavijakauman tiedot perustuvat meluselvitysraportin "FCG, Kämpäkankaan tuulivoimahanke, melu- ja varjostusmallinnusraportti 30.5.2023" sivun 6 Kämpäkankaan tuulivoimapuiston voimaloille esitettyyn 1/3-oktaavijakaumaan.							
Meluselvitysraportin "FCG, Kämpäkankaan tuulivoimahanke, melu- ja varjostusmallinnusraportti 30.5.2023" sivun 6 akustiset tiedot perustuvat dokumenttiin: SG-F18.16-IN-01318_R01, 2021-11-09.							
Alla esitettyihin arvoihin on lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	63,7	200	91,4	2000	97,0
63	88,1	25	68,1	250	94,2	2500	94,4
125	94,3	31,5	72,1	315	95,2	3150	92,2
250	99,3	40	75,6	400	95,5	4000	89,0
500	99,6	50	78,5	500	96,3	5000	84,6
1000	101,3	63	82,0	630	96,5	6300	78,3
2000	100,9	80	83,5	800	95,3	8000	72,4
4000	95,0	100	86,4	1000	96,2	10000	62,5
8000	78,1	125	89,5	1250	96,3		
		160	90,8	1600	96,9		

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: 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	54,0	52,6	51,1	49,4	47,7	46,6	43,7	42,5	41,2	37,5	35,3
R2	53,1	51,7	50,2	48,5	46,8	45,7	42,7	41,5	40,3	36,5	34,3
R3	53,2	51,8	50,3	48,6	46,9	45,8	42,8	41,6	40,4	36,6	34,4
R4	48,6	47,1	45,6	43,9	42,1	41,1	38,0	36,7	35,3	31,3	28,9
R13	52,2	50,8	49,3	47,6	45,9	44,9	41,9	40,7	39,4	35,6	33,4
R15	53,1	51,7	50,2	48,5	46,8	45,8	42,8	41,6	40,3	36,6	34,4
R16	52,6	51,2	49,7	47,9	46,2	45,2	42,2	41,0	39,7	36,0	33,7
R17	51,5	50,1	48,6	46,8	45,1	44,1	41,1	39,8	38,5	34,7	32,4