

Kivijärvi tuulivoimahanke, Laitila

Melumallinnus



Miikka Saranpää
23.03.2026

Sisällys

1.	Tavoite ja hankekuvaus	3
2.	Tuulivoimamelu	3
2.1	Tuulivoimamelun muodostuminen	3
2.2	Melun mallintaminen	4
2.2.1	Melumallinnus	4
2.2.2	Matalataajuinen melu	6
2.3	Raja- ja ohjearvot	6
2.3.1	Ulkomelu	6
2.3.2	Sisämelu	7
3.	Melumallinnuksen tulokset	7
3.1	Nykytila	7
3.2	Rakentamisen aikaiset meluvaikutukset	7
3.3	Tuulivoimaloiden käytön aikainen melu	8
3.4	Melun laskentatulokset (ISO 9613-2)	11
3.5	Matalataajuiset melutasot	12
3.6	Lieventävät toimenpiteet ja Natura-alue	14
4.	Viittaukset	16

1. Tavoite ja hankekuvaus

Axpo Renewable Finland Oy suunnittelee Kivijärven tuulivoimahanketta Laitilan kaupungin alueelle. Selvityksessä arvioidaan Kivijärven tuulivoimahankkeen kolmen suunnitellun tuulivoimalan aiheuttamaa melua voimaloiden äänenpainetasoista ympäristöministeriön ohjeistaman mallinnusmenetelmän mukaisesti, käyttämällä WindPRO mallinnusohjelmaa ISO 9613-2 standardin mukaisesti. Mallinnustuloksista selviää tuulivoimaloiden laskennallisten melutasojen vyöhykkeet 5 dB(A) välein tuulivoimaloiden ympärillä sekä melutasot tuulivoimaloita lähimpänä olevien asuin- ja vapaa-ajan rakennusennusten ulkopuolella sekä matalataajuiset melutasot rakennusten sisällä. Mallinnettuja melutasoja verrataan valtioneuvoston asetuksen 1107/2015 [2] antamiin ulkomelun ohjearvoihin sekä sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen 545/2015 [3] mukaisiin matalataajuisen melun toimenpiderajoihin asuinhuoneistoissa. Asuinhuoneistojen sisälle pääsevät äänitasot mallinnettiin hyödyntämällä Turun AMK:n julkaiseman Anojanssi-projektin saamien tulosten mukaisilla äänieristävyysarvoilla [4].

Kivijärven hankkeen meluselvitys on laadittu kaavoitus ja ympäristöselvitysvaiheen voimaloiden sijoitussuunnitelman mukaisesti (Taulukko 1) voimalamallilla V172-7.2MW, jonka napakorkeus on 199 metriä ja roottorin halkaisija 172 metriä. Voimalamallin siivissä on ääntä vaimentava sahalaitaprofiili (STE) ja voimalavalmistaja on ilmoittanut voimalamallin lähtömelutasoksi 107.8 dB(A). Lähtömelutasoon on lisätty 2 dB(A) varmuusarvo. Näin varmistetaan ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen takuuarvo tuulivoimalamallin lähtömelutasolle [5]. Meluselvitystä täydentää lievennystoimenpiteiden mukainen melumallinnus, minkä tarkoituksena on esittää lieventävien toimenpiteiden jälkeinen meluvaikutus läheiselle Iso-Höln Natura-alueelle. Lieventävinä toimenpiteinä on käytetty hiljaisempaa voimalaa sekä voimalasijoittelua on muutettu kaavoitettavan tuulivoimala-alueen sallimissa rajoissa.

Melumallinnuksen on laatinut insinööri (AMK) Miikka Saranpää Axpo Renewable Finland Oy:stä. Laaduntarkistus on toteutettu WSP Finland Oy:n Akustiikka ja ympäristömelutiimin Sirpa Lappalaisen, Ilkka Niskasen ja Ville-Veikko Kyllösen toimesta.

Taulukko 1. Kivijärven hankkeen suunniteltujen tuulivoimaloiden sijainnit koordinaattijärjestelmässä ETRS-TM35FIN, sekä maaston korkeus voimalan kohdalla.

Voimala	ETRS89-TM35 Itä (E)	ETRS89-TM35 Pohjoinen (N)	Z (m)
1	224706	6767771	40,8
2	225398	6767798	47,5
3	224082	6767236	41,8

2. Tuulivoimamelu

2.1 Tuulivoimamelun muodostuminen

Tuulivoimalasta syntyvä melu muodostuu roottorissa olevien lapojen liikkeestä (aerodynaamisista ääntä) sekä koneistossa liikkuvien osien aiheuttamista mekaanisista äänistä. Meluvaikutuksiltaan merkittävämpänä näistä on lapojen liikkeestä muodostuva aerodynaaminen melu, mikä voimistuu pyörimisnopeuden kasvaessa. Yleensä myös roottorikoon kasvaessa, kasvaa myös tuulivoimalan meluvaikutus. Tuulivoimalasta lähtevä ääni on jaksoittaista roottorin pyörimisen vuoksi. Tuulivoimaloiden lukumäärä ja etäisyydet toisiinsa sekä alueen tuulennopeus ja roottorin pyörimisnopeus määrittävät niistä lähtevät äänen ominaisuudet, kuten voimakkuuden, jaksottaisen vaihtelun sekä taajuuden. A-painottuneella taajuusjakaumalla tuulivoimamelu syntyy pääsääntöisesti 20–10000 Hz alueella. [1] Impulssimainen melu on

pääsääntöisesti aerodynaamista ja sitä syntyy, kun roottorin lapa kulkee tornin ohitse, ja tällainen ääni korostuu erityisesti matalilla taajuuksilla [22]. Etäisyyden kasvaessa impulssimaisuuden erottuvuus usein heikkenee, koska etenemisen ja vaimenemisen jälkeen immissiopisteessä jäljelle jäävä ääni voi peittyä taustameluun [23].

Yleisesti tuulivoimalan äänitaso on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen, eli tuulennopeuden kasvaessa äänitaso kasvaa, koska aerodynaaminen melu syntyy siipien liikkeessä ilmakerroksen läpi. Tuulivoimalasta lähtevä ääni on kuitenkin voimakkaimmillaan vähän ennen nimellistehon tuotantoa. Kun voimala lähestyy nimellistehoaan, sen ohjausjärjestelmä rajoittaa pyörimisnopeutta ja/tai säätää siipien lapakulmaa, mikä vähentää äänitasa, vaikka teho kasvaisi. Tällä hetkellä uusimpien maatuulivoimala mallien nimellisteho saavutetaan napakorkeuden tuulennopeudella 12 m/s. Tuulivoimalan siipikulmaa muuntamalla estetään roottoria pyörimästä nimellistehoa kovempaa, vaikka tuulennopeus kasvaisi.

Alueella vallitsevat olosuhteet määrittävät tuulivoimalasta lähtevän äänen etenemisen. Merkittävimmät tekijät äänen leviämiseen ovat tuuliolosuhteet sekä ilman lämpötila. Muita vaikuttavia olosuhteita ovat maanpinnan korkeuserot ja maaston karheus, kuten kasvillisuus ja vesialueet. Ääni etenee vesialueilla pidemmälle, koska veden pinnan karheus on kova ja akustisesti ääntä hylkivä, toisin kuin maastossa, missä kasvillisuus ja pehmeä maa absorboivat ääntä itseensä. [1][8]

Ympäristöstä tulevaa, tuulivoimaloiden ääntä peittävää taustamelua aiheuttavat muun muassa tuulen humina sekä tuulen aikaansaama aaltojen ja lehtien kohina. Esimerkiksi puuston lehtikohinan äänitaso voi olla voimakkaimmillaan jopa yli 60 desibeliä 1,5 metrin korkeudelta mitattuna. Äänitaso riippuu kuitenkin täysin tuulen nopeudesta ja suunnasta, puulajista sekä vuodenajasta. Lisäksi taustamelua syntyy liikenteestä ja teollisuudesta. [6]

Tuulivoimaloiden ääntä voidaan vaimentaa lapojen takareunaan asennettavalla sahalaitakuviolla (serrated trailing edge). Lajojen takareunan sahalaidoitus on nykyajan voimalamalleissa yleinen keino vähentää turbulenttisen rajakerroksen melua lavan takareunassa. Sekoittamalla ilmavirtauksia vähennetään turbulenssia, jolloin myös aerodynaamista melua syntyy vähemmän [7]. Sahalaidan muotoa kehitetään jatkuvasti, koska sen ääntä vaimentavat vaikutukset ovat merkittäviä. Lähtömelun äänitasa voidaan vähentää jopa 3 dB(A), ilman että voimalan tehontuotanto kärsii. Tuulivoimaloista lähtevää ääntä voidaan säätää myös operointimoodien avulla, joita kutsutaan melumoodiksi. Operointimoodien käyttöä voidaan tarvittaessa valvoa kellonajan, päivämäärän sekä tuulusuus olosuhteiden mukaisesti. [9]

2.2 Melun mallintaminen

2.2.1 Melumallinnus

Melumallinnus tehdään ympäristöministeriön julkaiseman *tuulivoimaloiden melun mallintamiseen tarkoitetun ohjeen 2/2014* mukaisesti, käyttämällä ISO 9613-2 standardin [12] laskentaparametrejä ja WindPRO mallinnusohjelmistoa [Taulukko 2]. Mallinnustuloksista voidaan arvioida tuulivoimalan tuottama melutaso yksittäisessä laskentapisteessä ja tulokset esitetään ohjeen antamalla tavalla. Mallinnus tehdään tuulivoimalaitosten ympärille pistelähteenä jokaiseen ilmansuuntaan, eikä mallinnus huomioi tuulensuuntaa. Äänen eteneminen lasketaan vapaaseen avaruuteen, jolloin etäisyyden kaksikertaistuessa äänen geometrinen vaimennus on 6 dB. Melutaso (meluimmissio) esitetään A-painotettuna äänenpainetasona (äänitaso) ja tarvittaessa myös taajuuskaistoittain. [10]

Ympäristöministeriön julkaiseman mallinnusohjeistuksen mukaan melupäästön (äänitehotaso) lähtöarvoina tulisi käyttää valmistajalta saatuja IEC TS 61400-14 standardin mukaisesti ilmoitettamia takuarvoja ("declared value" tai "warranted level"). Tällöin takuarvot ovat myös

standardin IEC 61400-11 mukaisesti mittaamalla määritellyjä. Takuuarvossa melupäästön varmuus mahdollisessa verifiointissa on 95 % ja melupäästön arvo muodostuu äänitehotasojen keskiarvosta ja varmuusarvosta. Melupäästössä esiintyvä impulssimaisuus ja merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio) sisältyvät lähtökohtaisesti valmistajan ilmoittamiin melupäästön takuuarvoihin, joten niiden tarkastelua ei edellytetä tässä yhteydessä. [10] Mikäli tuulivoimalan tiedetään sisältävän kuulohavainnolla erottuvaa ja ohjeistuksen mukaisesti todettavia kapeakaistaisia / tonaalisia komponentteja, melulle altistuvalla alueella, voidaan laskennan lähtöarvoihin lisätä sanktio. Sanktion lisääminen edellyttää kapeakaistaisuuden arviointiin käytettävän ympäristöministeriön melupäästön mittausohjeen mukaisen arvioinnin [11], muutoin sanktiota ei sovelleta melumallinnuksessa. Äänitehotasot ilmoitetaan 20 Hz-10 000 Hz keskitaajuuksille 1/3-oktaavikaistalla ja oktaaveittain keskitaajuuksilla 31,5 Hz-8000 Hz. Laskennassa käytetään tuulen nopeuden referenssiarvoon perustuvia melupäästön lähtöarvoja, mitkä ovat tuulivoimalan nimellisteholla tuottamia enimmäismelupäästöjä. Tuulen nopeuden referenssiarvo on 8 m/s 10 metrin korkeudessa, joten äänitehotasojen on oltava saatavilla 10 metrin referenssikorkeutta vastaavalla tuulen nopeudella 8 m/s. Mittauksissa tuulen nopeuden referenssiarvo vastaa tuulivoimalan napakorkeudella vallitsevaa tuulen nopeutta, joka tuottaa nimellisteholla suurimman melupäästön. Melupäästön takuuarvoon on sisällytetty mallinnuksen epävarmuus, jolloin voidaan käyttää ISO 9613-2 standardin mukaisia sää- ja ympäristöolosuhteiden arvoja äänen etenemisen laskennassa. Täten erillistä epävarmuusarviota ei tarvitse tehdä mallinnustulosten oikeellisuutta todentavilla mittauksilla. [10]

Mallinnuksen huomioima ilmankäytön absorboiva vaikutus lasketaan lämpötilan arvolla 15 °C, ilman kosteudella 70 % sekä ilmanpaineella 101,325 kPa, lukuarvot ovat ISO 9613-1 [13] standardin mukaiset. Melumallinnuksessa laskentapisteen (esim. rakennukset) ovat 4 metrin korkeudella maanpinnasta. Tällä kompensoidaan peitteisen maaston vaikutusta, mitä ISO 9613-2 [12] mallinnus ei huomioi. Maan- ja vedenpinnan absorboivaan ja heijastavaan vaikutukseen käytetään ISO 9613-2 standardin yleisen menetelmän vakioituja vaikutuskertoimia, missä maa-alueella kerroin on 0,4 ja vesialueella (meri, järvet, lammet) 0. Mallinnuksessa sääolosuhteiden vaikutukseen käytetään meteorologisen korjauksen arvoa 0. Käytettävä maaston topografia kuuluu ensisijaisesti perustua laserkeilausaineistoon, jossa vaakaresoluution lukuarvona käytetään 1,0 m ja pystyresoluutiona lukuarvoa 2,5 m, tai tarkimpaan käytettävissä olevaan resoluutioon. [10] Mallinnuksessa topografiana on käytetty maanmittauslaitoksen korkeusmalliainestoa, joka on johdettu maanmittauslaitoksen laserkeilatuista aineistosta.

Taulukko 2. ISO 9613-2 laskennassa käytetyt mallinnusparametrit.

AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT		
Laskenta korkeus	Laskentaruudon koko [m·m]	
4,0 m	10x10m	
Suhteellinen kosteus	Lämpötila	
70 %	15 C°	
Maastomallin lähde ja tarkkuus		
Maastomallin lähde: MML maastotietokanta	Vaakaresoluutio:2,0 m	Pystyresoluutio:0,3 m
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet		
ISO 9613-2	Vesialueet, (0)	Maa-alueet, (0,4)
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus		
Neutraali, (0): Neutraali	Muu, mikä ja miksi:	
Sääolosuhteiden huomiointi; laskennassa käytetty tuulen suunnat ja nopeus		
Tuulen suunta: 0-360°	Tuulen nopeus: 10 metrin korkeudella mitattuna 8 m/s	
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen		
Vapaa avaruus: kyllä	Muu, mikä, miksi:	

2.2.2 Matalataajuinen melu

Matalataajuiset melutasot lasketaan 20 Hz–200 Hz taajuusalueelta 1/3-oktaavikaistoittain lähimpien laskentapisteiden (rakennusten) ulkopuolella, soveltamalla Tanskan ympäristöministeriön ohjetta [14] ja ISO 9613-2 [12] standardia. Laskenta suoritetaan pisteestä pisteeseen menetelmällä, eikä melukartoilla esitettäviä äänitasovyöhykkeitä edellytetä esitettäväksi. Laskennan tarkoituksena on antaa ulkomelutasot terssikaistoittain, joista voidaan laskemalla arvioida rakennuksen sisämelutaso, kun tiedetään rakennuksen ilmaääneneristävyyden riittävällä tarkkuudella [10]. Tulokset on esitetty taajuuskohtaisena taulukkona sekä kaaviona hankealueella ympäröiville lähimmille asuin- ja lomarakennuksille.

Rakennusten sisälle kulkevaa äänitasoa arvioitiin Turun AMK:n julkistaman Anojanssi-projektin loppuraportin mukaisilla ääneneristävyyssarvo tuloksilla, joita verrataan STM asetuksen (545/2015) toimenpiderajoihin. Anojanssi-projektin tavoite oli selvittää eri pientalojen julkisivuäänieristävyyttä matalilla äänitaajuuksilla. Menetelmässä valittiin 13 pientaloa ja 26 julkisivurakennetta, jotka sisälsivät kevyitä, raskaita, ja uusia ja vanhoja julkisivurakenteita. Ilmaäänieristävyyden mitattiin ISO 16283-3:2016 standardin mukaan ja tuloksista johdettiin 84 % persentiili. Tulosten äänitasoero persentiili (DL_G) (Taulukko 3) on tilastollinen arvo, jossa mittaus-
tusten ylitys tapahtuu 84 % suomalaisissa pientaloissa. Tuloksia voidaan käyttää ympäristömelun arvioimisessa sisätiloihin, kun äänenpainetaso tunnetaan rakennuksen ulkopuolella. Tuloksilla on korvattu Suomessa aikaisemmin käytetyt tanskalaiset arvot. [4]

Taulukko 3. Suomalaisen pientalon julkisivun äänitasoeron alalikiarvot taajuusalueella 20–200 Hz.

f [Hz]	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
DL_G [dB]	7.6	8.3	9.2	10.3	11.5	13.0	14.8	16.8	18.8	21.1	22.8

2.3 Raja- ja ohjearvot

2.3.1 Ulkomelu

Valtioneuvoston tuulivoimamelua koskevassa asetuksessa (1107/2015) määritellään tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvot, joiden tarkoituksena on ehkäistä voimaloiden melusta aiheutuvia haittoja. Tämä asetus korvaa valtioneuvoston aiemman päätöksen melutasojen ohjearvoista (993/1992). [2]

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjearvot (Taulukko 4) määritetään A-taajuuspainotettuna keskiäänitasona (LA_{eq}) erikseen päivä- ja yöajalle. Kyse ei ole hetkellisistä enimmäisäänitasoista. Päiväajan (klo 7–22) 15 tunnin keskimääräisen ulkomelutason (LA_{eq}) tulee pysyä annetun päiväajan ohjearvon mukaisena. Vastaavasti yöajan (klo 22–7) 9 tunnin keskimääräisen ulkomelutason (LA_{eq}) tulee pysyä annetun yöajan ohjearvon mukaisena.

Taulukko 4. Tuulivoimameluasetuksessa säädetyt tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvot.

Vaikutuskohde	ulkomelutaso LA_{eq} päivällä klo 7–22	ulkomelutaso LA_{eq} yöllä klo 22–7
Pysyvä asutus	45 dB	40 dB
Loma-asutus	45 dB	40 dB
Hoitolaitokset	45 dB	40 dB
Oppilaitokset	45 dB	-
Virkistysalueet	45 dB	-
Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

2.3.2 Sisämelu

Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asuimeluterveysasetuksessa (545/2015) määritellään 20–200 Hz matalataajuiselle melulle yöaikaiset toimenpiderajat sisätiloille, jotka ovat tarkoitettu nukkumiseen. Asetuksessa toimenpiderajat esitetään (Taulukko 5) terssikaistoittain ilman painotusta yhden tunnin keskiäänitasoille (LZeq,1h). Päiväajan (klo 7–22) matalataajuiselle melulle sovelletaan 5 dB suurempia arvoja. [3]

STM asetuksessa (545/2015) määritellään toimenpiderajat myös päivä- ja yöajan kokonaismelutasoille asuin- tai muun oleskelutilan sisätiloihin siten, että päiväajan keskiääntaso LAeq (klo 7–22) ei saa ylittää 35 dB ja vastaavasti yöajan keskiäänitaso LAeq (klo 22–7) ei saa ylittää 30 dB. Myös yöaikainen (klo 22–7) musiikkimelu tai muu vastaava melu, joka voi aiheuttaa unihäiriöitä ja erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona (LAeq,1h) mitattuna tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen [3]. Ympäristöministeriö ei ohjeista kokonaismelutasojen laskemista sisätiloihin. Voidaan kuitenkin pitää selvänä sitä, että kokonaismelun keskiäänitasot pysyvät asetuksen toimenpiderajojen sisäpuolella, kun matalataajuiset keskiäänitasot ovat asetuksen antamien rajojen sisäpuolella.

Taulukko 5. Matalataajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpiderajat yöajalle (klo 22–7) nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa.

Terssikaista (Hz)	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
Keskiäänitaso LZeq, 1h, dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32
Keskiäänitaso A-painotettuna LAeq,1h, dB	23.5	19.3	16.6	14.4	13.8	15.8	17.5	18.9	19.9	20.6	21.1

3. Melumallinnuksen tulokset

3.1 Nykytila

Kivijärven tuulivoimapuiston alue on pääasiassa metsätaloustaloudessa olevaa aluetta. Alueen äänimaisema vastaa tämänkaltaiselle ympäristölle tyypillistä kokonaisuutta, jota hallitsevat luonnonäänet, kuten tuulen suhina ja linnuston äänet. Näiden ohella äänimaisemaa täydentävät ajoittaiset metsätaloustaloustalonnasta sekä liikenteestä peräisin olevat äänet. Suomalaisessa talousmetsässä tyypillinen taustamelutaso on luokkaa noin 35–50 dB(A) yhden tunnin ekvivalenttitasona (LAeq,1h). Metsäisillä alueilla taustatason alaraja on käytännössä noin 30–35 dB(A), sillä tuulen aiheuttama lehtien ja havujen havina muodostaa laajakaistaisen pohjäänen, johon lisääntyy kaukoliikenne ympäröiviltä teiltä [15]. Eteläisemmässä Suomessa tiheä tieverkosto tarkoittaa, että täysin liikenteestä vapaat talousmetsäalueet ovat harvinaisia, ja monilla kohteilla päiväajan taustataso kohoaa lähemmäs 40–50 dB(A) etenkin lehvätuulen, moottorikelkkajen tai metsäkoneiden aiheuttamien äänihuippujen myötä [16]. Alle 35 dB(A):n tasoja voidaan saavuttaa lähinnä pohjoisempien, harvaan asuttujen talousmetsäalueiden rauhallisimpina öinä, kun tuuli on työntä ja lähimmät tiet ovat hiljaisia [17].

Alueella ja sen läheisyydessä ei ole ennestään tuulivoimaloita. Näin ollen nykytilanteessa ei esiinny tuulivoimaloiden aiheuttamaa melua.

3.2 Rakentamisen aikaiset meluvaikutukset

Tuulivoimapuiston rakentamisen aikana melua aiheutuu erityisesti maansiirtotöihin käytettävistä koneista, nostureista ja muista nostolaitteista, ajoneuvoliikenteestä sekä erilaisista rakennus- ja asennustyöistä. Rakennustyömaan melu on luonteeltaan pääosin impulssimaista ja

paikallisesti esiintyvää. Melua syntyy pääasiassa päiväaikaan, jolloin rakentamistoiminnot ovat aktiivisimmillaan.

Merkittävimmät melulähteet rakentamisvaiheessa liittyvät tiestön ja perustusten rakentamiseen. Rakennustöihin liittyvä lisääntynyt raskas ajoneuvoliikenne voi paikoin lisätä olemassa olevan tieverkon, erityisesti valtatie, melutasoja lievästi.

Rakentamisen kokonaiskesto on kuitenkin lyhyt verrattuna tuulivoimaloiden elinkaareen, minkä vuoksi rakentamisen aikaiset meluvaikutukset ovat luonteeltaan tilapäisiä ja ajallisesti rajattuja. Rakentamisen päätyttyä alueen äänimaisema palautuu pääosin ennalleen, lukuun ottamatta tuulivoimaloiden käytön aikana syntyvää toiminnallista melua.

3.3 Tuulivoimaloiden käytön aikainen melu

Kivijärven tuulivoimahankkeen meluselvitys on laadittu kolmelle voimalalle. Meluselvityksen mallinnuksessa on käytetty V172-7.2MW voimalamallia, jonka napakorkeus on 199 metriä ja roottorin halkaisija 172 metriä. Voimalamallin siivissä on ääntä vaimentava sahalaitaprofiili (STE – serrated trailing edge). Voimalavalmistaja on ilmoittanut lähtömelu dokumentilla (*Third octave noise emission EnVentusTM V172 Document no. 0128-4336_01*) voimalamallin lähtömelutasoksi 107.8 dB(A), missä taajuusjakauman lähtömelut perustuvat standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. Lähtömelutasoon on lisätty 2 dB(A) varmuusarvo, koska tuulivoimalan takuuarvoa ei tässä yhteydessä ilmoiteta standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti. (Taulukko 6). Näin varmistetaan ympäristöministeriön lisäohjeistuksen mukainen takuuarvo tuulivoimalamallin lähtömelutasolle [5].

Taulukko 6. Kivijärven tuulivoimahankkeen mallinnustiedot ja äänitehotasot voimalaitokselle V172-7.2 MW

MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: windPRO 4.2, 4.2.264				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIALIDEN TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 – 7,2 MW		Sarjanumero:	
Nimellisteho: 7,2 MW		Napakorkeus: 199 m		Roottorinhalkasija: 172 m		Tornin tyyppi: teräs/hybridi	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun:							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus			Muu, mikä: Mode PO7200 (STE)		
Kyllä	dB	Kyllä	dB	Noise mode:		Kyllä	
Ei	Ei tie-dossa	Ei	Ei tiedossa	Lähtömelutaso		107.8 + 2 dB(A)	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNA LÄHTÖTIEDOT							
Melupäästötiedot: Valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot: Third octave noise emission EnVentus™ V172 Document no. 0128-4336_01							
Mallinuksissa käytetty taajuusjakauma vastaa tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 199 m, joka laskettuna vastaa melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.							
Lähtömelutasoon on lisätty 2 dB varmuusarvo ympäristöministeriön ohjeistaman takuuarvon saamiseksi.							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5	-	20	64,7	200	97,7	2000	97,2
62,5	91,8	25	69,9	250	99,2	2500	96,6
125	98,8	31,5	74,6	315	98,9	3150	96,8
250	103,4	40	78,4	400	97,8	4000	96,3
500	102,4	50	83,0	500	97,4	5000	92,0
1000	103,0	63	86,9	630	97,6	6300	85,7
2000	101,9	80	89,2	800	98,2	8000	81,4
4000	100,3	100	91,7	1000	98,4	10000	77,2
8000	87,5	125	94,0	1250	98,0		
109.8 dB(A)		160	95,6	1600	97,5		
Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus / Tonaa-lisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio)		Muu, mikä:	
Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei

Kivijärven tuulivoimahankkeen meluselvitystä ohjaa lievennystoimenpiteiden mukainen melumallinnus, minkä tarkoituksena on esittää lieventävien toimenpiteiden jälkeinen meluvaikutus läheiselle Iso-Hölön Natura-alueelle. Lieventävinä toimenpiteinä on käytetty hiljaisempaa voimalaa sekä voimalasijoittelua on muutettu kaavoitettavan tuulivoimala-alueen sallimissa rajoissa. Lieventävien toimenpiteiden mukaisessa melumallinnuksessa on käytetty V162-6.2MW voimalamallia, jonka napakorkeus on 169 metriä ja roottorin halkaisija 162 metriä. Voimalamallin siivissä on ääntä vaimentava sahalaitaprofiili (STE). Voimalavalmistaja on ilmoittanut lähtömelu dokumentilla (*Third octave noise emission EnVentus™ V162 Document no. 0105-5200_01*) voimalamallin lähtömelutasoksi 104.8 dB(A), missä taajuusjakauman lähtömelut perustuvat standardin IEC 61400-11 mukaisiin mittauksiin. Lähtömelutasoon on lisätty 2 dB(A) varmuusarvo, koska tuulivoimalan takuuarvoa ei tässä yhteydessä ilmoiteta standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti (Taulukko 7). Näin varmistetaan ympäristöministeriön lisäohjeistuksen mukainen takuuarvo tuulivoimalamallin lähtömelutasolle [5].

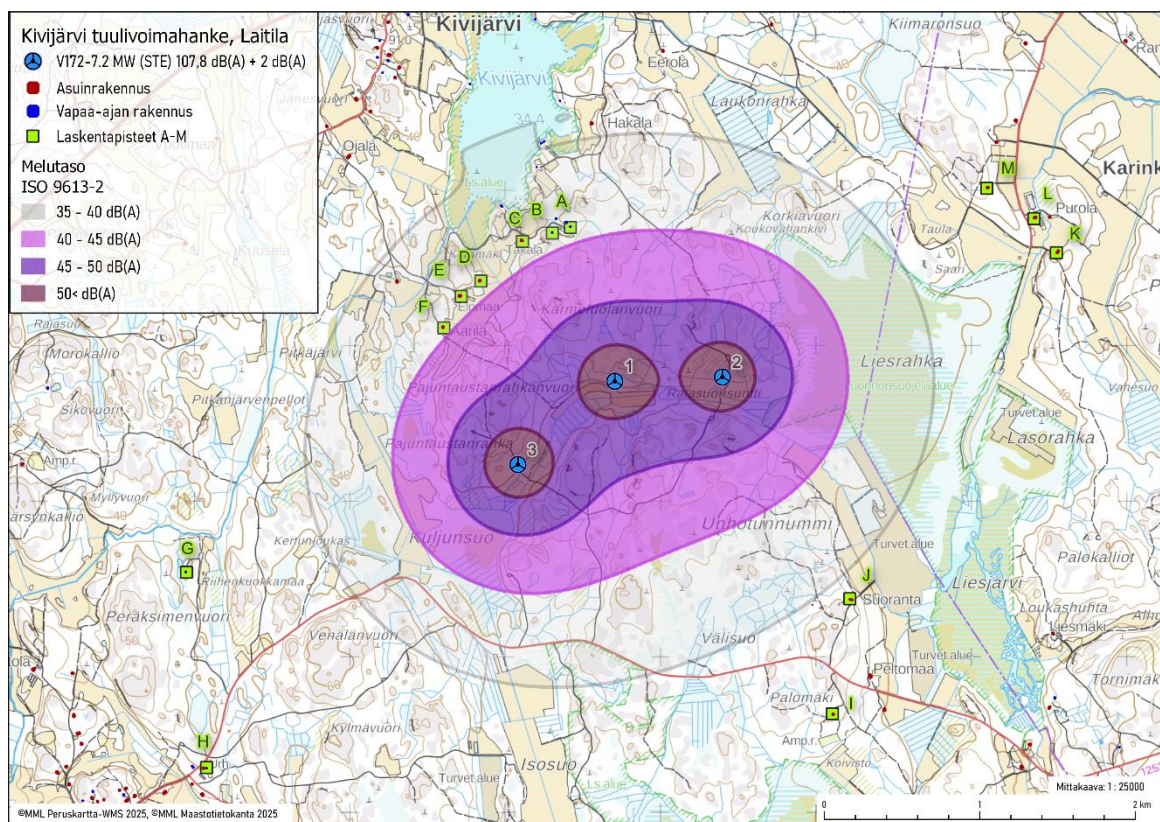
Taulukko 7. Melun lieventävät toimenpiteet huomioivan laskennan mallinnustiedot ja äänitehotasot voimalaitokselle V162-6.2MW.

MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: windPRO 4.2, 4.2.264				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2			
TUULIVOIALIDEN TIEDOT							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V162 – 6,2 MW		Sarjanumero:	
Nimellisteho: 6,2 MW		Napakorkeus: 169 m		Roottorinhalkasija: 162 m		Tornin tyyppi: teräs/hybridi	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun:							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus			Muu, mikä: Mode PO6200 (STE)		
Kyllä	dB	Kyllä	dB	Noise mode:		Kyllä	
Ei	Ei tie-dossa	Ei	Ei tiedossa	Lähtömelutaso		104.8 + 2 dB(A)	
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNA LÄHTÖTIEDOT							
Melupäästötiedot: Valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot: Third octave noise emission EnVentus™ V162 Document no. 0105-5200_01							
Mallinuksissa käytetty taajuusjakauma vastaa tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 169 m, joka laskettuna vastaa melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.							
Lähtömelutasoon on lisätty 2 dB varmuusarvo ympäristöministeriön ohjeistaman takuuarvon saamiseksi.							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5	-	20	60,7	200	95,1	2000	91,1
62,5	88,8	25	65,7	250	96,5	2500	89,2
125	99,4	31,5	70,4	315	97,5	3150	86,9
250	101,2	40	75	400	97,7	4000	84,4
500	101,8	50	79,7	500	97,0	5000	81,6
1000	99,6	63	83,5	630	96,4	6300	78,4
2000	96,0	80	86,4	800	95,7	8000	74,9
4000	89,6	100	89,1	1000	94,8	10000	71,0
8000	80,5	125	91,5	1250	93,9		
106.8 dB(A)		160	93,4	1600	92,6		
Melun erityispiirteiden mittaust ja havainnot:							
Kapeakaistaisuus / Tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudimodulaatio)		Muu, Mikä:	
Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei

3.4 Melun laskentatulokset (ISO 9613-2)

Kivijärven tuulivoimahankkeen melumallinnuksen laskentatulokset ovat esitettyinä lähimmille melulle altistuville kohteille (laskentapisteen A-M) taulukossa 8. Kartalla (Kuva 1) esitetään tuulivoimaloista lähtevän melun etenemistä laskentatuloksen keskiäänitasovyöhykkeillä 5 dB(A) välein, sekä melulle altistuvien kohteiden sijaintia tuulivoimaloiden lähistöllä.

Melumallinnuksen mukaan valtioneuvoston ohjearvo 40 dB(A) melutaso ei ylitä Kivijärven hankkeen suunnitelman mukaisella voimalasijoittelulla lähistöllä olevissa melulle altistuvissa kohteissa, kun käytetään voimalamallia V172-7.2 MW (serrated trailing edge), jonka lähtömelutaso on 107,8 dB(A) + 2 dB(A) ja napakorkeus 199 metriä. Suurin mallinnettu keskiäänitaso on 39,5 dB(A) laskentakohteessa F. Asuinrakennus.



Kuva 1. Melutasot esitettyinä kartalla

Taulukko 8. Keskiäänitasot laskentakohteissa.

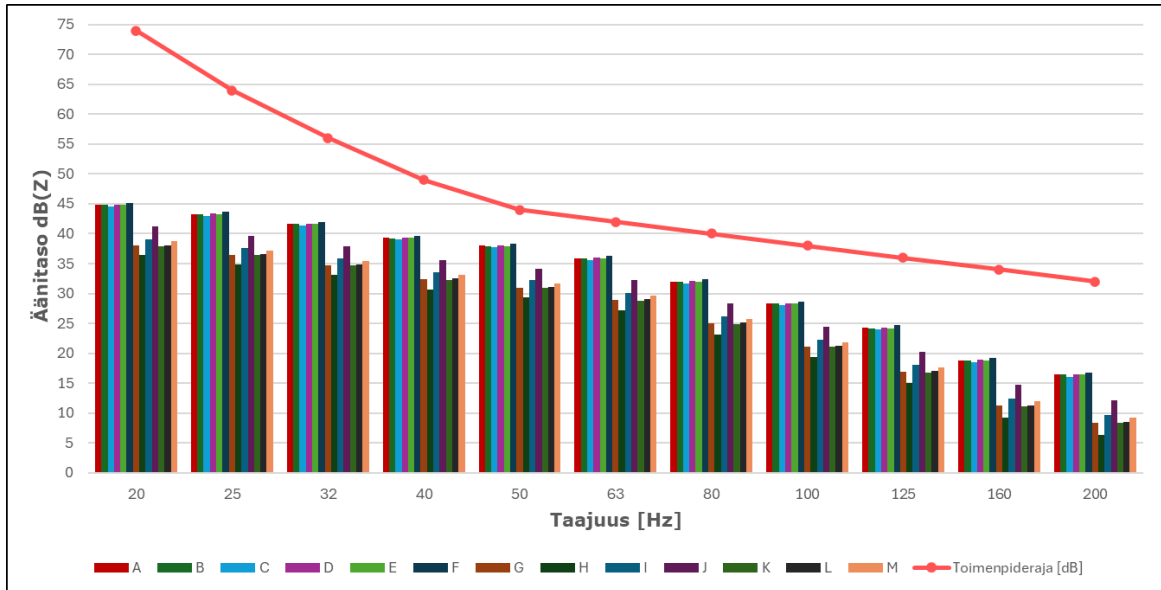
Laskentapisteen A-M	ETRS89-TM35 Itä E	ETRS89-TM35 Pohjoinen N	Maanpinnan korkeus Z (m)	Laskentakorkeus (m)	Melutaso dB(A)
A. Vapaa-ajan rakennus	224 420	6 768 760	41,5	4	39,0
B. Vapaa-ajan rakennus	224 304	6 768 724	41,2	4	39,0
C. Asuinrakennus	224 112	6 768 671	36	4	38,6
D. Asuinrakennus	223 843	6 768 415	37,7	4	39,1
E. Asuinrakennus	223 717	6 768 317	40	4	39,0
F. Asuinrakennus	223 606	6 768 115	40,6	4	39,5
G. Vapaa-ajan rakennus	221 949	6 766 544	40	4	29,7
H. Vapaa-ajan rakennus	222 079	6 765 289	40	4	27,4
I. Asuinrakennus	226 106	6 765 634	52,4	4	31,2
J. Asuinrakennus	226 218	6 766 373	50,5	4	34,1
K. Asuinrakennus	227 547	6 768 597	37,7	4	29,0
L. Asuinrakennus	227 403	6 768 817	37,5	4	29,1
M. Asuinrakennus	227 100	6 769 012	45,3	4	30,1

3.5 Matalataajuiset melutasot

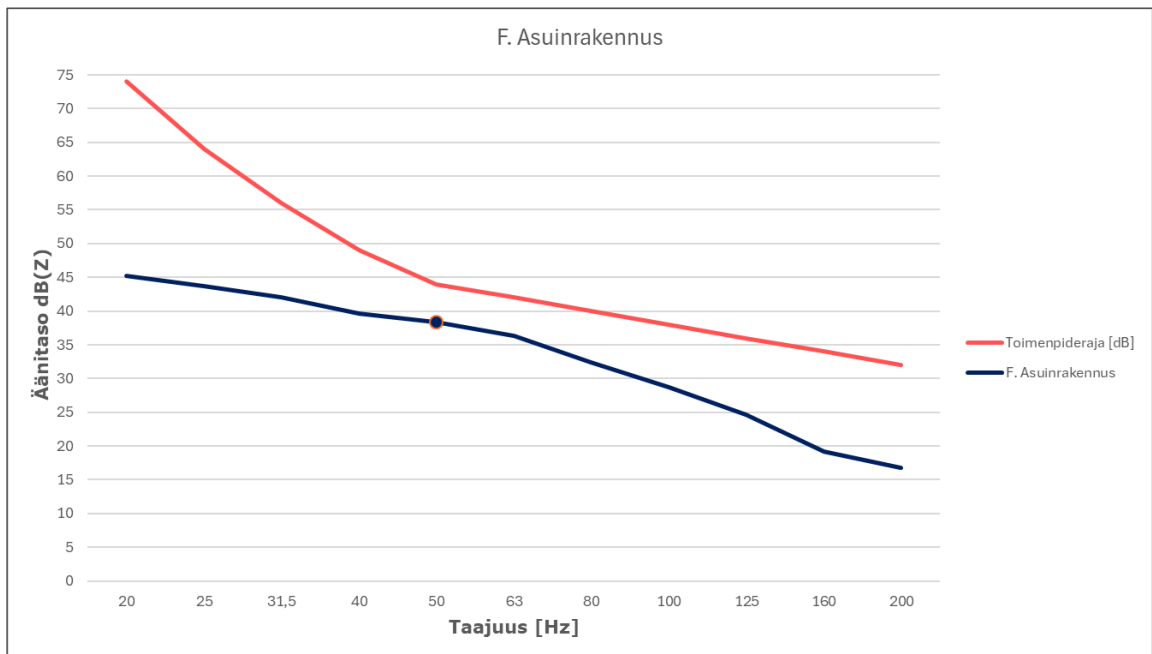
Matalataajuisen (20–200 Hz) melumallinnuksen mukaan, sosiaali- ja terveysministeriön asuimisterveysasetuksessa (545/2015) määritellyt toimenpiderajat sisämelulle eivät ylitä suunnitelman mukaisilla tuulivoimaloilla. Mallinnuksen mukaan lähimpänä toimenpiderajaa oleva sisämelun äänitaso syntyi kohteessa (F. Asuinrakennus) taajuuskaistalla 50 Hz, jolloin keskiäänitaso on 38,3 dB(Z). Toimenpideraja on 50 Hz taajuudella 44,0 dB(Z). Kivijärven voimalasuunnitelman mukaiset matalataajuisen melun laskentatulokset taajuuskaistoittain esitettynä (taulukossa 9) sekä (kaavioissa 1 ja 2). Matalataajuisen ulkomelun äänitasojen tulokset laskentakohteille esitettynä (taulukossa 10).

Taulukko 9. Matalataajuisen sisämelun mallinnustiedot ja äänitasojen tulokset laskentakohteissa A-M.

Matalataajuisen melun laskentamenetelmä: ISO 9613-2, Anojanssi (Keränen, Hakala ja Hongisto, 2019)											
Terssin painottamaton äänitaso Leq dB - altistuvien laskentapisteen (rakennusten) sisätiloissa.											
Terssikaista [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Matalataajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpiderajat LZeq,1h, dB	74,0	64,0	56,0	49,0	44,0	42,0	40,0	38,0	36,0	34,0	32,0
A. Vapaa-ajan rakennus	44,8	43,3	41,6	39,3	38,0	35,9	32,0	28,3	24,3	18,8	16,4
B. Vapaa-ajan rakennus	44,8	43,3	41,6	39,2	37,9	35,9	32,0	28,3	24,2	18,8	16,4
C. Asuinrakennus	44,6	43,0	41,3	39,0	37,7	35,6	31,7	28,0	24,0	18,5	16,1
D. Asuinrakennus	44,9	43,4	41,7	39,3	38,0	36,0	32,1	28,4	24,3	18,9	16,5
E. Asuinrakennus	44,8	43,3	41,6	39,3	37,9	35,9	32,0	28,3	24,2	18,8	16,4
F. Asuinrakennus	45,2	43,7	42,0	39,6	38,3	36,3	32,4	28,7	24,7	19,2	16,8
G. Vapaa-ajan rakennus	38,0	36,5	34,7	32,4	31,0	28,9	25,0	21,1	16,9	11,2	8,4
H. Vapaa-ajan rakennus	36,4	34,8	33,1	30,7	29,3	27,2	23,2	19,3	15,0	9,2	6,3
I. Asuinrakennus	39,1	37,6	35,9	33,5	32,2	30,1	26,1	22,3	18,1	12,4	9,7
J. Asuinrakennus	41,2	39,6	37,9	35,6	34,2	32,2	28,3	24,5	20,3	14,8	12,2
K. Asuinrakennus	37,9	36,4	34,7	32,3	30,9	28,8	24,9	21,1	16,8	11,1	8,3
L. Asuinrakennus	38,1	36,6	34,8	32,5	31,1	29,0	25,1	21,2	17,0	11,3	8,5
M. Asuinrakennus	38,7	37,1	35,4	33,1	31,7	29,6	25,7	21,9	17,6	12,0	9,2



Kaavio 1. Matalataajuisen sisämelun äänitasot taajuuskaistoittain laskentakohteissa A-M ja toimenpideraja.



Kaavio 2. Matalataajuisen sisämelun äänitasot taajuuskaistoittain laskentakohteessa F. Asuinrakennus. Korostettu ympyrä kertoo lähimpänä toimenpiderajaa olevan äänitason.

Taulukko 10. Matalataajuisen ulkomelun äänitasojen tulokset laskentakohteissa A-M.

Terssin painottamaton äänitaso Leq dB - altistuvien laskentapisteidien (rakennusten) ulkopuolella.											
Terssikaista [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
A. Vapaa-ajan rakennus	52,4	51,6	50,8	49,6	49,5	48,9	46,8	45,1	43,1	39,9	39,2
B. Vapaa-ajan rakennus	52,4	51,6	50,8	49,5	49,4	48,9	46,8	45,1	43,0	39,9	39,2
C. Asuinrakennus	52,2	51,3	50,5	49,3	49,2	48,6	46,5	44,8	42,8	39,6	38,9
D. Asuinrakennus	52,5	51,7	50,9	49,6	49,5	49,0	46,9	45,2	43,1	40,0	39,3
E. Asuinrakennus	52,4	51,6	50,8	49,6	49,4	48,9	46,8	45,1	43,0	39,9	39,2
F. Asuinrakennus	52,8	52,0	51,2	49,9	49,8	49,3	47,2	45,5	43,5	40,3	39,6
G. Vapaa-ajan rakennus	45,6	44,8	43,9	42,7	42,5	41,9	39,8	37,9	35,7	32,3	31,2
H. Vapaa-ajan rakennus	44,0	43,1	42,3	41,0	40,8	40,2	38,0	36,1	33,8	30,3	29,1
I. Asuinrakennus	46,7	45,9	45,1	43,8	43,7	43,1	40,9	39,1	36,9	33,5	32,5
J. Asuinrakennus	48,8	47,9	47,1	45,9	45,7	45,2	43,1	41,3	39,1	35,9	35,0
K. Asuinrakennus	45,5	44,7	43,9	42,6	42,4	41,8	39,7	37,9	35,6	32,2	31,1
L. Asuinrakennus	45,7	44,9	44,0	42,8	42,6	42,0	39,9	38,0	35,8	32,4	31,3
M. Asuinrakennus	46,3	45,4	44,6	43,4	43,2	42,6	40,5	38,7	36,4	33,1	32,0

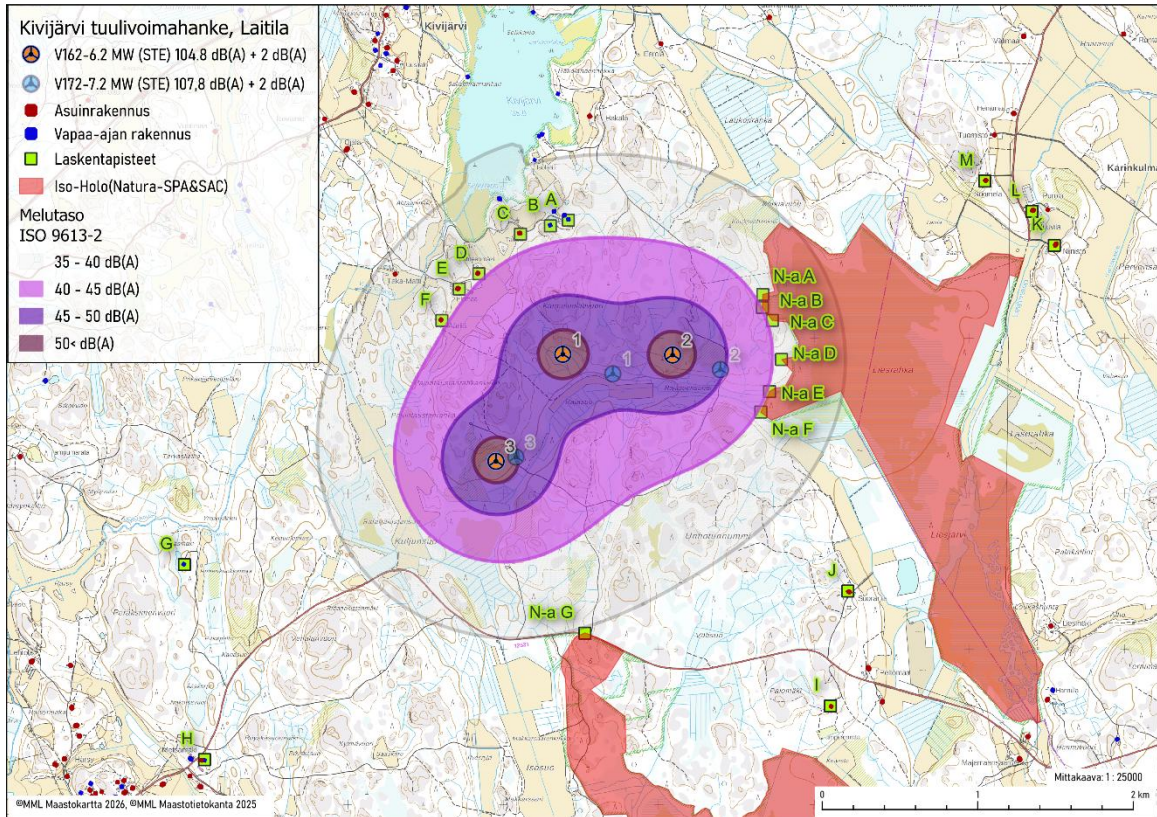
3.6 Lieventävät toimenpiteet ja Natura-alue

Tuulivoimameluasetuksessa VNa 1107/2015 säädetyt tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvot eivät koske Natura-alueita. Natura-alueisiin liittyen tuulivoimamelu vaikuttaa Natura-arvioinnin kautta, jossa melu on yksi arvioitava haittatekijä erityisesti meluherkille lajeille. Selvää ohjearvoa melulle ei ole annettu, mutta Suomessa muodostuneiden käytäntöjen, jotka perustuvat parhaaseen mahdolliseen tutkittuun tietoon ja varovaisuusperiaatteeseen, noin 40 dB(A) ohjearvo on hyvä lähtökohta alustavaan tarkasteluun arvioitaessa Natura-alueiden suojeluperusteena oleviin lajeihin kohdistuvaa meluvaikutusta. 40 dB(A) melutason ylittyminen Natura-alueella ei automaattisesti tarkoita, että Natura-alueen suojelutavoitteisiin kohdistuisi haittaa, sillä vaikutukset eläinlajistoon ovat hyvin vaihtelevia ja riippuvat tuulivoimaloiden koosta ja määrästä, teknisistä ratkaisuista, sijainnista, ympäröivän alueen maaston muodoista sekä alueen suojeluperusteisten lajien koostumuksesta [18]. Tämän vuoksi vaikutukset arvioidaan tapauskohtaisesti ympäristöministeriön ohjeen ja luonnonsuojelulain mukaisen luontoselvitysooppaan mukaisesti varovaisuusperiaatetta noudattaen [19, 20].

Tuulivoimaloista aiheutuvaa melua voidaan tarpeen vaatiessa lieventää erilaisilla toimenpiteillä, kuten valitsemalla hiljaisemmat voimalat, siirtämällä voimaloita kauemmaksi melulle altistuvasta kohteesta, käyttämällä tuulivoimalan lapaprofiilissa sahalaita kuviointeja ja/tai käyttämällä niin sanottuja melumoodeja, eli rajoittamalla nimellistehon tuotantoa.

Kivijärven tuulivoimahankkeen lieventävät toimenpiteet huomioivan melumallinnuksen laskentatulokset ovat esitettyinä lähimmille melulle altistuville kohteille (laskentapisteeet A-M) sekä Natura-alueen lähimmäisille rajauksille (N-a A-G) taulukossa 11. Kartalla (Kuva 2) esitetään tuulivoimaloista lähtevän melun etenemistä laskentatuloksen keskiäänitasovyöhykkeillä 5 dB(A) välein, sekä melulle altistuvien kohteiden sijaintia tuulivoimaloiden lähistöllä.

Melumallinnuksen mukaan valtioneuvoston ohjearvo 40 dB(A) melutaso ei ylitä Kivijärven hankkeen suunnitelman mukaisella voimalasijoittelulla lähistöllä olevissa melulle altistuvissa kohteissa, eikä Natura-alueella, kun käytetään voimalamallia V162-6.2 MW (STE), jonka lähtömelutaso on 104,8 dB(A) + 2 dB(A) ja napakorkeus 169 metriä. Suurin mallinnettu keskiäänitaso on 39,9 dB(A) Natura-alueen laskentakohteessa N-a B. Lieventävinä toimenpiteinä on käytetty hiljaisempaa voimalaa sekä voimalasijoittelua on muutettu. Sahalaita kuviointi on käytössä jo maksimivaikutukset huomioivassa mallinnuksessa, joten sitä ei voida katsota lieventäväksi toimenpiteeksi.



Kuva 2. Melutasot esitettyinä kartalla

Taulukko 11. Keskiäänitasot laskentakohteissa.

Laskentapisteeet A-M	ETRS89-TM35 Itä E	ETRS89-TM35 Pohjoinen N	Maanpinnan korkeus Z (m)	Laskenta-korkeus (m)	Melutaso dB(A)
A. Vapaa-ajan rakennus	224 420	6 768 760	41,5	4	38,7
B. Vapaa-ajan rakennus	224 304	6 768 724	41,2	4	38,8
C. Asuinrakennus	224 112	6 768 671	36	4	38,7
D. Asuinrakennus	223 843	6 768 415	37,7	4	39,5
E. Asuinrakennus	223 717	6 768 317	40	4	39,3
F. Asuinrakennus	223 606	6 768 115	40,6	4	39,6
G. Vapaa-ajan rakennus	221 949	6 766 544	40	4	28,5
H. Vapaa-ajan rakennus	222 079	6 765 289	40	4	25,8
I. Asuinrakennus	226 106	6 765 634	52,4	4	28,3
J. Asuinrakennus	226 218	6 766 373	50,5	4	30,6
K. Asuinrakennus	227 547	6 768 597	37,7	4	25,3
L. Asuinrakennus	227 403	6 768 817	37,5	4	25,4
M. Asuinrakennus	227 100	6 769 012	45,3	4	26,3
N-a A Natura-alue	225 671	6 768 282	42,5	4	39,3
N-a B Natura-alue	225 668	6 768 198	42,5	4	39,9
N-a C Natura-alue	225 732	6 768 115	47,2	4	39,5
N-a D Natura-alue	225 792	6 767 864	42,6	4	39,3
N-a E Natura-alue	225 714	6 767 657	42,5	4	39,8
N-a F Natura-alue	225 658	6 767 525	42,5	4	39,8
N-a G Natura-alue	224 526	6 766 102	50,4	4	34,7

4. Viittaukset

[1] Ympäristöhallinnon ohjeita 5. Päivitys 2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Joulukuu 2016

[2] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Asetus 1107/2015

[3] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Asetus 545/2015

[4] Hongisto V., Radun J., Rajala V., Maula H., Keränen J. ja Saarinen P. Raportti. Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti. Turun Ammattikorkeakoulu. Turku 2020

[5] Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.

[6] 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, Lisabon, June 12-14, 2019.

[7] Arce Leon, C., Merino Martinez, R., Ragni, D., Pröbsting, S., Avallone, F., Singh, A., & Madsen, J. (2017). Trailing edge serrations: Effect of their flap angle on flow and acoustics. In 7th International Conference on Wind Turbine Noise: Rotterdam – 2nd to 5th May 2017

[8] Seppo Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.

[9] Vestas. Sound Power Optimisation. Combining siting methods, sound mitigation strategy, and technical solutions to maximise energy production at specific sound power levels. Vestas 2015

[10] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2|2014. Ympäristöministeriö. 2014

[11] Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittaamalla. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2014.

[12] ISO 9613-2:2024. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation”, International Organization for Standardisation

[13] ISO 9613-1:1996. Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. International Organization for Standardisation.

[14] J. Jakobsen: Danish regulation for low frequency noise from wind turbines, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31(4), 2012.

[15] Keski-Savon ympäristötoimi. (2010). Hiljaiset alueet Varkaudessa – esiselvitys (Julkaisu 1/2010). Varkauden ympäristönsuojelutoimisto.

- [16] Piilola, H. (2005). *Hämeenlinnan hiljaisten alueiden kartoitus* (Ympäristöosaston julkaisu 37). Hämeenlinnan kaupunki.
- [17] Ympäristöhallinto. (2024). Melusta altistuminen on yleistä [Verkkosivusto]. Suomen ympäristöhallinto.
- [18] Meller K.I. Kirjallisuusselvitys tuulivoimaloiden vaikutuksista linnustoon ja lepakoihin. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 27/2017. Helsinki.
- [19] Ympäristöministeriö (YM 2016). *Linnustovaikutusten arviointi tuulivoimarakentamisessa*. Suomen ympäristö 6/2016. Helsinki.
- [20] Luonnonsuojelulaki 923/2022.
- [21] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015.
- [22] Bhargava Nukala, V., & Padhy, C. P. (2023). Concise review: aerodynamic noise prediction methods and mechanisms for wind turbines. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 128–151.
- [23] (Acta Acustica) Quantification of amplitude modulation of wind turbine emissions from acoustic and ground motion recordings. *Acta Acustica*, 2023.