



Semecon Oy

Kenkäkankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutusten meluselvitys

101022365-002, 28.02.2024

Tekijä
AFRY Finland Oy
Juulianna Lähteinen

E-mail
juulianna.lahteinen@afry.com

Osasto
Wind and Solar Finland

Raporttiversio
001

Asiakas
Semecon Oy
Olli Malkamäki

Päivämäärä
28/02/2024

Projektinumero
101022365-002

Raportin tila
VALMIS

Kenkäkankaan ja läheisten tuulivoimapuistojen yhteisvaikutusten meluselvitys

Raporttihistoria

| Versio | Pvm/Laatiija | Pvm/Tarkastaja | Merkinnät/Muutokset |
|--------|---|--|---------------------|
| 001 | 28.02.2024/ Juulianna Lähteinen, Technical Consultant | 28.02.2024/ Mika Laitinen, Senior Consultant | Alkuperäinen |

Aineistojen käyttöoikeudet

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

Sisällysluettelo

| | | |
|-----|---------------------------------------|----|
| 1 | Johdanto | 4 |
| 2 | Tuulivoimaloiden melu | 8 |
| 2.1 | Yleistä tuulivoimamelusta | 8 |
| 2.2 | Melumallinnusohjeistus..... | 9 |
| 2.3 | Ohjearvot | 10 |
| 2.4 | Sisämelutasojen arviointi..... | 11 |
| 3 | Tuulivoimakohteen melumallinnus | 12 |
| 3.1 | Keskiäänitasojen LAeq mallinnus | 12 |
| 3.2 | Matalataajuisen melun mallinnus | 17 |
| 4 | Yhteenveto | 20 |
| 5 | Viitteet..... | 21 |
| 6 | Melumallinnuksen tiedot..... | 22 |

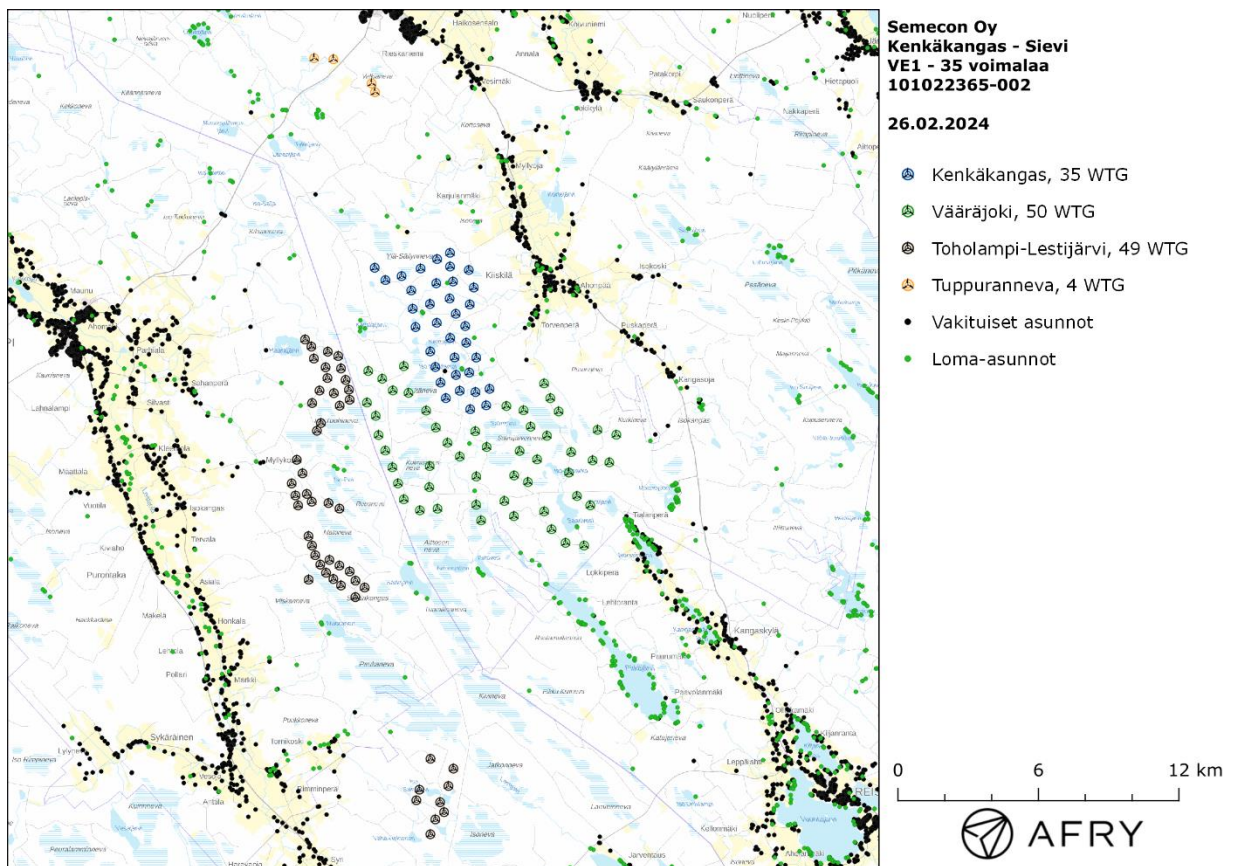
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapuiston sekä läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutuksia laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutukset ovat suurimmat Kenkäkankaan toteutusvaihtoehdolla VE1, joten riittää tarkastella melun yhteisvaikutuksia pelkästään Kenkäkankaan 35 voimalan suunnitelmalla VE1. Suunnitelma VE2 on muuten sama, mutta siitä on poistettu kymmenen voimalaa.

Kenkäkankaan välittömässä läheisyydessä on suunnitteilla kaksi tuulivoimapuistoa sekä hieman kauempana pohjoisessa suunnitteilla yksi tuulivoimapuisto, ja nämä huomioidaan yhteisvaikutusten mallinnuksessa:

- Vääräjoki, 50 voimalaa (suunnitteilla)
- Toholampi-Lestijärvi, 49 voimalaa (suunnitteilla)
- Tuppuranneva, 4 voimalaa (suunnitteilla)

Vääräjoen lähimmät voimalat sijaitsevat noin 900 metrin etäisyydellä, Toholampi-Lestijärven lähimmät voimalat noin 3,8 km etäisyydellä ja Tuppurannevan lähimmät voimalat noin 7,5 km etäisyydellä Kenkäkankaan voimaloista. Voimaloiden sijainnit on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukoissa 1-4.



Kuva 1: Kenkäkankaan sekä läheisten tuulivoimapuistojen voimaloiden sijainnit.

Taulukko 1: Kenkäkankaan tuulivoimaloiden (VE1- 35 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. Kenkäkankaan VE2 suunnitelmasta on poistettu yhteensä kymmenen voimalaa (voimalat T6, T11, T16, T20, T28-T29, T31-32 sekä T34-T35).

| Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] | Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|-----------|--------|---------|---------------------|
| T1 | 381588 | 7071318 | 124 | T19 | 380972 | 7075391 | 117 |
| T2 | 382270 | 7071484 | 124 | T20 | 379132 | 7075607 | 126 |
| T3 | 380547 | 7071791 | 128 | T21 | 381568 | 7075793 | 113 |
| T4 | 381813 | 7072051 | 126 | T22 | 379867 | 7075809 | 121 |
| T5 | 381140 | 7072106 | 124 | T23 | 380709 | 7076044 | 117 |
| T6 | 382413 | 7072186 | 123 | T24 | 379070 | 7076388 | 123 |
| T7 | 380321 | 7072455 | 125 | T25 | 381742 | 7076512 | 111 |
| T8 | 381545 | 7072885 | 124 | T26 | 380139 | 7076694 | 119 |
| T9 | 380978 | 7072780 | 123 | T27 | 380853 | 7076766 | 118 |
| T10 | 380098 | 7073119 | 126 | T28 | 377966 | 7076830 | 130 |
| T11 | 381848 | 7073522 | 121 | T29 | 378656 | 7076998 | 122 |
| T12 | 380923 | 7073526 | 123 | T30 | 381528 | 7077259 | 112 |
| T13 | 379882 | 7073784 | 127 | T31 | 379470 | 7077323 | 120 |
| T14 | 381418 | 7074157 | 118 | T32 | 377508 | 7077355 | 138 |
| T15 | 380733 | 7074362 | 124 | T33 | 380728 | 7077409 | 117 |
| T16 | 379252 | 7074825 | 126 | T34 | 380175 | 7077727 | 118 |
| T17 | 381376 | 7074869 | 118 | T35 | 380724 | 7077994 | 114 |
| T18 | 380160 | 7075008 | 123 | | | | |

Taulukko 2: Vääräjoen tuulivoimaloiden (50 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

| Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] | Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|-----------|--------|---------|---------------------|
| VJ01 | 384744 | 7072418 | 120 | VJ26 | 381849 | 7068443 | 130 |
| VJ02 | 385010 | 7071788 | 124 | VJ27 | 381842 | 7067238 | 132 |
| VJ03 | 385366 | 7071221 | 126 | VJ28 | 382053 | 7066570 | 132 |
| VJ04 | 383864 | 7071272 | 125 | VJ29 | 381142 | 7069298 | 131 |
| VJ05 | 383133 | 7071453 | 126 | VJ30 | 380615 | 7069885 | 133 |
| VJ06 | 382289 | 7069703 | 126 | VJ31 | 380122 | 7070536 | 131 |
| VJ07 | 381804 | 7070375 | 127 | VJ32 | 378283 | 7072119 | 129 |
| VJ08 | 384169 | 7070572 | 126 | VJ33 | 378953 | 7072016 | 128 |
| VJ09 | 384865 | 7070184 | 126 | VJ34 | 379706 | 7071258 | 128 |
| VJ10 | 383465 | 7068490 | 133 | VJ35 | 379841 | 7067992 | 130 |
| VJ11 | 384053 | 7068206 | 133 | VJ36 | 379856 | 7068888 | 136 |
| VJ12 | 387025 | 7070433 | 126 | VJ37 | 379439 | 7067001 | 131 |
| VJ13 | 387829 | 7070230 | 127 | VJ38 | 380191 | 7067070 | 135 |
| VJ14 | 385899 | 7069487 | 128 | VJ39 | 378751 | 7067472 | 128 |
| VJ15 | 386817 | 7069134 | 129 | VJ40 | 378503 | 7068151 | 133 |

| | | | | | | | |
|------|--------|---------|-----|------|--------|---------|-----|
| VJ16 | 387530 | 7069048 | 130 | VJ41 | 378260 | 7068838 | 129 |
| VJ17 | 385804 | 7068611 | 135 | VJ42 | 377961 | 7069552 | 129 |
| VJ18 | 386149 | 7067611 | 131 | VJ43 | 377673 | 7070213 | 125 |
| VJ19 | 386717 | 7067212 | 135 | VJ44 | 377551 | 7071033 | 125 |
| VJ20 | 386454 | 7065498 | 131 | VJ45 | 377177 | 7071600 | 131 |
| VJ21 | 385661 | 7065614 | 133 | VJ46 | 377828 | 7072618 | 125 |
| VJ22 | 385064 | 7066193 | 131 | VJ47 | 378752 | 7073157 | 127 |
| VJ23 | 384747 | 7066956 | 135 | VJ48 | 377233 | 7072949 | 127 |
| VJ24 | 383454 | 7066753 | 134 | VJ49 | 383697 | 7069537 | 132 |
| VJ25 | 383047 | 7067399 | 131 | VJ50 | 384446 | 7069175 | 128 |

Taulukko 3: Toholampi-Lestijärven tuulivoimaloiden (49 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla. 40 voimalaa sijoittuu Toholammin kunnan puolelle ja yhdeksän voimalaa Lestijärven kunnan puolelle.

| Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] | Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|-----------|--------|---------|---------------------|
| TL01 | 374534 | 7074294 | 115 | TL29 | 376002 | 7067076 | 128 |
| TL02 | 374803 | 7073990 | 119 | TL30 | 374678 | 7065899 | 134 |
| TL03 | 375504 | 7073774 | 119 | TL31 | 374830 | 7065499 | 136 |
| TL04 | 375949 | 7073586 | 117 | TL32 | 374968 | 7065086 | 141 |
| TL05 | 374910 | 7073480 | 118 | TL33 | 375574 | 7064883 | 136 |
| TL06 | 375411 | 7073107 | 120 | TL34 | 375183 | 7064687 | 140 |
| TL07 | 376068 | 7073056 | 121 | TL35 | 376001 | 7064643 | 134 |
| TL08 | 375489 | 7072649 | 128 | TL36 | 375430 | 7064338 | 140 |
| TL09 | 376265 | 7072570 | 125 | TL37 | 376438 | 7064393 | 133 |
| TL10 | 376405 | 7072152 | 129 | TL38 | 375743 | 7064070 | 140 |
| TL11 | 375763 | 7072004 | 127 | TL39 | 376686 | 7064000 | 135 |
| TL12 | 375151 | 7072115 | 124 | TL40 | 374687 | 7064039 | 139 |
| TL13 | 376436 | 7071723 | 128 | TL41 | 377078 | 7063705 | 134 |
| TL14 | 376012 | 7071469 | 129 | TL47 | 376067 | 7063792 | 141 |
| TL15 | 374835 | 7071581 | 129 | TL48 | 376682 | 7063296 | 142 |
| TL17 | 375210 | 7070728 | 128 | LJ49 | 379891 | 7056396 | 144 |
| TL18 | 375041 | 7070400 | 126 | LJ50 | 380870 | 7055975 | 143 |
| TL20 | 374180 | 7069159 | 123 | LJ51 | 380658 | 7055234 | 146 |
| TL21 | 374425 | 7068580 | 128 | LJ52 | 379417 | 7055076 | 146 |
| TL22 | 373962 | 7068150 | 123 | LJ53 | 380302 | 7054541 | 145 |
| TL23 | 374607 | 7067703 | 124 | LJ54 | 379287 | 7054626 | 145 |
| TL24 | 374820 | 7067372 | 125 | LJ55 | 380472 | 7054117 | 148 |
| TL25 | 374121 | 7067637 | 131 | LJ56 | 380099 | 7053807 | 146 |
| TL26 | 375535 | 7067313 | 127 | LJ57 | 379887 | 7053174 | 146 |
| TL27 | 374235 | 7067210 | 127 | | | | |

Taulukko 4: Tuppurannevan tuulivoimaloiden (4 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

| Turbiinit | E | N | Maaston korkeus [m] |
|-----------|--------|---------|---------------------|
| TU1 | 377374 | 7085225 | 117 |
| TU2 | 374922 | 7086300 | 110 |
| TU3 | 375744 | 7086256 | 112 |
| TU4 | 377522 | 7084850 | 120 |

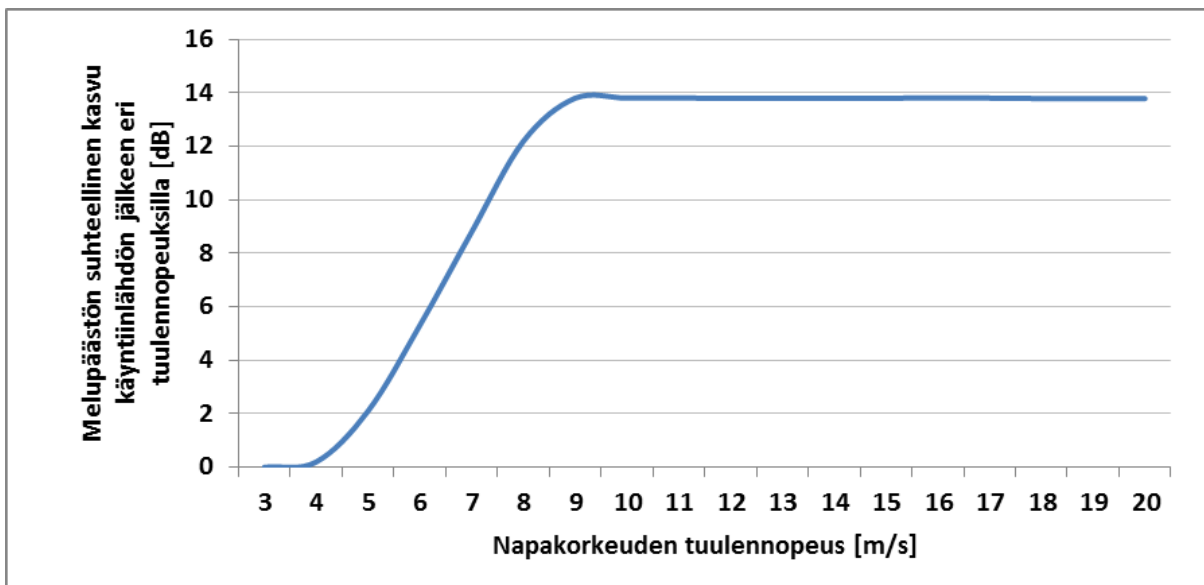
2 Tuulivoimaloiden melu

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).



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

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

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

puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1,5 m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan 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 lähtöäänitasa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantototehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2–3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta [13].

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

2.2 Melumallinnusohjeistus

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

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

Äänitehotasot on ilmoitettava 1/3-oktaaveittain keskitäajuuksilla 20–10000 Hz ja oktaaveittain keskitäajuuksilla 31,5–8000 Hz, ja ne tulee olla saatavilla 10 m:n referenssikorkeutta vastaavilla tuulen nopeuksilla 8 m/s ja 10 m/s. Melumallinnuksen epävarmuus on tarkastelussa ja ohjeistuksessa sisällytetty laskennassa käytettyyn tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjearvoihin 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 matalataajuuden äänen eteneminen tulee mallintaa erikseen ohjeistuksessa määritellyn erillislaskennan avulla, joka perustuu Tanskassa annettuun ohjeistukseen, jonka

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

2.3 Ohjearvot

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

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

Taulukko 5: 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 6). 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 6: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuus-painottamattomia.

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 annetaan matalien taajuuksien 20–200 Hz tunnin keskiäänitasojen (Taulukko 6) 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 matalataajuisten 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 10) on määritetty tilastollisesti niin, että ne ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja niitä on käytetty tässä selvityksessä matalataajuisten sisämelutasojen arviointiin. Rakennusten ilmaäänieristykseen keskimääräinen profiili kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä, jonka perusteella mallinnusohjeistuksen mukainen sisämelujen arviointi tehdään vain matalille taajuuksille. Jos matalataajuisten 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 kahden eri turbiinityypin melun taajuusjakaumia. Eri turbiinityyppien taajuusjakaumat on saatu seuraavista turbiinivalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ V162 6.8 MW 50/60 Hz. Document no 0111-1246_01. 2022-01-07.
- V126-3.3MW-Mk2A-50/60 Hz Third Octaves according to General Specification. DMS 0048-2151_V01. 2014-11-11.

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.”

Mallinuksissa Kenkäkankaan ja Vääräjoen voimaloille on käytetty napakorkeutta 219 m ja turbiinityyppiä V162 6.8 MW PO6800, jonka äänitehotaso on 104,5 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 106,5 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 219 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Toholampi-Lestijärven voimaloille on käytetty napakorkeutta 189 m ja turbiinityyppiä V162 6.8 MW PO6800, jonka äänitehotaso on 104,3 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 106,3 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 14 m/s napakorkeudella 189 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Tuppurannevan voimaloille on käytetty napakorkeutta 137 m ja turbiinityyppiä V126 3.3 MW Mode 0 (serrated trailing edges), jonka äänitehotaso on 105,9 dB(A). Mallinuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 107,9 dB(A). Mallinuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 14 m/s napakorkeudella 137 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinuksissa. Taulukkoon 7 on koottuna jokaiselle tuulivoimapuistolle käytetyt voimalamitat, turbiinityypit sekä lähtömelutasot.

Taulukko 7: Mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytetyt voimalamitat, turbiinityypit ja lähtömelutasot.

| Tuulivoimapuisto | Voimaloiden lukumäärä | Napakorkeus | Turbiinityyppi | Lähtömelutaso |
|----------------------|-----------------------|-------------|----------------|---------------|
| Kenkäkangas | 35 | 219 m | V162 6.8 MW | 104,5+2 dB(A) |
| Vääräjoki | 50 | 219 m | V162 6.8 MW | 104,5+2 dB(A) |
| Toholampi-Lestijärvi | 49 | 189 m | V162 6.8 MW | 104,3+2 dB(A) |
| Tuppuranneva | 4 | 137 m | V126 3.3 MW | 105,9+2 dB(A) |

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

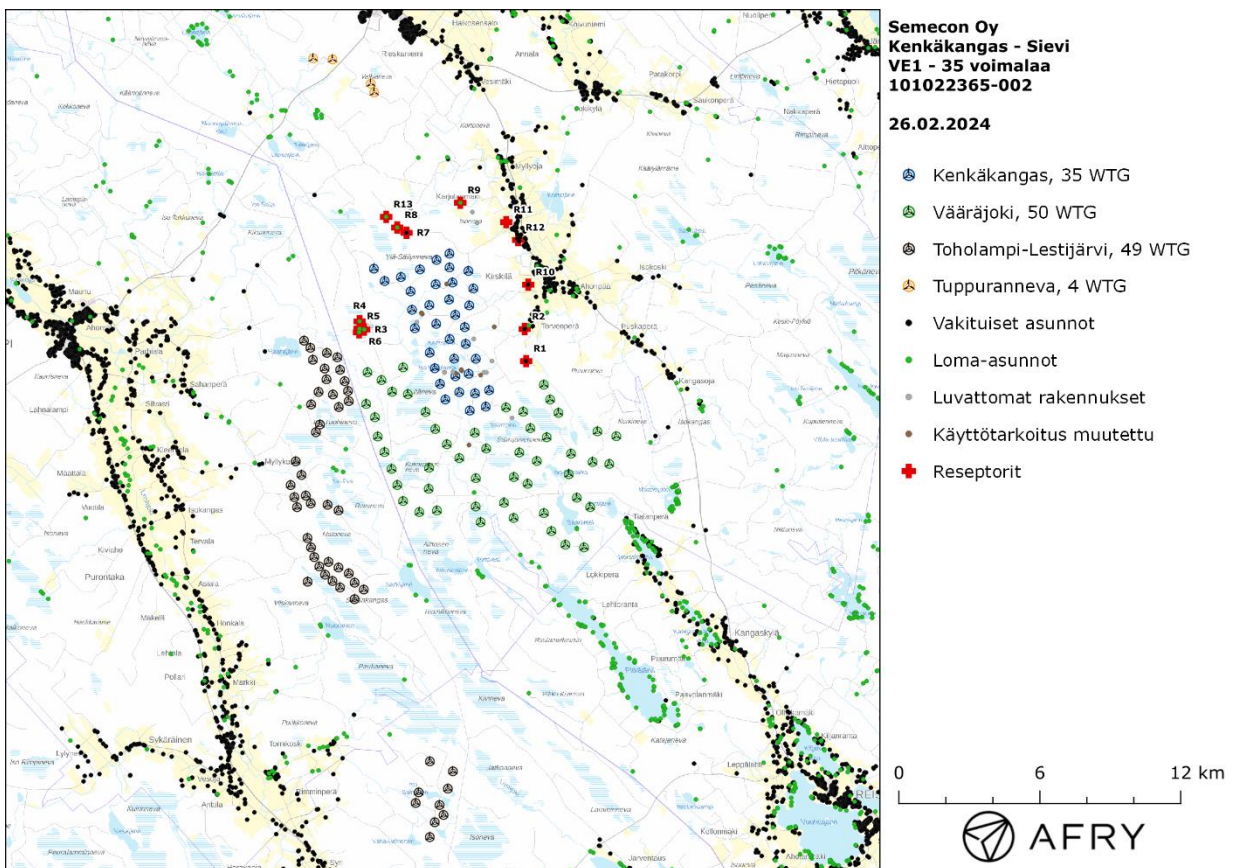
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Taulukossa (Taulukko 8) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 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 1,6-2,6 km etäisyydellä voimaloista. Reseptorit on valittu erityisesti Kenkäkankaan ympäristöstä.

Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaan Kenkäkankaan hankealueella on useita loma- ja asuinrakennuksiksi merkittyjä rakennuksia. Asiakkaalta saadun tiedon mukaan näistä asunnoista osa on luvattomia rakennuksia ja osassa käyttötarkoitus on muutettu muuksi rakennukseksi. Melun ohjearvot koskevat pelkästään asuin- ja lomarakennuksia. Luvattomat rakennukset on merkitty karttakuviin harmaalla ja asunnot, joissa käyttötarkoitus on muutettu, on merkitty karttoihin ruskealla.

Taulukko 8: Reseptorien koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

| Reseptori | E | N | Maaston korkeus [m] | Rakennusluokitus |
|-----------|--------|---------|---------------------|--------------------------|
| R1 | 383992 | 7073419 | 120 | vakituinen asuinrakennus |
| R2 | 383929 | 7074785 | 110 | vakituinen asuinrakennus |
| R3 | 377096 | 7074764 | 135 | lomarakennus |
| R4 | 376900 | 7075110 | 133 | lomarakennus |
| R5 | 376899 | 7074798 | 135 | lomarakennus |
| R6 | 376880 | 7074646 | 133 | lomarakennus |
| R7 | 378897 | 7078879 | 123 | vakituinen asuinrakennus |
| R8 | 378503 | 7079104 | 129 | lomarakennus |
| R9 | 381188 | 7080158 | 106 | lomarakennus |
| R10 | 384082 | 7076671 | 102 | vakituinen asuinrakennus |
| R11 | 383144 | 7079332 | 105 | muu rakennus |
| R12 | 383651 | 7078570 | 101 | vakituinen asuinrakennus |
| R13 | 378033 | 7079556 | 127 | lomarakennus |

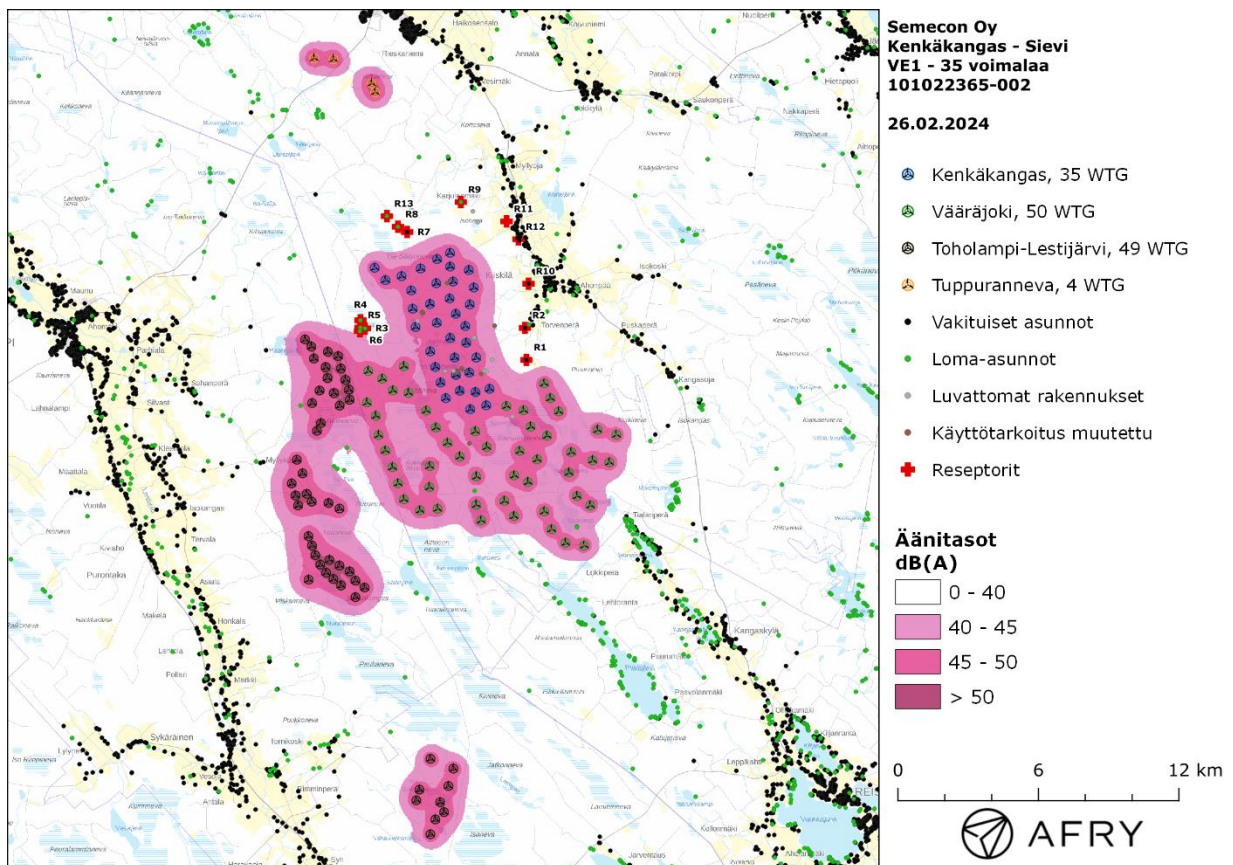


Kuva 3: Reseptoreiden paikat suhteessa tuulivoimapaistoihin. Reseptorit on valittu erityisesti Kenkäkankaan ympäristöstä.

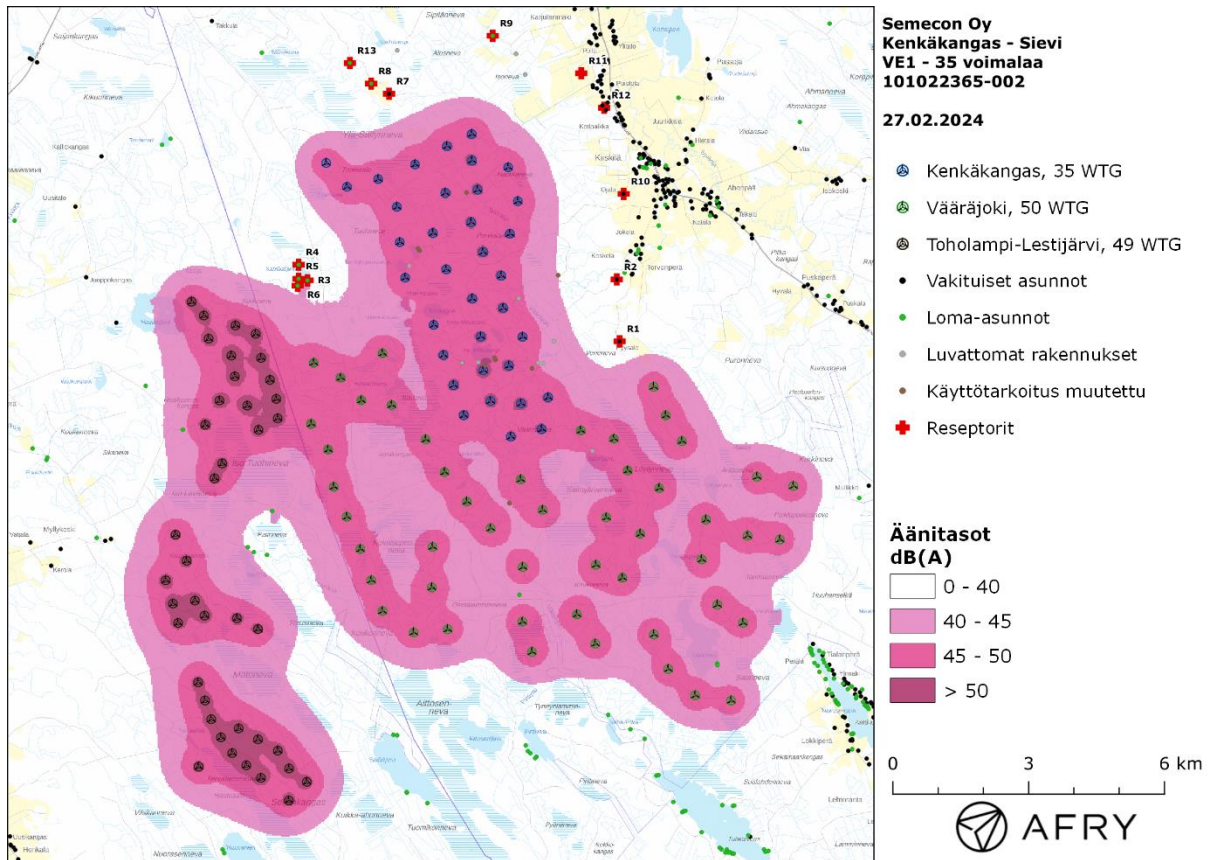
Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4) sekä lähempää karttakuvassa (Kuva 5). 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 9). Mallinnustulosten perusteella yhteisvaikutusten keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla. Merkittävimmät yhteisvaikutukset aiheutuvat reseptoreihin R3-R6, jotka sijaitsevat Katiskajärven rannalla, sillä niitä ympäröi useampi voimala eri tuulivoimapuistoista.



Kuva 4: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnoissa huomioidaan Kenkäkankaan vaihtoehto VE1, Vääräjoki, Toholampi-Lestijärvi sekä Tuppuranneva.



Kuva 5: Keskiäänitasot L_{Aeq} läheltä, kun mallinnoissa huomioidaan Kenkäkankaan vaihtoehto VE1, Vääräjoki, Toholampi-Lestijärvi sekä Tuppuranneva. Karttakuvassa ei näy Tuppurannevan voimaloita eikä Toholampi-Lestijärven Lestijärven puoleisia voimaloita.

Taulukko 9: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

| Reseptori | Äänitaso dB(A) |
|-----------|----------------|
| R1 | 38,0 |
| R2 | 35,5 |
| R3 | 39,3 |
| R4 | 38,4 |
| R5 | 39,2 |
| R6 | 39,6 |
| R7 | 36,6 |
| R8 | 35,2 |
| R9 | 32,2 |
| R10 | 33,3 |
| R11 | 31,5 |
| R12 | 31,7 |
| R13 | 33,3 |

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

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

Meluvaikutus

Matalataajuisen melun arvioinnissa käytetään Suomen asumisterveysasetuksessa määriteltyjä taajuuskohtaisia arvoja, jotka antavat toimenpiderajat matalataajuisen melun yöaikaisille sisämelutasoille (Taulukko 6). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen ulkomelun tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tulokinnassa 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 10) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 10: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

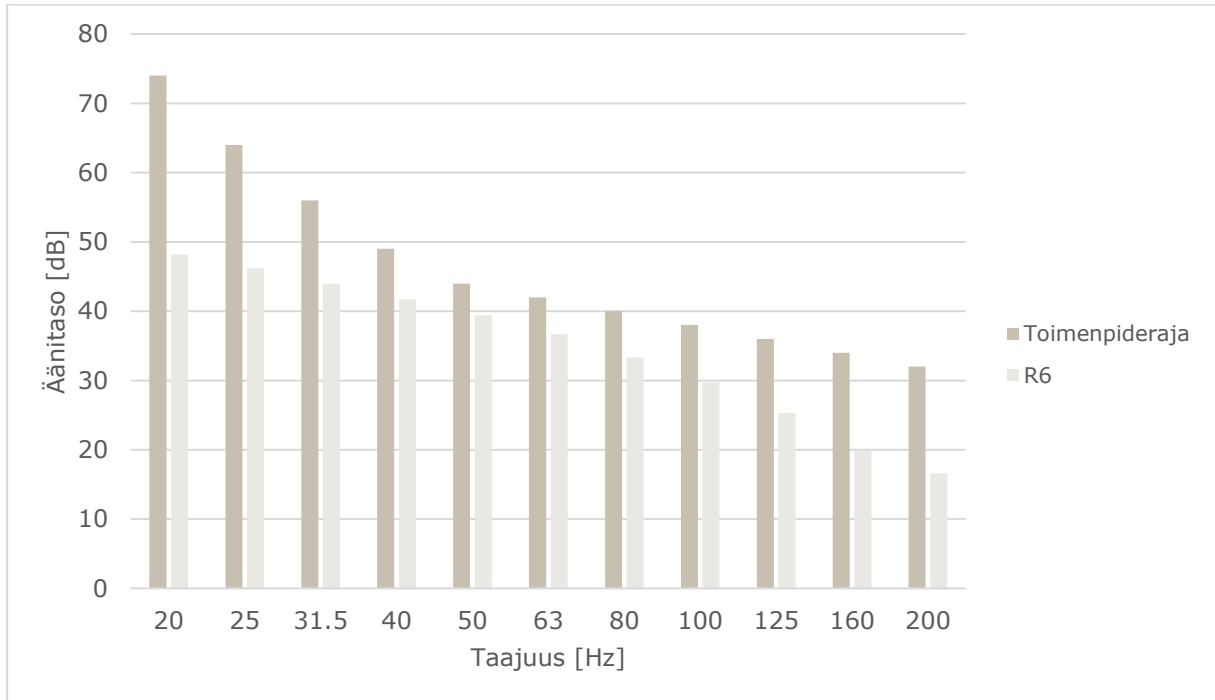
| Taajuus [Hz] | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus) | 6,6 | 8,4 | 10,8 | 11,4 | 13,0 | 16,6 | 19,7 | 21,2 | 20,2 | 21,2 | - |
| Äänitasoero [dB] (viite [4]) | 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 10) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 11). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailurakennukseen R6, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 6). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 11: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kenkäkankaan VE1, Vääräjoki, Toholampi-Lestijärvi sekä Tuppuranneva.

| taajuus | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| R1 | 54,8 | 53,4 | 52,2 | 51,0 | 49,9 | 48,6 | 47,1 | 45,4 | 43,0 | 39,8 | 38,2 |
| R2 | 53,5 | 52,1 | 50,9 | 49,7 | 48,5 | 47,3 | 45,7 | 43,9 | 41,4 | 38,0 | 36,2 |
| R3 | 55,6 | 54,3 | 53,0 | 51,8 | 50,7 | 49,5 | 48,0 | 46,3 | 43,9 | 40,7 | 39,1 |
| R4 | 55,2 | 53,9 | 52,6 | 51,4 | 50,3 | 49,0 | 47,5 | 45,8 | 43,4 | 40,2 | 38,6 |
| R5 | 55,6 | 54,3 | 53,0 | 51,8 | 50,7 | 49,4 | 47,9 | 46,2 | 43,9 | 40,6 | 39,1 |
| R6 | 55,8 | 54,5 | 53,2 | 52,0 | 50,9 | 49,7 | 48,1 | 46,5 | 44,1 | 40,9 | 39,4 |
| R7 | 53,4 | 52,2 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,2 | 45,7 | 44,0 | 41,5 | 38,2 | 36,6 |
| R8 | 52,7 | 51,5 | 50,0 | 48,8 | 47,7 | 46,4 | 44,8 | 43,1 | 40,6 | 37,2 | 35,4 |
| R9 | 51,1 | 49,9 | 48,3 | 47,1 | 46,0 | 44,7 | 43,0 | 41,1 | 38,6 | 34,9 | 32,9 |
| R10 | 52,1 | 50,8 | 49,4 | 48,2 | 47,1 | 45,8 | 44,2 | 42,3 | 39,7 | 36,2 | 34,3 |
| R11 | 50,8 | 49,5 | 48,0 | 46,8 | 45,7 | 44,3 | 42,7 | 40,8 | 38,1 | 34,4 | 32,3 |
| R12 | 51,0 | 49,8 | 48,3 | 47,1 | 46,0 | 44,7 | 43,0 | 41,1 | 38,5 | 34,8 | 32,8 |
| R13 | 51,6 | 50,5 | 48,9 | 47,7 | 46,6 | 45,3 | 43,6 | 41,8 | 39,2 | 35,6 | 33,6 |



Kuva 6: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R6 kohdalla.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapuiston ja läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutusten laskennallinen arvio. Mallinuksissa huomioitiin Kenkäkankaan suunnitelman VE1 lisäksi kolme tuulivoimapuistoa – Vääräjoki, Toholampi-Lestijärvi sekä Tuppuranneva.

Yhteisvaikutusten mallinnusten perusteella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvon. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien loma- ja asuinrakennusten kohdalla asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen alapuolella.

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: 28.02.2024 | | | |
| Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy | | | | | | | |
| Vastuhenkilöt: Juulianna Lähteinen ja Mika Laitinen | | | | | | | |
| Laatija: Juulianna Lähteinen | | | | Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen | | | |
| MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT | | | | | | | |
| Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto | | | | Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2 | | | |
| TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN) TIEDOT | | | | | | | |
| Tuulivoimalan valmistaja: Vestas | | | | Tyyppi: V162 6.8 MW P06800 (with serrated trailing edges) | | Sarjanumero/t: | |
| Nimellisteho: 6.8 MW | | Napakorkeus: 219 m | | Roottorin halkaisija: 162 m | | Tornin tyyppi: | |
| Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun | | | | | | | |
| Lapakulman säätö | | Pyörimisnopeus | | Muu, mikä | | | |
| Kyllä | dB | Kyllä | dB | | | dB | |
| Ei | Ei tiedossa | Ei | Ei tiedossa | | | dB | |
| AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT | | | | | | | |
| Third octave noise emission EnVentus™ V162 6.8 MW 50/60 Hz. Document no 0111-1246_01. 2022-01-07. | | | | | | | |
| Alla oleviin arvoihin on lisätty 2 dB:n varmuusarvo. | | | | | | | |
| Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot) | | | | | | | |
| Oktaaveittain [Hz] | | 1/3-oktaaveittain [Hz] | | | | | |
| 31,5 | | 20 | 61,8 | 200 | 93,3 | 2000 | 92,3 |
| 63 | 87,0 | 25 | 66,3 | 250 | 94,6 | 2500 | 90,5 |
| 125 | 94,6 | 31,5 | 70,6 | 315 | 95,7 | 3150 | 88,2 |
| 250 | 99,4 | 40 | 74,7 | 400 | 96,4 | 4000 | 85,6 |
| 500 | 101,5 | 50 | 78,2 | 500 | 96,8 | 5000 | 82,8 |
| 1000 | 100,7 | 63 | 81,6 | 630 | 96,9 | 6300 | 79,6 |
| 2000 | 97,2 | 80 | 84,7 | 800 | 96,6 | 8000 | 76,0 |
| 4000 | 90,8 | 100 | 87,3 | 1000 | 96,0 | 10000 | 72,3 |
| 8000 | 81,7 | 125 | 89,5 | 1250 | 95,1 | | |
| | | 160 | 91,7 | 1600 | 93,8 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------------|--------------------------------------|-----------|--|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|------------|------------|
| Melun erityispiirteiden mittausta ja havainnot: | | | | | | | | | | | |
| Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus | | | Impulssimaisuus | | | Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio) | | | Muu, mikä: | | |
| kyllä | ei | | kyllä | ei | | kyllä | ei | | kyllä | ei | |
| Laskentakorkeus | | | | | | Laskentaruudun koko [m x m] | | | | | |
| 4 m | | | | | | 10 m x 10 m | | | | | |
| Suhteellinen kosteus | | | | | | Lämpötila | | | | | |
| 70 % | | | | | | 15 C° | | | | | |
| Maastomallin lähde ja tarkkuus | | | | | | | | | | | |
| Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos | | | | | | Vaakaresoluutio: 2 m | | | Pystyresoluutio: 0,3 m | | |
| Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet | | | | | | | | | | | |
| ISO 9613-2 | | | | | | | | | | | |
| Vesialueet, (0) / (G) | | | | | | | | | | | |
| Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F) | | | | | | | | | | | |
| Maa-alueet (0) / (G) | | | | | | | | | | | |
| Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus | | | | | | | | | | | |
| Neutraali | | | | | | | | | | | |
| Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen | | | | | | | | | | | |
| Vapaa avaruus | | | | | | | | | | | |
| Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta) | | | | | | | | | | | |
| Asukkaat: 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 | 54,8 | 53,4 | 52,2 | 51,0 | 49,9 | 48,6 | 47,1 | 45,4 | 43,0 | 39,8 | 38,2 |
| R2 | 53,5 | 52,1 | 50,9 | 49,7 | 48,5 | 47,3 | 45,7 | 43,9 | 41,4 | 38,0 | 36,2 |
| R3 | 55,6 | 54,3 | 53,0 | 51,8 | 50,7 | 49,5 | 48,0 | 46,3 | 43,9 | 40,7 | 39,1 |
| R4 | 55,2 | 53,9 | 52,6 | 51,4 | 50,3 | 49,0 | 47,5 | 45,8 | 43,4 | 40,2 | 38,6 |
| R5 | 55,6 | 54,3 | 53,0 | 51,8 | 50,7 | 49,4 | 47,9 | 46,2 | 43,9 | 40,6 | 39,1 |
| R6 | 55,8 | 54,5 | 53,2 | 52,0 | 50,9 | 49,7 | 48,1 | 46,5 | 44,1 | 40,9 | 39,4 |
| R7 | 53,4 | 52,2 | 50,8 | 49,6 | 48,5 | 47,2 | 45,7 | 44,0 | 41,5 | 38,2 | 36,6 |
| R8 | 52,7 | 51,5 | 50,0 | 48,8 | 47,7 | 46,4 | 44,8 | 43,1 | 40,6 | 37,2 | 35,4 |
| R9 | 51,1 | 49,9 | 48,3 | 47,1 | 46,0 | 44,7 | 43,0 | 41,1 | 38,6 | 34,9 | 32,9 |
| R10 | 52,1 | 50,8 | 49,4 | 48,2 | 47,1 | 45,8 | 44,2 | 42,3 | 39,7 | 36,2 | 34,3 |
| R11 | 50,8 | 49,5 | 48,0 | 46,8 | 45,7 | 44,3 | 42,7 | 40,8 | 38,1 | 34,4 | 32,3 |
| R12 | 51,0 | 49,8 | 48,3 | 47,1 | 46,0 | 44,7 | 43,0 | 41,1 | 38,5 | 34,8 | 32,8 |
| R13 | 51,6 | 50,5 | 48,9 | 47,7 | 46,6 | 45,3 | 43,6 | 41,8 | 39,2 | 35,6 | 33,6 |