



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 käyttö lupien 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

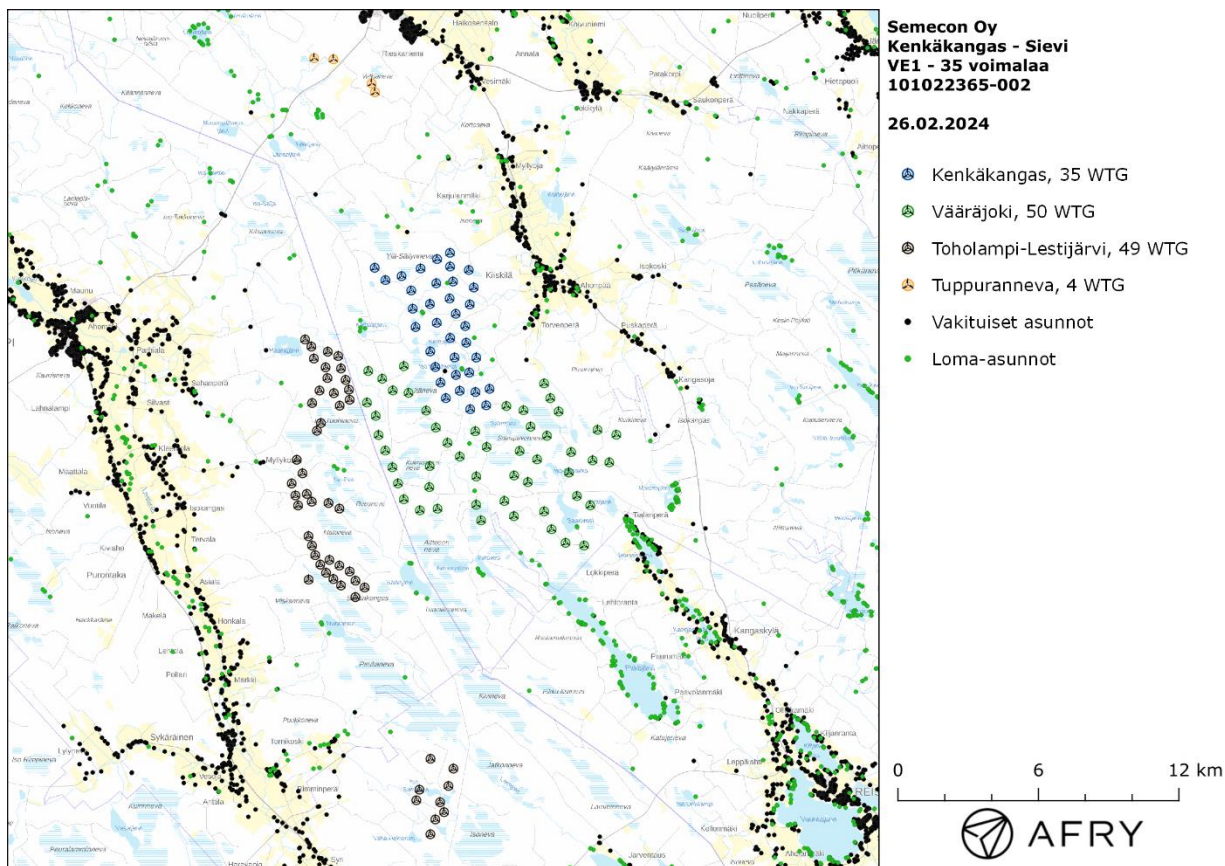
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapaiston sekä läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapaistojen melun yhteisvaikutuksia laskennallisten mallien avulla. Tuulivoimapaistojen 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 tuulivoimapaistoa sekä hieman kauempana pohjoisessa suunnitteilla yksi tuulivoimapaisto, 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 tuulivoimapaistojen 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-koordinaatissa 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

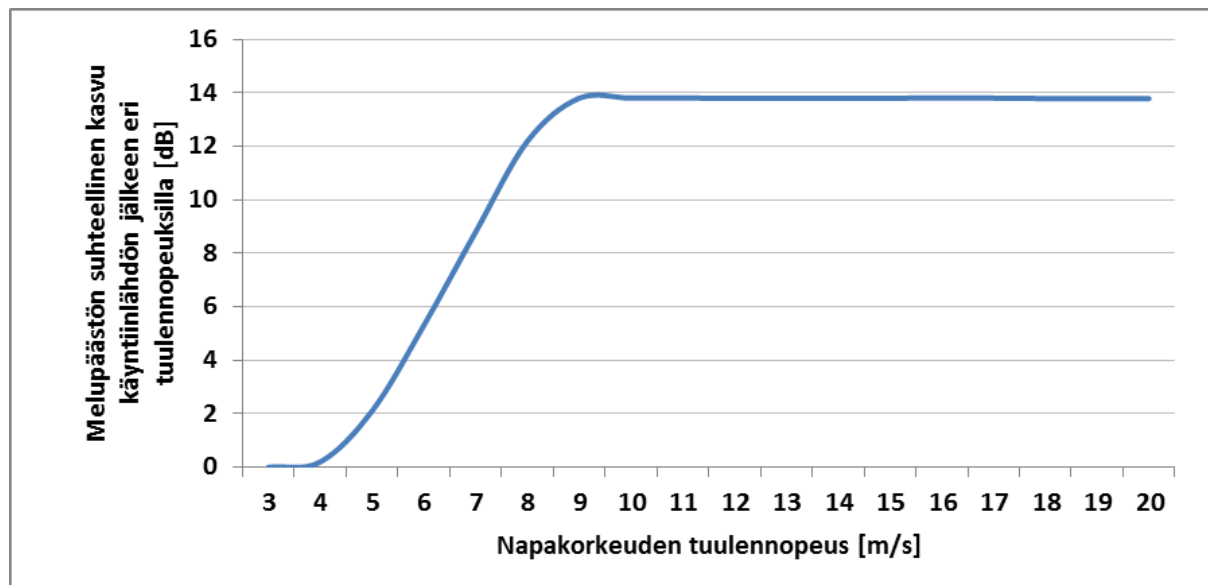
2 Tuulivoimaloiden melu

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 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 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 siipikulmasääto 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 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 sahalaoidituksen, 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) $L_{WA,d}$. 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 suunnitteluohjeistuksiin ilman erillistä epävarmuus-tarkastelua, ja äänen etenemisen ja ympäristöolosuhteiden mallinnukseen voidaan käyttää vakioituja sää- ja ympäristöolosuhteita.

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 ympäristöolosuhteita. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi matalataajuisten 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 matalataajuisen sisämelun tasot alittavat valtioneuvoston asetuksen ohjearvot ja asumisterveysasetuksen toimenpidearvot. Ympäristöministeriön asetuksen 796/2017 mukaan uudisrakennusten ulkovaipan ääneneristyksen on oltava vähintään 30 dB. Jos tuulivoimaloiden aiheuttama ulkomelutaso alittaa 40 dB(A), niin sisämelutaso pysyy uudisrakennuksilla selkeästi toimenpiderajan alapuolella. Vanhemmat rakennukset eivät kuitenkaan välttämättä toteuta uuden asetuksen vaatimustasoa.

Suomalaisten asuinrakennusten 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 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 kahden eri turbiinityypin melun taajuusjakaumia. Eri turbiinityypien 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.”

Mallinnuksissa Kenkäkankaan ja Vääräjoen voimaloille on käytetty napakorkeutta 219 m ja turbiinityyppejä V162 6.8 MW PO6800, jonka äänitehotaso on 104,5 dB(A). Mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 106,5 dB(A). Mallinnuksissa 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 turbiinityyppejä V162 6.8 MW PO6800, jonka äänitehotaso on 104,3 dB(A). Mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 106,3 dB(A). Mallinnuksissa 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 turbiinityyppejä V126 3.3 MW Mode 0 (serrated trailing edges), jonka äänitehotaso on 105,9 dB(A). Mallinnuksissa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 107,9 dB(A). Mallinnuksissa 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 mallinnuksessa. 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.

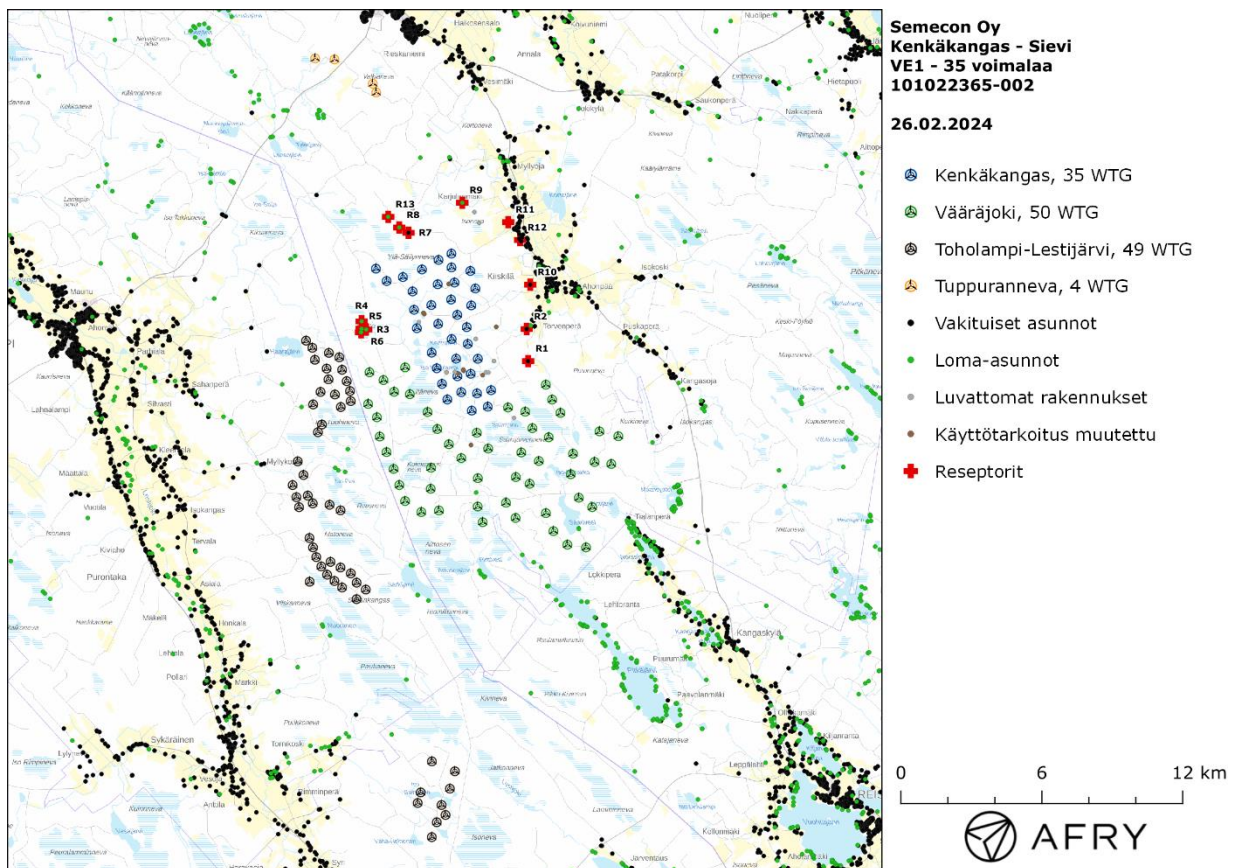
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistään, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 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 karttakuviiin 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

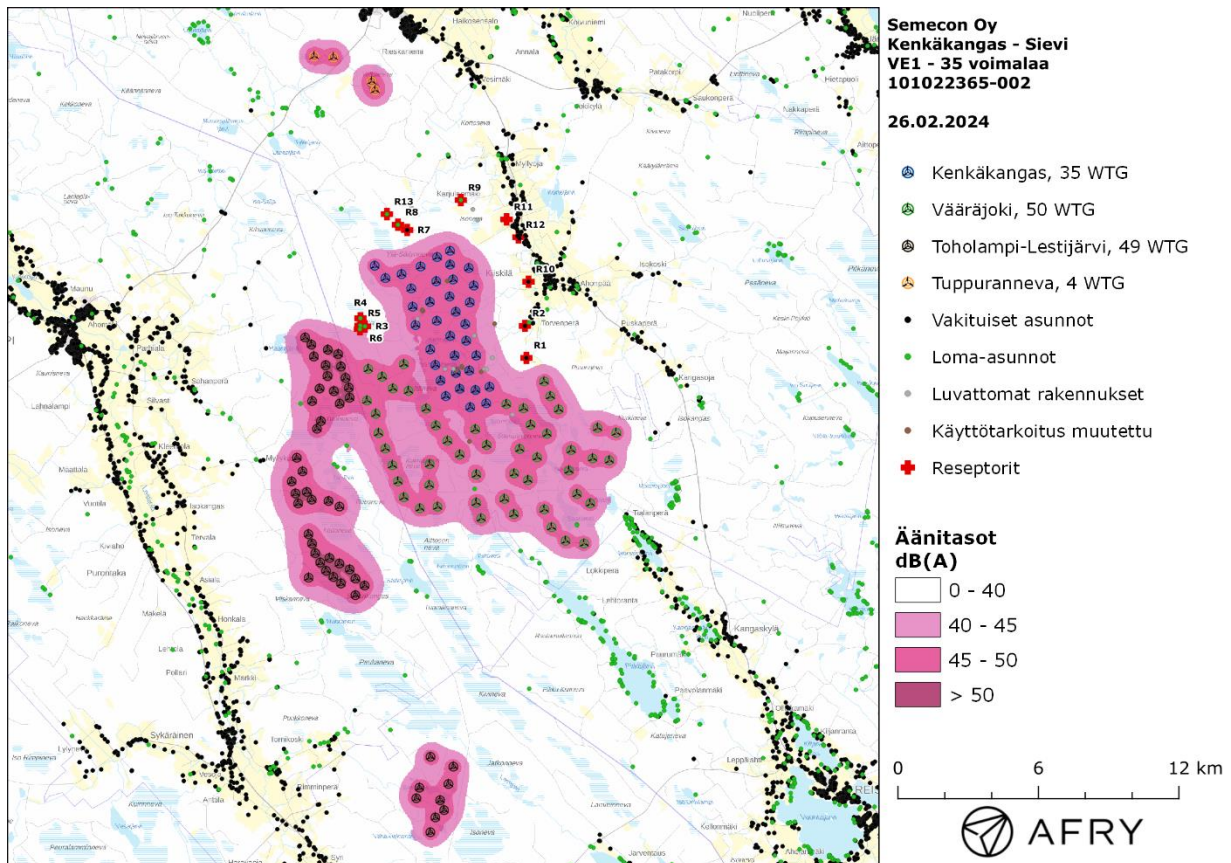


Kuva 3: Reseptoreiden paikat suhteessa tuulivoimapaistoihin. Reseptorit on valittu erityisesti Kenkäkankaan ympäristöstä.

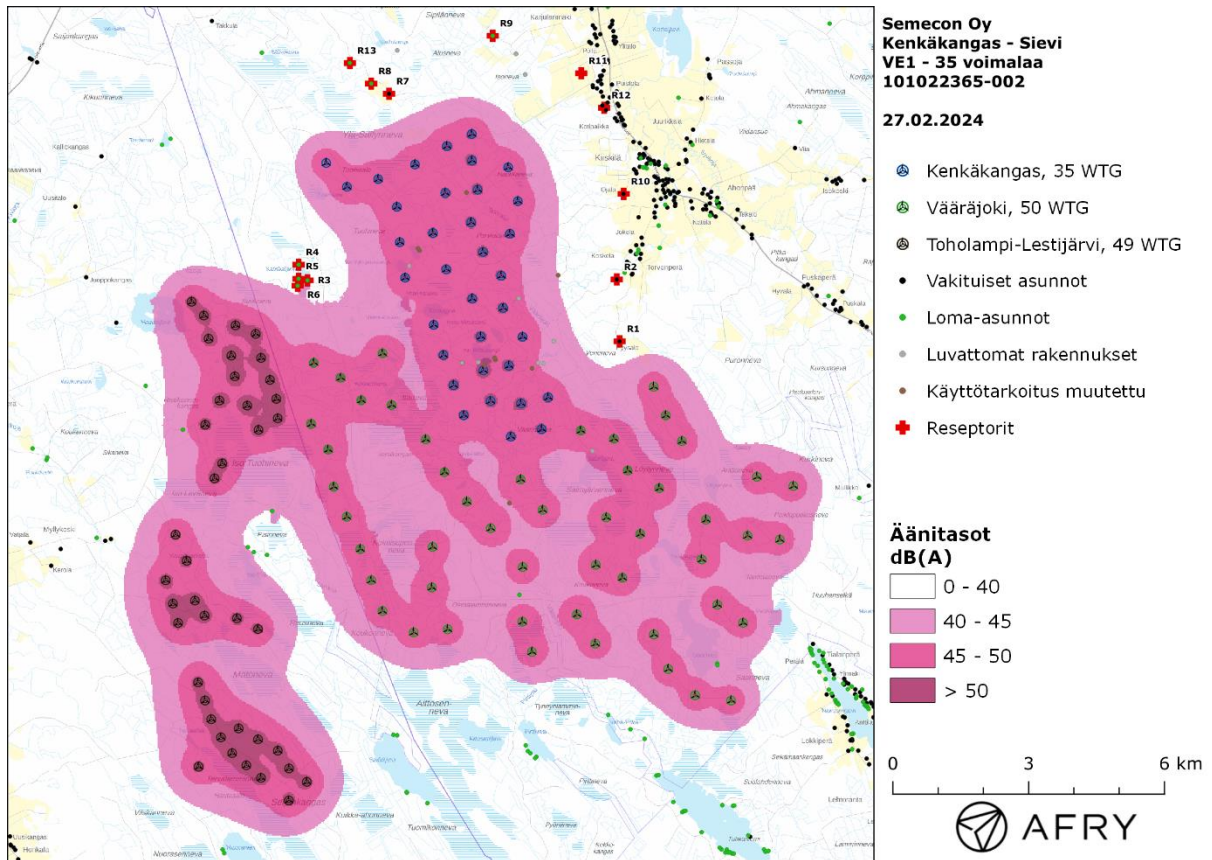
Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvana (Kuva 4) sekä lähempää karttakuvassa (Kuva 5). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maasto-tietokannan 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 määritellyjä 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.

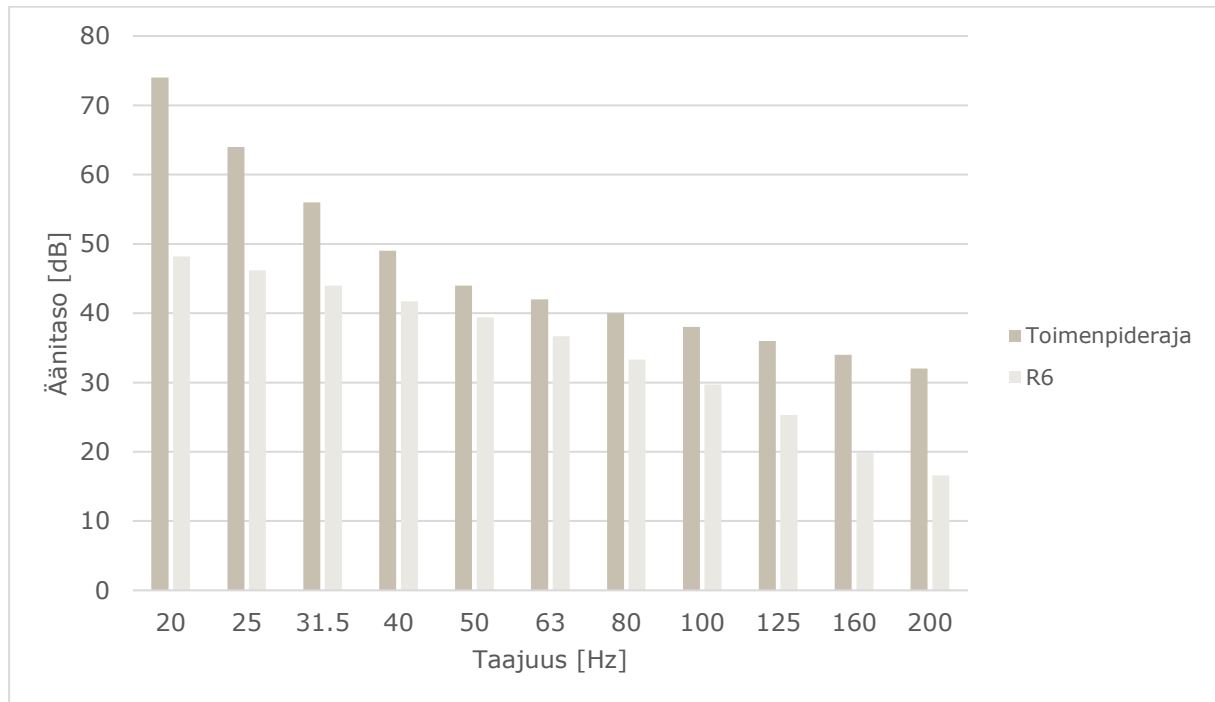
Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Äänitasoero [dB] (Tanskan ohjeistus)	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
Äänitasoero [dB] (viite [4])	7,6	8,3	9,2	10,3	11,5	13,0	14,8	16,8	18,8	21,1	22,8

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. Mallinnuksissa 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							
Vastuuhenkilöt: 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 PO6800 (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 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	54,8	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