



Semecon Oy

Kenkäkangas, yhteisvaikutukset

Tuulivoimapuiston meluselvitys

24.10.2025

Copyright © AFRY Finland Oy

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

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101032945-001.

Kannen kuva: © AFRY

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

YHTEYSTIEDOT

Hankkeesta vastaava:

Semecon Oy

Olli Malkamäki

olli.malkamaki@semecon.fi

Tekijä:

AFRY Finland Oy

Helmi Uusitalo

helmi.uusitalo@afry.com

Wind & Solar Development and Engineering

www.afry.com

Raportin tiedot:

Projektinnumero: 101032945-001

Raporttiversio: 002

Raportin tila: VALMIS

Raporttihistoria:

Versio	Pvm/Laatija	Pvm/Tarkastaja	Merkinnät/Muutokset
001	03.10.2025/ Veera Hatulainen, Technical Consultant	03.10.2025/ Riku Suutari, Senior Consultant	Alkuperäinen
002	14.10.2025/ Helmi Uusitalo, Technical Consultant	14.10.2025/ Mika Laitinen, Senior Consultant	Vääräjoen turbiinityypin muutos

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TUULIVOIMALOIDEN MELU	12
2.1	Yleistä tuulivoimamelusta	12
2.2	Melumallinnusohjeistus.....	13
2.3	Ohjearvot	14
2.4	Sisämelutasojen arviointi.....	15
3	TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS.....	16
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	16
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	24
4	YHTEENVETO.....	27
5	VIITTEET	28
6	MELUMALLINNUKSEN TIEDOT.....	29

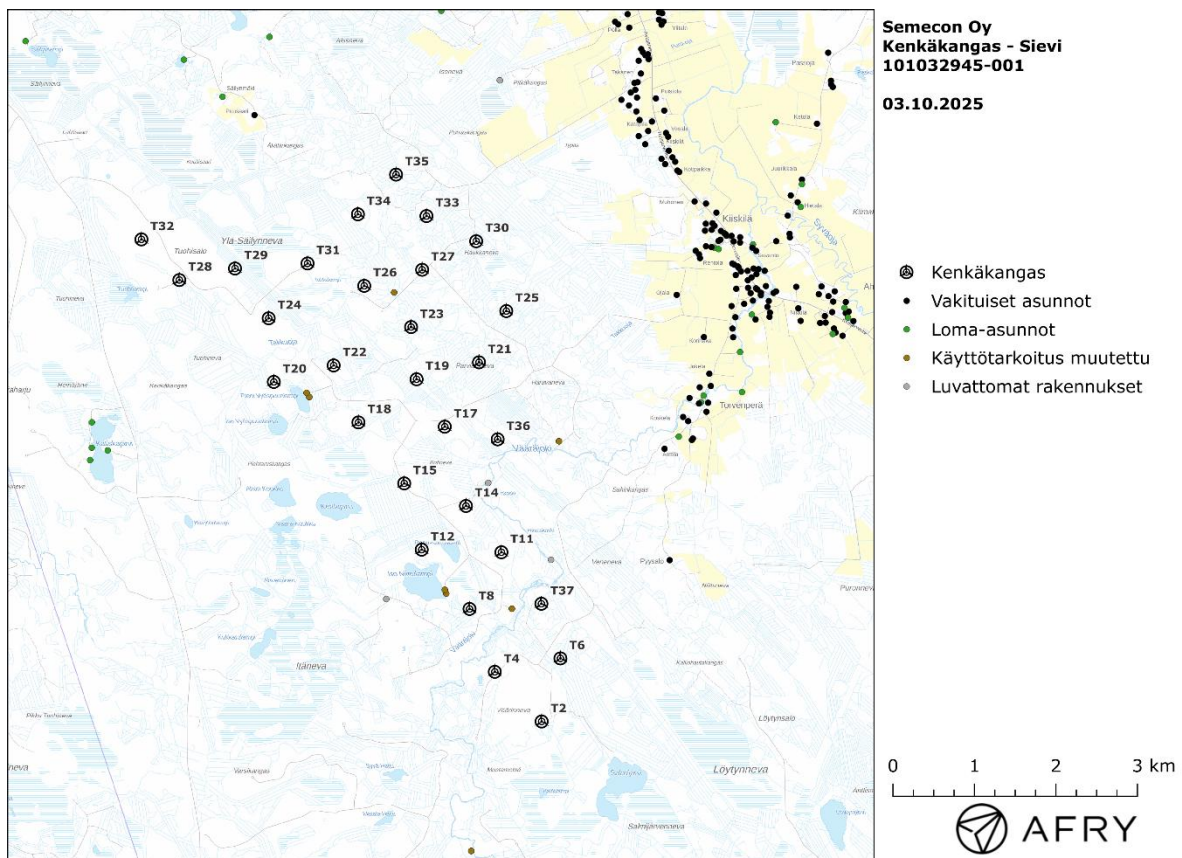
1 JOHDANTO

Selvityksessä arvioidaan Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kenkäkankaan tuulivoimapuistolle käytetään 29 voimalan suunnitelmaa. Mallinuksissa on huomioitu Kenkäkankaan lisäksi kolmen tuulivoimapuiston voimalat:

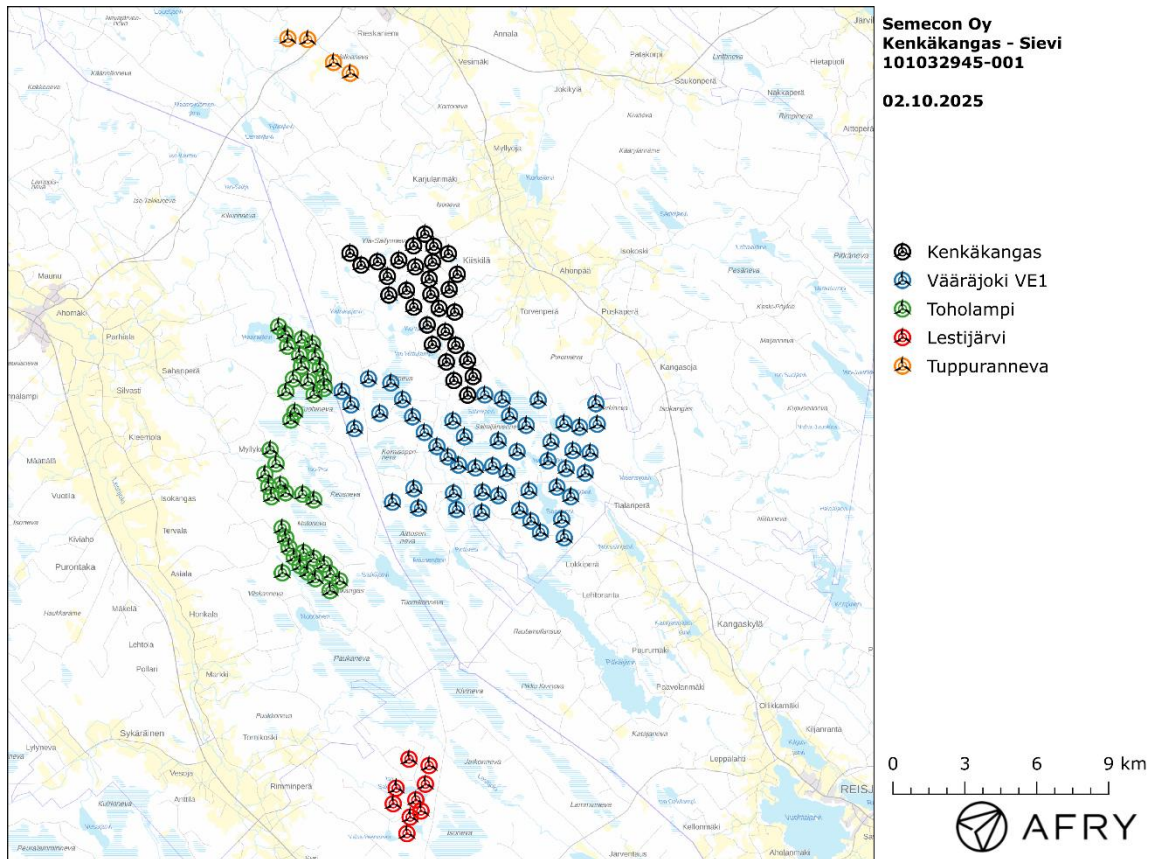
- Vääräjoki, VE1 50 voimalaa tai VE2 31 voimalaa (suunnitteilla)
- Toholampi-Lestijärvi, 49 voimalaa (suunnitteilla)
- Tuppuranneva, 4 voimalaa (suunnitteilla)

Kenkäkankaan voimaloiden sijainnit on esitetty karttapohjalla kuvassa (Kuva 1-1) ja koordinaatit annettu taulukoissa (Taulukko 1-1). Naapuripuistojen voimaloiden koordinaatit on annettu taulukoissa (Taulukko 1-2-Taulukko 1-4) ja niiden sijainti suhteessa Kenkäkankaaseen kuvissa (Kuva 1-2-Kuva 1-3).

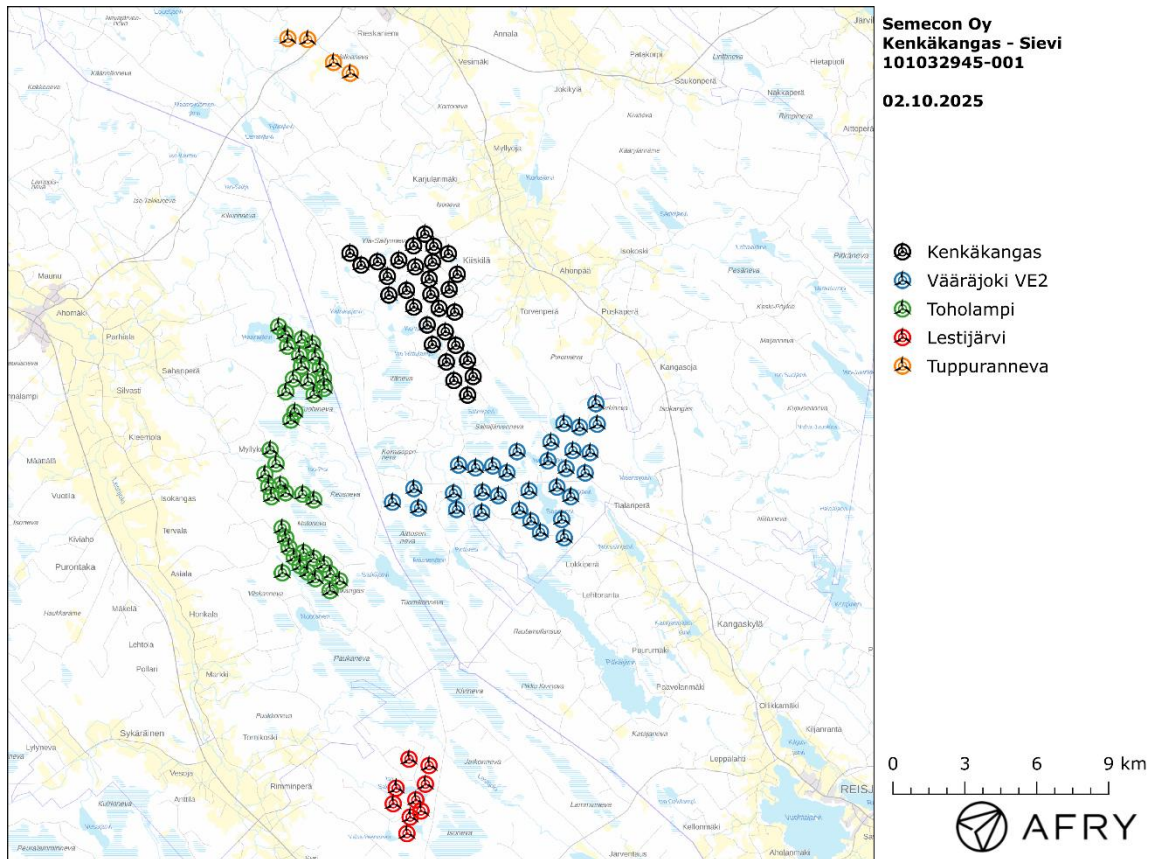
Mallinuksissa Kenkäkankaan voimaloille on käytetty napakorkeutta 214 m ja tuulivoimalatyypin V172-7.2MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumaa äänitehotasolla 109,8 dB(A) (tuulivoimalavalmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 107,8 dB(A) + varmuusarvo 2 dB(A)). Tuulivoimalatyypin melupäästön tunnusarvoa ei pystytä tässä yhteydessä määrittämään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti, joten ilmoitettuun melupäästön lukuarvoon lisätään 2 dB tunnusarvon saamiseksi. Näin määriteltynä selvityksessä käytetyt lähtömelutasot ovat ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisia melupäästön tunnusarvoja. Naapurituulipuistojen voimaloiden mallit, mitat ja äänitehotasot on esitetty kappaleessa 3.1.



Kuva 1-1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kenkäkankaan hankealueella.



Kuva 1-2: Tuulivoimaloiden sijainnit Kenkäkankaan ja naapurituulipuistojen hankealueilla. Vääräjoen tuulipuistosta on esitetty sijoitusuunnitelma VE1.



Kuva 1-3: Tuulivoimaloiden sijainnit Kenkäkankaan ja naapurituulipuistojen hankealueilla. Vääräjoen tuulipuistosta on esitetty sijoitusuunnitelma VE2.

Taulukko 1-1: Kenkäkankaan tuulivoimaloiden (29 kpl) sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
T2	382419	7071441	125
T4	381844	7072050	125
T6	382650	7072215	124
T8	381534	7072822	124
T11	381926	7073517	119
T12	380947	7073549	124
T14	381490	7074085	117
T15	380733	7074362	124
T17	381230	7075058	124
T18	380171	7075110	124
T19	380885	7075640	118
T20	379133	7075607	126
T21	381651	7075847	113
T22	379867	7075809	121
T23	380817	7076280	113
T24	379070	7076388	123
T25	381986	7076476	113
T26	380242	7076785	119
T27	380953	7076982	119
T28	377973	7076857	129
T29	378656	7076998	122
T30	381616	7077333	113
T31	379546	7077060	127
T32	377508	7077355	138
T33	381006	7077642	118
T34	380165	7077663	118
T35	380632	7078150	115
T36	381879	7074903	115
T37	382416	7072885	121

Taulukko 1-2: Vääräjoen voimalasuunnitelmien VE1 (50 kpl) ja VE2 (31 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
V1	387772	7071085	119
V2	387829	7070231	127
V3	387532	7069045	130
V4	387325	7068198	130
V5	387090	7070107	126

V6	386810	7069131	129
V7	386527	7068384	132
V8	386149	7067610	131
V9	386722	7067210	135
V10	386345	7066263	131
V11	386452	7065497	131
V12	385456	7065728	130
V13	385061	7066194	131
V14	384591	7066645	135
V15	384978	7067457	133
V16	385768	7068703	132
V17	385898	7069489	128
V18	386438	7070259	125
V19 (vain VE1)	383697	7069537	132
V20	384482	7069084	128
V21	384058	7068207	133
V22	383703	7067250	130
V23	383010	7066550	132
V24	383041	7067403	131
V25	383465	7068491	133
V26	382752	7068410	129
V27	381960	7066675	131
V28	381830	7067355	132
V29	380178	7067545	134
V30	380369	7066732	131
V31	379283	7066980	129
V32	382041	7068526	129
V33 (vain VE1)	381601	7068870	129
V34 (vain VE1)	382285	7069705	126
V35 (vain VE1)	381803	7070370	127
V36 (vain VE1)	381138	7069299	131
V37 (vain VE1)	380614	7069887	133
V38 (vain VE1)	380120	7070538	131
V39 (vain VE1)	379706	7071258	128
V40 (vain VE1)	378755	7070681	131
V41 (vain VE1)	378283	7072116	129
V42 (vain VE1)	377178	7071600	131
V43 (vain VE1)	377552	7071034	125
V44 (vain VE1)	377702	7070049	125
V45 (vain VE1)	384863	7070181	126
V46 (vain VE1)	384170	7070577	126
V47 (vain VE1)	383865	7071270	125
V48 (vain VE1)	383134	7071453	126

V49 (vain VE1)	385364	7071228	126
V50 (vain VE1)	379215	7071947	127

Taulukko 1-3: Toholampi-Lestijärven (49 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
L_49	379973	7056276	145
L_50	380811	7056009	143
L_51	380658	7055234	146
L_52	379437	7055067	146
L_53	380257	7054577	145
L_54	379315	7054419	144
L_55	380472	7054117	148
L_56	380022	7053861	146
L_57	379887	7053174	146
T_01	374534	7074294	115
T_02	374803	7073990	119
T_03	375504	7073774	119
T_04	375949	7073586	117
T_05	374910	7073480	118
T_06	375411	7073107	120
T_07	376068	7073056	121
T_08	375489	7072649	128
T_09	376265	7072570	125
T_10	376405	7072152	129
T_11	375763	7072004	127
T_12	375151	7072115	124
T_13	376436	7071723	128
T_14	376012	7071469	129
T_15	374835	7071581	129
T_17	375210	7070728	128
T_18	375041	7070400	126
T_20	374180	7069159	123
T_21	374425	7068580	128
T_22	373962	7068150	123
T_23	374820	7067372	125
T_24	374607	7067703	124
T_25	374121	7067637	131
T_26	375535	7067313	127
T_27	374235	7067210	127
T_29	376002	7067076	128
T_30	374678	7065899	134

T_31	374830	7065499	136
T_32	374968	7065086	141
T_33	375574	7064883	136
T_34	375183	7064687	140
T_35	376001	7064643	134
T_36	375430	7064338	140
T_37	376438	7064393	133
T_38	375743	7064070	140
T_39	376686	7064000	135
T_40	374687	7064039	139
T_41	377078	7063705	134
T_47	376067	7063792	141
T_48	376682	7063296	146

Taulukko 1-4: Tuppurannevan (4 kpl) tuulivoimaloiden sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus tuulivoimalan paikalla.

Tuulivoimalat	E	N	Maaston korkeus [m]
TU1	377374	7085225	120
TU2	374922	7086300	115
TU3	375744	7086256	112
TU4	377522	7084850	110

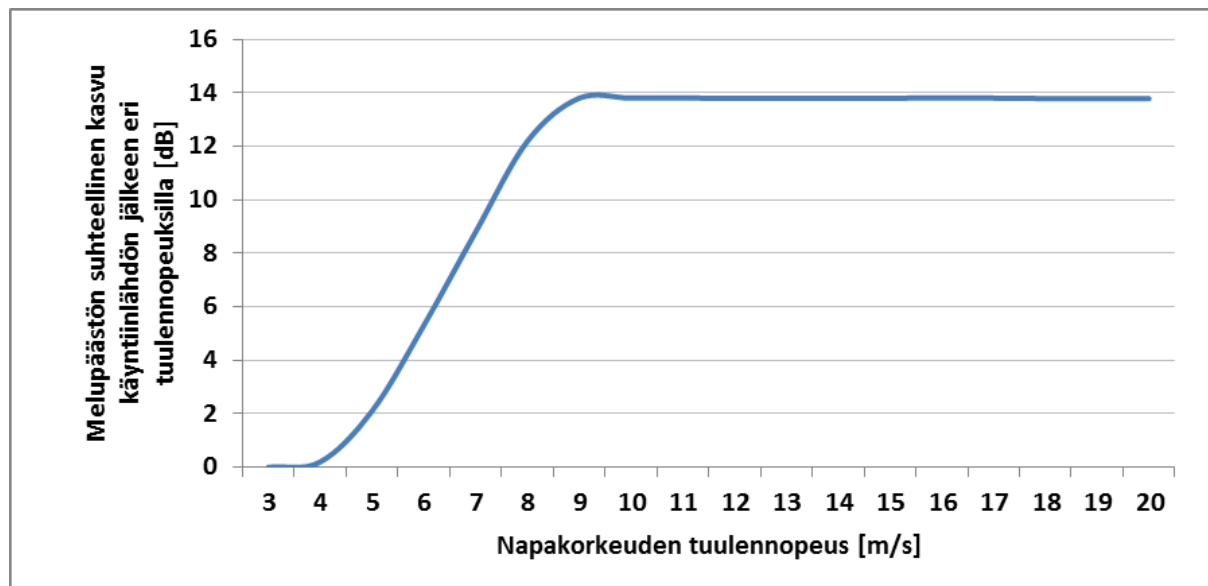
2 TUULIVOIMALOIDEN MELU

2.1 Yleistä tuulivoimamelusta

Tuulivoimalaitosten käyntiäänin 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 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 käyntiinlähön nopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (Kuva 2-1).



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

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan 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 kokemuksperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle [16].

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

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan 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 tuulivoimalan melupäästön tunnusarvoa (declared value) L_{WAd} . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Tunnusarvo koostuu mitatusta keskimääräisestä äänitehotasosta L_{WA} sekä varmuusarvosta K, joka vastaa voimalatyypin melutason vaihteluväliä 95 %:n varmuudella.

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

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

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

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

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

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

Tuulivoimamelun ohjearvot	LA _{eq} päiväajalle (klo 7–22)	LA _{eq} yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa toimenpiderajat matalataajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Melun toimenpiderajat on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 2-2). Ohjeistuksen mukaiset 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 2-2: Asumisterveysasetuksen toimenpiderajat sisämelulle terssikaistoittain. Desibeliarvot ovat taajuuspainottamattomia.

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

2.4 Sisämelutasojen arviointi

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

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

Suomalaisten asuinrakennusten ääneneristävyyttä on tutkittu artikkelissa [4], jossa on esitetty taajuuskohtaiset äänitasoerot matalille taajuuskaistoille 20-200 Hz. Artikkelin arvot (Taulukko 3-5) 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 TUULIVOIMAKOHTTEEN MELUMALLINNUS

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu laskentastandardin ISO 9613-2:2024 mukaisesti AFRY Numerola -mallinnusohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty kolmen eri voimalatyyppin taajuusjakaumia. Taajuusjakaumat on saatu seuraavista tuulivoimalavalmistajan dokumenteista:

- Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_01. 2024-11-29.
- Third octave noise emission EnVentus™ 162-6.8MW 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 [11]:

”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.”

Mallinnuksessa Kenkäkankaan voimaloille on käytetty V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 214 m. Tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 107,8 dB(A). Mallinnuksessa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,8 dB(A). Mallinnuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Mallinnuksessa Vääräjoen voimaloille on käytetty V172 7.2 MW PO7200 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 214 m. Tuulivoimalatyyppin V172 7.2 MW PO7200 äänitehotaso on 107,8 dB(A). Mallinnuksessa voimaloille on käytetty äänitehotasoa 109,8 dB(A). Mallinnuksissa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 15 m/s napakorkeudella 214 m, jonka arvioidaan vastaavan melumallinnusohjeistuksen mukaista referenssinopeutta 8 m/s 10 m korkeudella.

Mallinnuksessa Toholampi-Lestijärven voimaloille on käytetty V162-6.8MW PO6800 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 189 m. Tuulivoimalatyyppin V162-6.8MW PO6800 äänitehotaso on 104,3 dB(A). Mallinnuksessa 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.

Mallinnuksessa Tuppurannevan voimaloille on käytetty V126-3.3MW Mode 0 (with serrated trailing edges) taajuusjakaumia ja napakorkeutta 137 m. Tuulivoimalatyyppin V126-3.3MW Mode 0 äänitehotaso on 105,9 dB(A). Mallinnuksessa 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.

Tuulivoimaloiden melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa. Taulukkoon (Taulukko 3-1) on koottuna jokaiselle tuulivoimapuistolle käytetyt voimalamitat, voimalatyypit ja lähtömelutasot.

Taulukko 3-1: Mallinuksissa tuulivoimapuistoille käytetyt voimalamitat, voimalatyypit ja lähtömelutasot.

Tuulivoimapuisto	Napakorkeus	Tuulivoimalatyyppi	Lähtömelutaso
Kenkäkangas	214 m	V172-7.2MW	107,8+2 dB(A)
Vääräjoki	214 m	V172-7.2MW	107,8+2 dB(A)
Toholampi-Lestijärvi	189 m	V162-6.8MW	104,3+2 dB(A)
Tuppuranneva	137 m	V126-3.3MW	105,9+2 dB(A)

Tuulivoimalatyyppien melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön raportissa Ympäristömelun mittaaminen [12] esitettyä yksinkertaista menetelmää, joka perustuu äänitehotasojen vertailuun terssikaistoittain (1/3-oktaaveittain). Melun tulkitaan olevan kapeakaistaista, mikäli ainakin yhden terssikaistan äänitehotaso on vähintään 5 dB suurempi kuin välittömästi kyseisen kaistan ala- ja yläpuolella olevien terssikaistojen tasot. Luvussa 6 esitettyjen melun taajuusjakaumien mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

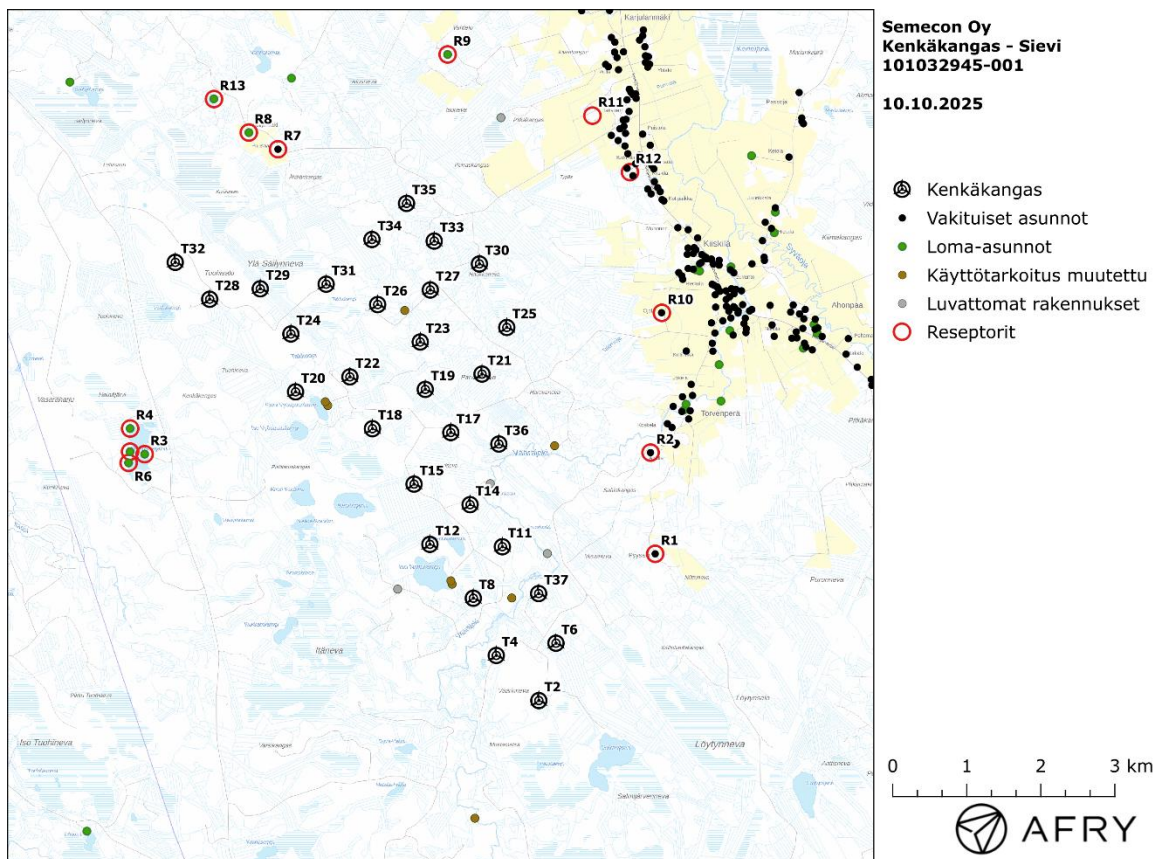
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

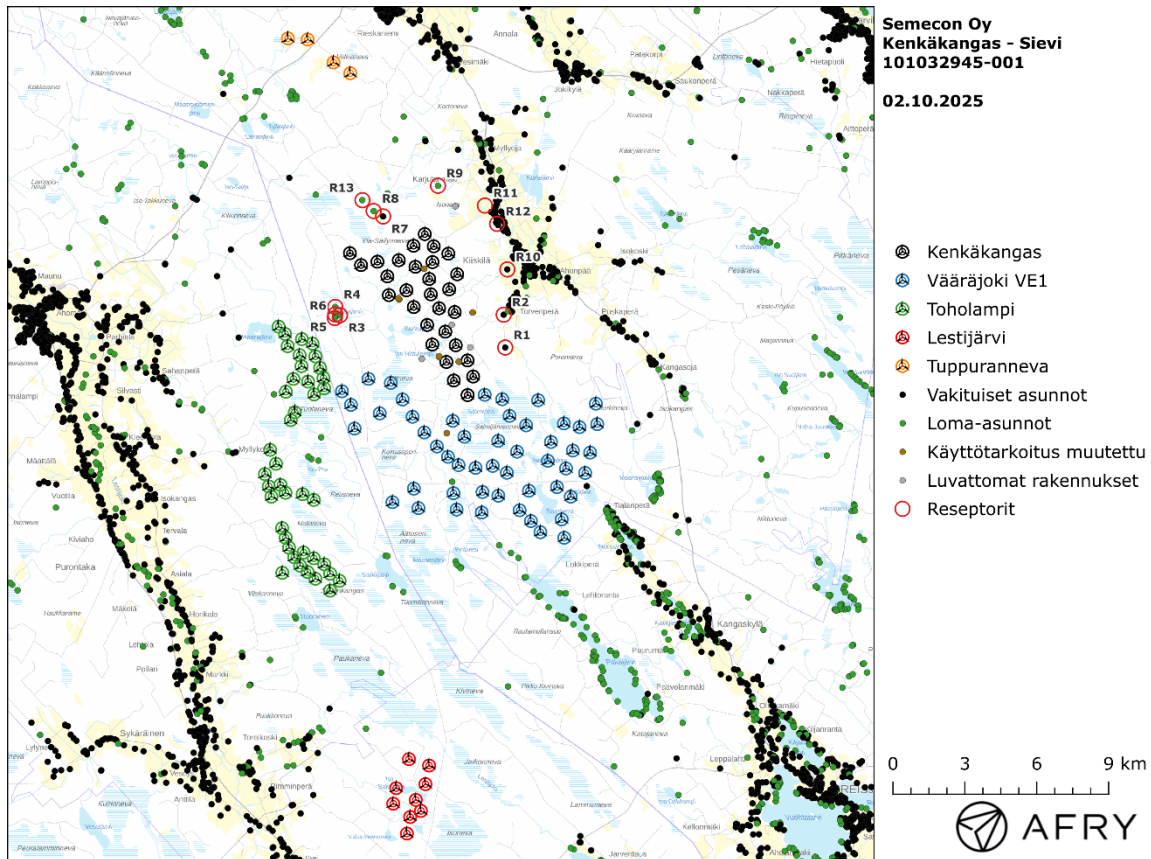
Taulukossa (Taulukko 3-2) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 13 pistettä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoa tarkastellaan tarkemmin. Pistet on valittu asuntojen kohdilta, joihin kohdistuu suurin meluvaikutus. Näitä pisteitä kutsutaan reseptoreiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 3-1). Reseptorit sijaitsevat noin 1,6–2,6 km etäisyydellä voimaloista.

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 3-2: 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 3-1: Reseptoreiden paikat Kenkäkankaan tuulivoimapuiston läheisyydessä.

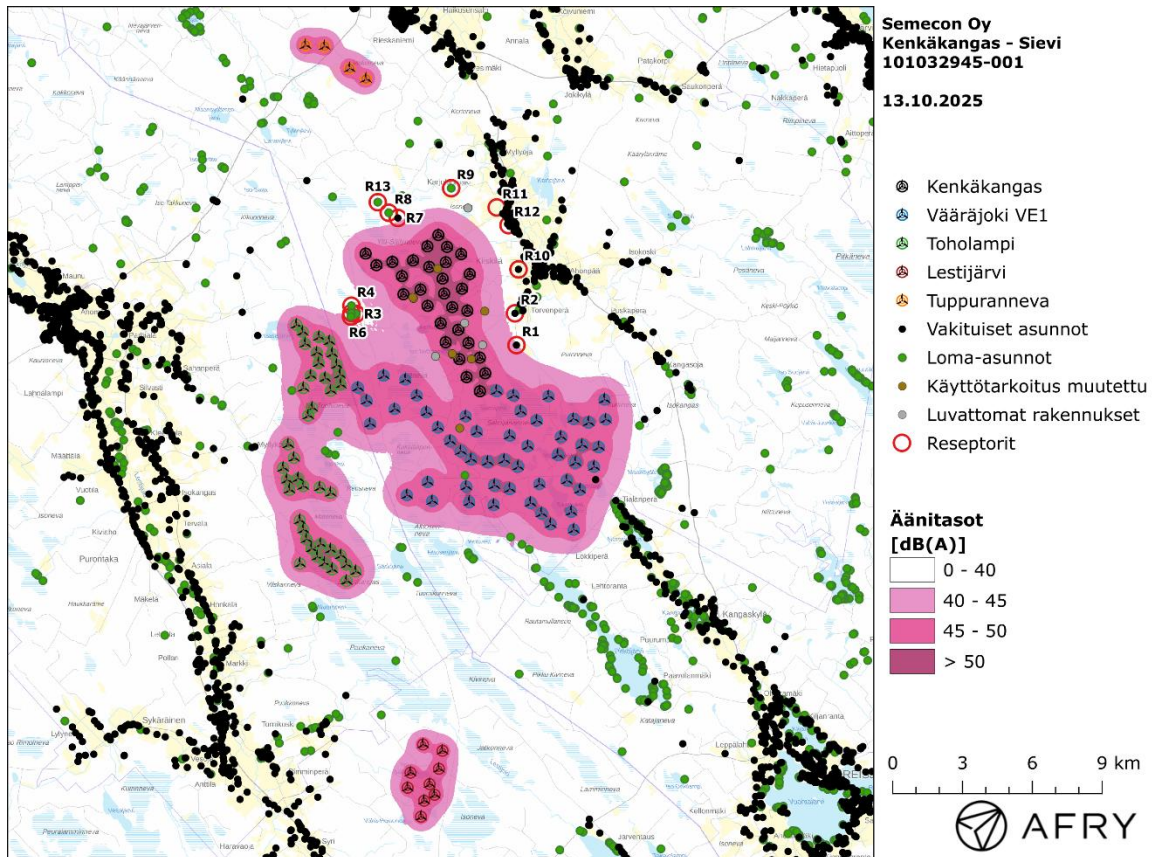


Kuva 3-2: Reseptorien paikat Kenkäkankaan ja naapurituulipuistojen läheisyydessä.

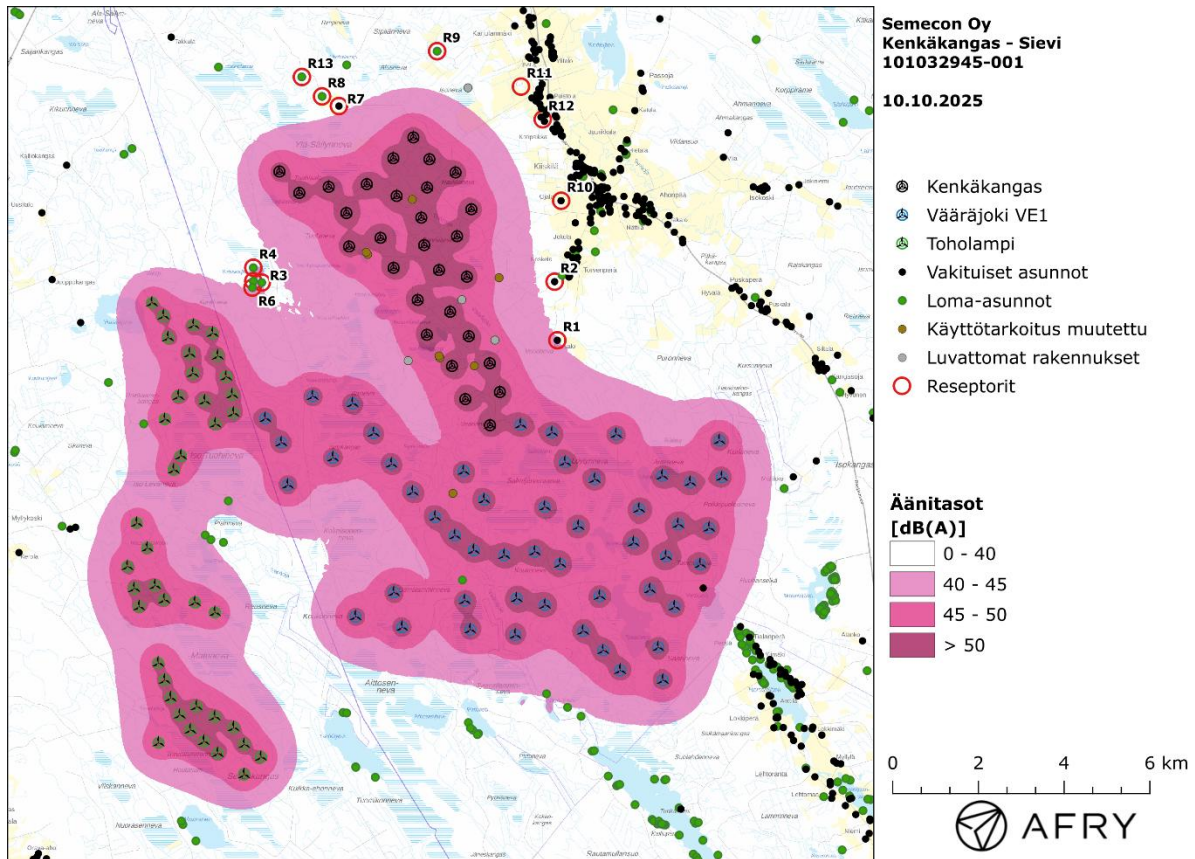
Meluvaikutus

Tuulivoimaloiden aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso LAeq on esitetty karttakuvina (Kuva 3-3-Kuva 3-6). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuvaa 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 taulukoissa (Taulukko 3-3-Taulukko 3-4). Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot ylittävät hieman valtioneuvoston asetuksen 40 dB(A):n ohjearvon Vääräjoen sijoitusvaihtoehdolla VE1 reseptorien R1 ja R6 kohdilla. Vääräjoen sijoitusvaihtoehdolla VE2 keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston ohjearvon alapuolelle kaikkien alueen asuin- ja lomarakennusten kohdilla.



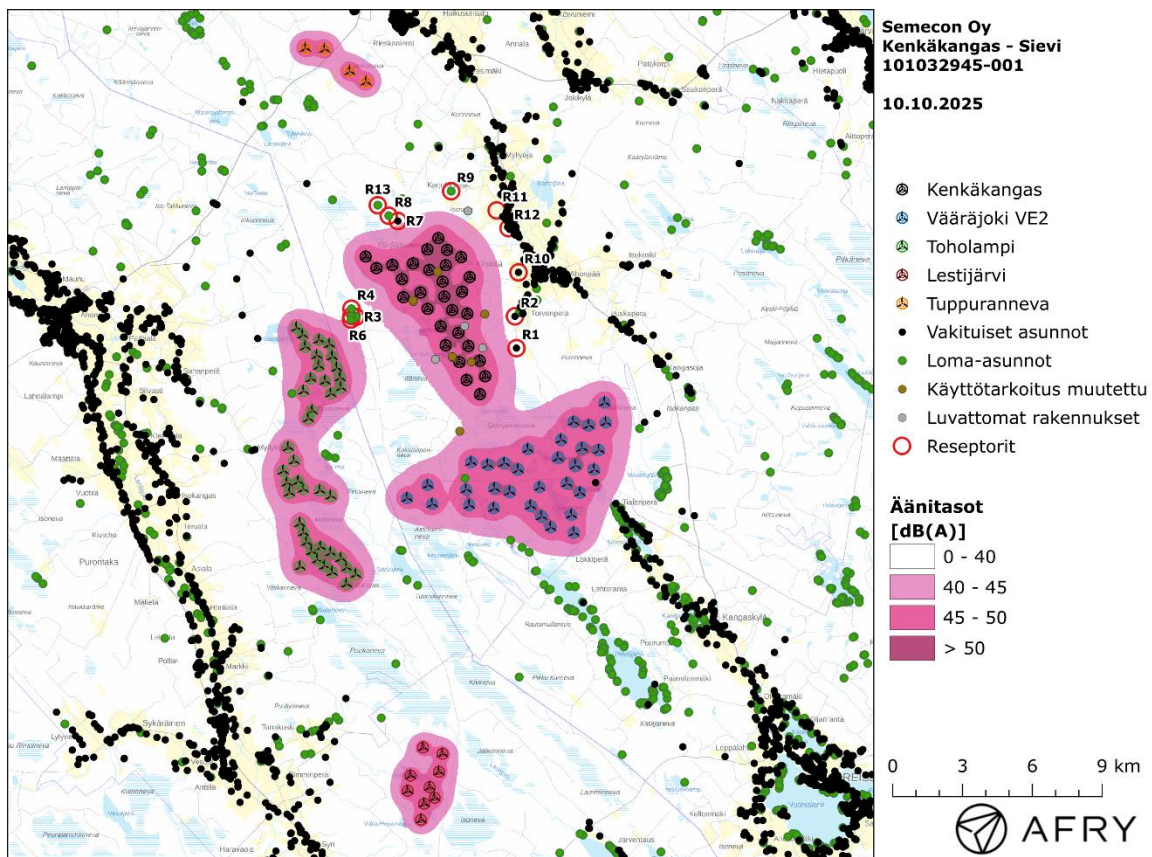
Kuva 3-3: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinuksissa huomioidaan tuulipuistot Kenkäkangas, Vääräjoki VE1, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.



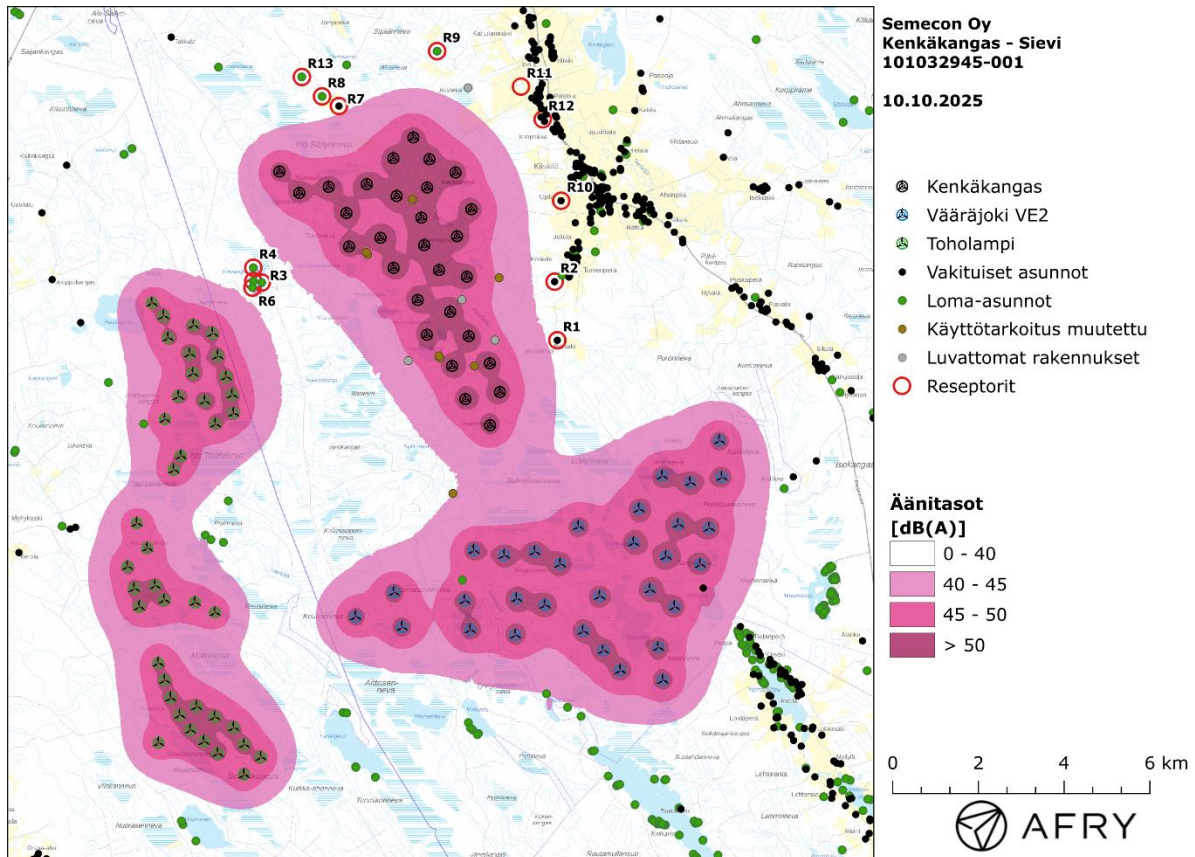
Kuva 3-4: Keskiäänitasot LAeq Kenkäkankaan tuulivoimapuiston läheisyydessä, kun mallinnuksissa huomioidaan tuulipuistot Kenkäkangas, Vääräjoki VE1, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva. Karttakuvassa ei näy Tuppurannevan voimaloita eikä Toholampi-Lestijärven Lestijärven puoleisia voimaloita.

Taulukko 3-3: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinnoissa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki VE1, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	40,2
R2	38,8
R3	39,7
R4	39,4
R5	40,0
R6	40,2
R7	39,4
R8	38,0
R9	35,6
R10	36,9
R11	35,1
R12	35,3
R13	35,6



Kuva 3-5: Keskiäänitasot LAeq, kun mallinnoissa huomioidaan tuulipuistot Kenkäkangas, Vääräjoki VE2, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.



Kuva 3-6: Keskiäänitasot LAeq Kenkäkankaan tuulivoimapuiston läheisyydessä, kun mallinuksissa huomioidaan tuulipuistot Kenkäkangas, Vääräjoki VE2, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva. Karttakuvassa ei näy Tuppurannevan voimaloita eikä Toholampi-Lestijärven Lestijärven puoleisia voimaloita.

Taulukko 3-4: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla, kun mallinuksissa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki VE2, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	38,9
R2	38,1
R3	39,1
R4	38,9
R5	39,4
R6	39,6
R7	39,3
R8	37,9
R9	35,5
R10	36,6
R11	34,9
R12	35,1
R13	35,5

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukaisesti [7]. Laskennan lähtötietona on käytetty samoja valmistajan ilmoittamia melun taajuusjakauksia 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 2-2). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien rakennusten kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia asumisterveysasetuksen arvoihin, vaan tuloksinna 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 määritetty rakennuksesta aiheutuva äänitasoero (ΔL_o) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja toimenpiderajoihin verrannolliset mallinnustulokset.

Tässä raportissa käytetyt rakennusten parametrit perustuvat tutkimukseen suomalaisten pientalojen äänieristävyiden arvoista [4]. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] äänitasoerot ylittyvät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat selkeästi alhaisempia kuin Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa annetut arvot. Ne antavat siten konservatiivisen arvion rakennusten aiheuttamalle ääneneristävyydelle, ja tässä raportissa vertailurakennusten matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia äänitasoeroja. Taulukossa (Taulukko 3-5) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut äänitasoerot.

Taulukko 3-5: Rakennuksen äänitasoerot taajuuskaistoittain.

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

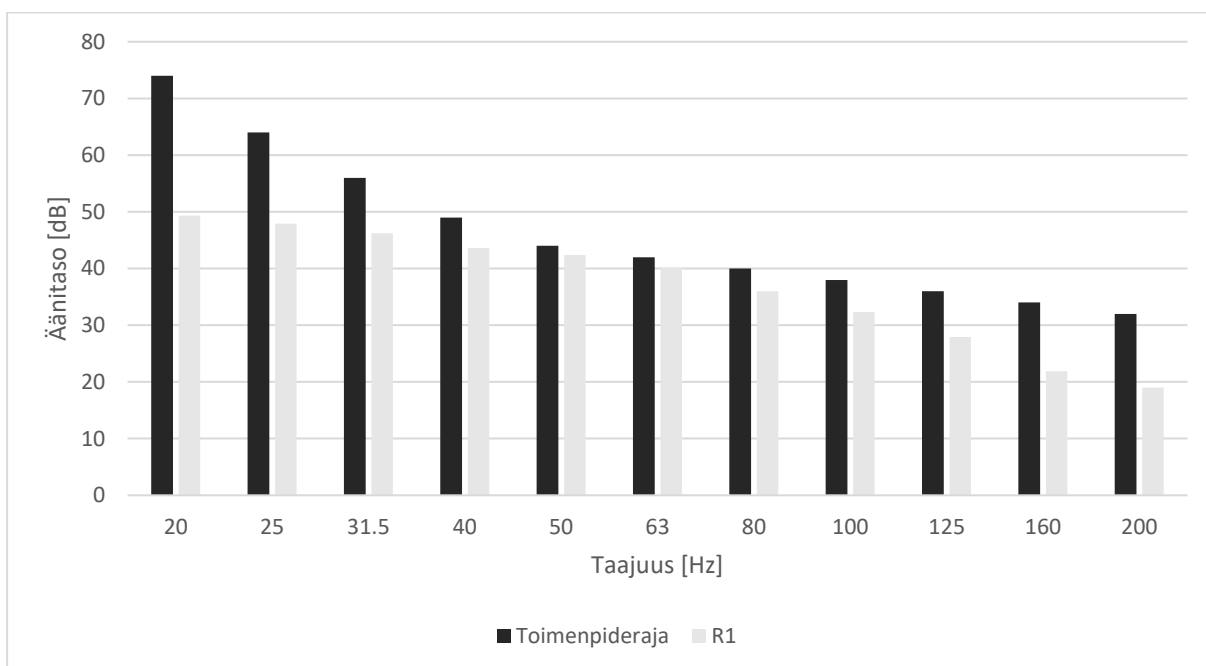
Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen reseptoreiden paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia äänitasoeroja (Taulukko 3-5) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Tuulivoimaloiden aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukoissa (Taulukko 3-6-Taulukko 3-7). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot.

Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat reseptoripisteeseen R1 (Vääräjoki VE1 ja VE2), jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumis-

terveysasetuksen arvoihin (Kuva 3-7-Kuva 3-8). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät toimenpiderajojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 3-6: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdalla, kun mallinnuksessa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki VE1, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

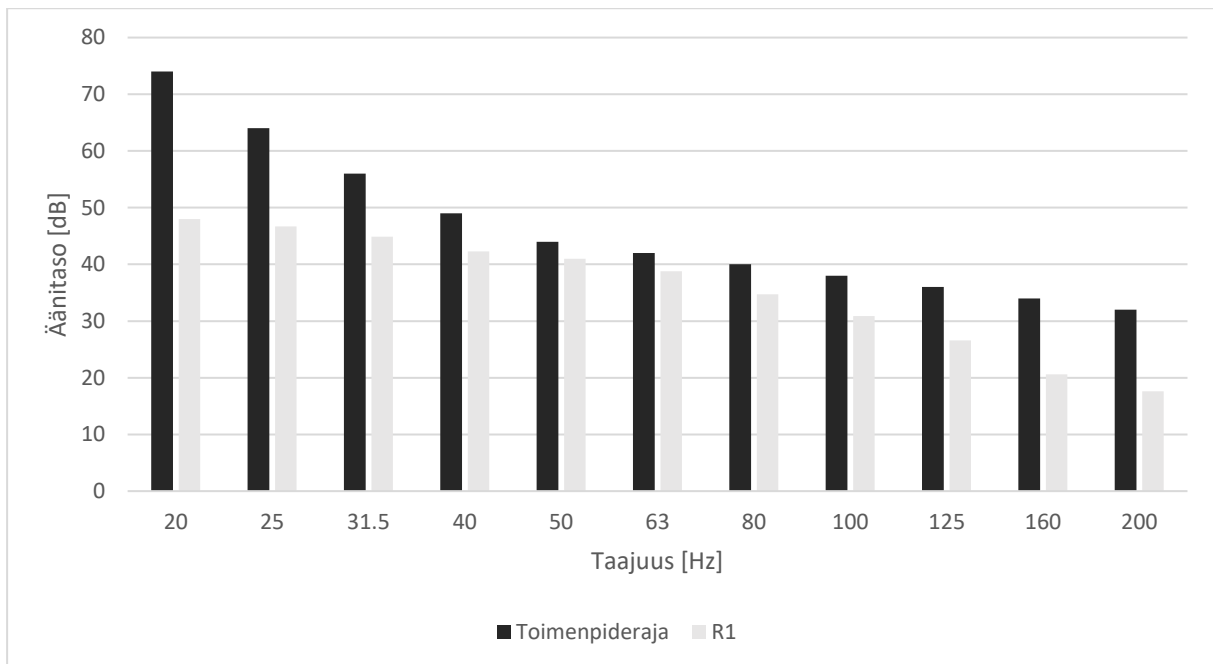
Taajuus	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	56,9	56,2	55,4	53,9	53,9	53,1	50,8	49,1	46,7	42,9	41,8
R2	55,9	55,3	54,4	52,9	52,8	52,1	49,8	48,0	45,6	41,7	40,4
R3	56,5	55,6	54,7	53,2	52,9	52,1	49,9	48,1	45,8	42,1	40,8
R4	56,2	55,4	54,4	53,0	52,7	51,8	49,7	47,9	45,5	41,8	40,5
R5	56,4	55,5	54,5	53,1	52,8	51,9	49,8	48,0	45,6	42,0	40,6
R6	56,6	55,7	54,7	53,3	52,9	52,0	49,9	48,1	45,7	42,1	40,7
R7	55,7	55,0	54,1	52,6	52,5	51,8	49,5	47,7	45,4	41,7	40,6
R8	54,8	54,2	53,2	51,7	51,6	50,9	48,6	46,7	44,4	40,5	39,4
R9	53,4	52,8	51,8	50,3	50,2	49,4	47,0	45,1	42,6	38,6	37,3
R10	54,6	54,0	53,0	51,6	51,5	50,7	48,4	46,5	44,0	40,0	38,7
R11	53,2	52,5	51,5	50,0	49,9	49,1	46,7	44,8	42,3	38,2	36,8
R12	53,5	52,9	51,9	50,4	50,3	49,5	47,1	45,2	42,7	38,6	37,2
R13	53,7	53,0	52,0	50,5	50,3	49,5	47,2	45,3	42,9	38,8	37,5



Kuva 3-7: Matalataajuisen sisämelun tasot reseptorin R1 kohdalla, kun mallinnuksessa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki VE1, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

Taulukko 3-7: Matalataajuisten ulkomelun äänitasot (dB) reseptoreiden kohdilla, kun mallinnuksessa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki VE2, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

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



Kuva 3-8: Matalataajuisten sisämelun tasot reseptorin R1 kohdalla, kun mallinnuksessa huomioidaan Kenkäkangas, Vääräjoki VE2, Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

4 YHTEENVETO

Raportissa on esitetty Sievin kunnan alueelle suunnitellun Kenkäkankaan tuulivoimapuiston ja läheisten suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen ympäristölleen aiheuttaman melun yhteisvaikutuksen laskennallinen arvio. Mallinuksissa huomioitiin Kenkäkankaan lisäksi Vääräjoen tuulivoimapuiston vaihtoehtoiset sijoitussuunnitelmat VE1 ja VE2 sekä tuulipuistot Toholampi-Lestijärvi ja Tuppuranneva.

Yhteisvaikutusten mallinnusten perusteella melutasot alueen loma- ja asuinrakennusten kohdilla ylittävät hieman valtioneuvoston ohjearvot Vääräjoen voimalasuunnitelmalla VE1 reseptorien R1 ja R6 kohdilla. Vääräjoen suunnitelmalla VE2 melutasot jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen alapuolella Vääräjoen suunnitelmilla VE1 ja VE2.

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 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.1.1993.
- [11] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [12] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [13] C. A. León: Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [14] M. Gupta, K. Madsen: Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [15] K. Bolin: The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. Acta Acustica united with Acustica, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [16] D. Halstead, N. Tam: A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International 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 raportioijan tiedot							
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101032945-001.002				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 14.10.2025			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: AFRY Finland Oy							
Vastuuhenkilöt: Helmi Uusitalo, Riku Suutari, Mika Laitinen							
Laatija: Helmi Uusitalo				Tarkastaja/hyväksyjä: Mika Laitinen			
Mallinnusohjelman tiedot							
Mallinnusohjelma ja versio: AFRY Numerola -mallinnusohjelmisto				Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2:2024			
Tuulivoimalan/Tuulivoimaloiden tiedot							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: V172 7.2 MW PO7200 (with ser- rated trailing edges)		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: 7.2 MW		Napakorkeus: 214 m		Roottorin halkaisija: 172 m		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus			Muu, mikä		
Kyllä	dB	Kyllä	dB			dB	
Ei	Ei tiedossa	Ei	Ei tiedossa			dB	
Akustiset tiedot/Laskennan lähtötiedot							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Third octave noise emission EnVentus™ 172-7.2MW 50/60 Hz. Document no. 0128-4336_01. 2024-11-29.							
Alla oleviin arvoihin on jo lisätty 2 dB:n varmuusarvo.							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,7	200	97,7	2000	97,2
63	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		
		160	95,6	1600	97,5		

Melun erityispiirteiden mittaus ja havainnot:

Kapeakaistaisuus/ tonaalisuus		Impulssimaisuus		Merkityksellinen sykintä (amplitudi- modulaatio)		Muu, mikä:					
kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei	kyllä	ei				
Laskentakorkeus						Laskentaruudun koko [m x m]					
4 m						10 m x 10 m					
Suhteellinen kosteus						Lämpötila					
70 %						15 C°					
Maastomallin lähde ja tarkkuus											
Maastomallin lähde: Maanmittauslaitos						Vaakaresoluutio: 2 m		Pystyresoluutio: 0,3 m			
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet											
ISO 9613-2:2024											
Vesialueet, (0) / (G)											
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)											
Maa-alueet (0) / (G)											
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus											
Neutraali											
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen											
Vapaa avaruus											
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)											
Asukkaat: 0 kpl				Vapaa-ajan rakennukset: 0 kpl				Hoito- ja oppilaitokset: 0 kpl			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille											
Virkistysalueet: 0 kpl						Luonnonsuojelualueet: 0 kpl					
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella (Vääräjoki VE1):											
Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	56,9	56,2	55,4	53,9	53,9	53,1	50,8	49,1	46,7	42,9	41,8
R2	55,9	55,3	54,4	52,9	52,8	52,1	49,8	48,0	45,6	41,7	40,4
R3	56,5	55,6	54,7	53,2	52,9	52,1	49,9	48,1	45,8	42,1	40,8
R4	56,2	55,4	54,4	53,0	52,7	51,8	49,7	47,9	45,5	41,8	40,5
R5	56,4	55,5	54,5	53,1	52,8	51,9	49,8	48,0	45,6	42,0	40,6
R6	56,6	55,7	54,7	53,3	52,9	52,0	49,9	48,1	45,7	42,1	40,7
R7	55,7	55,0	54,1	52,6	52,5	51,8	49,5	47,7	45,4	41,7	40,6
R8	54,8	54,2	53,2	51,7	51,6	50,9	48,6	46,7	44,4	40,5	39,4
R9	53,4	52,8	51,8	50,3	50,2	49,4	47,0	45,1	42,6	38,6	37,3
R10	54,6	54,0	53,0	51,6	51,5	50,7	48,4	46,5	44,0	40,0	38,7
R11	53,2	52,5	51,5	50,0	49,9	49,1	46,7	44,8	42,3	38,2	36,8
R12	53,5	52,9	51,9	50,4	50,3	49,5	47,1	45,2	42,7	38,6	37,2
R13	53,7	53,0	52,0	50,5	50,3	49,5	47,2	45,3	42,9	38,8	37,5