

Tuulivoimahankkeen meluselvitys

NIVALA - KUKONAHO

KALLE AUVINEN

25.02.2021

Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen meluselvitys: Kukonaho, Nivala
Layout: 200917
TV-2019-501-4, 25.02.2021

Raportin tekijät

Kalle Auvinen, Numerola Oy
kalle.auvinen@numerola.fi

Vastaanottaja

Niklas Hokka
TM Voima Kukonaho Oy

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>

Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Nivalan kaupungin Kukonahon alueelle suunnitellun seitsemän tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden aiheuttamat äänitasot lasketaan käyttäen kokonaisäänitehotasoa 108,0 dB(A) vastaavaa taajuusjakaumaa. Melumallinnuksessa ja raportoinnissa noudatetaan ympäristöministeriön julkaisemaa mallinnusohjeistusta. Tulosten arvioinnissa käytetään valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön sekä ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

Versiohistoria

Versio	Päiväys	Muutokset	Tekijä
00	28.1.2019		Pinja Pesonen Erkki Heikkola
01	26.8.2019	Muutos turbiinien sijainneissa	Erkki Heikkola
02	1.11.2019	Muutos turbiinien kokonaiskorkeudessa	Erkki Heikkola
03	02.10.2020	Turbiinisijoittelun muutos	Erkki Heikkola
04	25.02.2020	Turbiinisijoittelun muutos	Kalle Auvinen

Tulosten käyttö- ja jakeluoikeudet

Tämä raportti on luottamuksellinen ja laadittu yksinomaan raportissa mainitun vastaanottajan käyttöön.

Asiakas voi kuitenkin käyttää tämän selvityksen tuloksia lähtötietoina raportissa mainitun kohteen tuulivoimaan liittyvissä jatkoselvityksissä ja suunnittelutyössä (ympäristöselvitykset, kaavoitus jne.) sekä hankkeiden toimijoiden valinnassa. Tulosten jakelu viranomaisille ja hankkeessa työskenteleville muille sidosryhmille (mm. ympäristövaikutusten arviointia laativat konsultit) on myös sallittu luottamuksellisena, mutta tieto jakelusta on toimitettava Numerola Oy:lle.

Muutoin aineiston esittely ja jakaminen edellyttävät Numerolan lupaa.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
2	Tuulivoimaloiden melu	6
2.1	Melumallinnusohjeistus	6
2.2	Ohjeavot.....	7
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus	8
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus	8
3.2	Matalataajuisen melun mallinnus	11
4	Yhteenveto	13
5	Viitteet	14
6	Melumallinnuksen tiedot	15

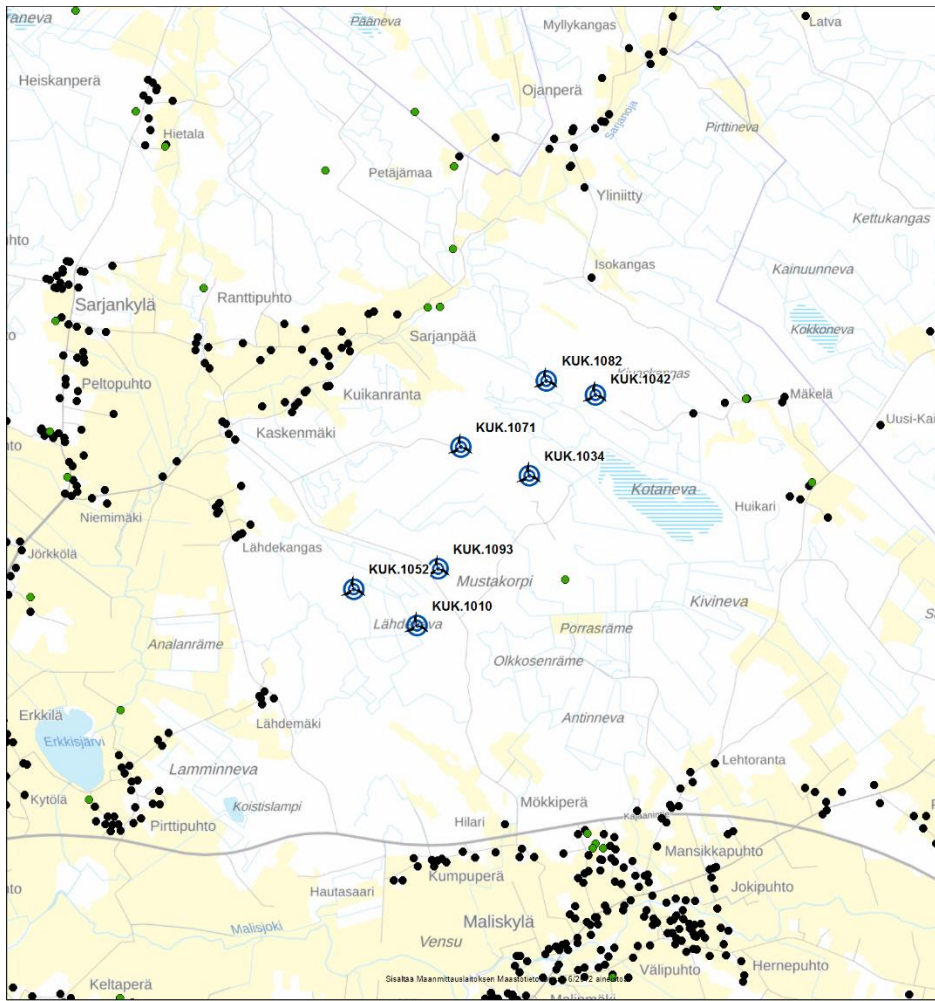
1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Nivalan kaupungin Kukanahon alueelle suunnitellun seitsemän tuulivoimalan aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1). Mallinuksissa on käytetty turbiinityypin GE158 5,5 MW valmistajan ilmoittamia teknisiä tietoja, roottorin halkaisijaa 175 m ja napakorkeutta 142,5 m (kokonaiskorkeus 230 m). Voimalatyyppin valmistajan ilmoittama maksimiääni-tehotaso on 106,0 dB(A) ja melumallinuksessa käytettiin valmistajan 1/3-oktaaveittain ilmoittamaa taajuus-jakaumaa. Valmistajan ilmoittamiin melupäästöarvoihin on lisätty ympäristöministeriön 14.9.2016 antaman lisäohjeistuksen mukainen 2 dB:n varmuusarvo [10].

Karttakuvassa (Kuva 1) on esitetty voimaloiden lähellä sijaitsevien asuntojen sijainnit Maanmittauslaitoksen maastotietokannan mukaisesti. Lähimpänä voimaloita olevat asuinrakennukset sijaitsevat voimaloiden itä-puolella noin kilometrin etäisyydellä.




Taulukko 1: Turbiinin sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiinipaikalla.

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
KUK.1010	408404	7096567	111
KUK.1034	409573	7098129	122
KUK.1042	410264	7098972	123
KUK.1052	407742	7096948	109
KUK.1071	408857	7098427	115
KUK.1082	409752	7099120	116
KUK.1093	408619	7097160	118



Kohde: Kukanaho, Nivala, 7 voimalaa
Asiakas: TM Voima Kukanaho Oy

Numerola Oy / 24.02.2021

-  Tuulivoimalat
-  Asuinrakennukset
-  Lomarakennukset

Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kukanahon alueella.

2 Tuulivoimaloiden melu

Tuulivoimalaitosten melu aiheutuu pääosin lapojen tuottamasta aerodynaamisesta laajakaistaisesta (60-4000 Hz) melusta [1][5]. Muita melulähteitä ovat sähköntuotantokoneiston yksittäiset osat (esim. vaihteisto ja generaattori), jotka tuottavat pääosin mekaanista melua. Tätä on pystytty tehokkaasti vaimentamaan, kun taas lapojen aerodynaamiseen meluun on vaikeampaa vaikuttaa. Aerodynaaminen melu on hallitseva varsinkin suurilla turbiineilla, ja se on lapojen pyörimisen vuoksi jaksottaista ja sisältää myös matalataajuisia komponentteja. Tuulivoimaloiden aiheuttaman melun voimakkuuteen, taajuuteen ja ajalliseen vaihteluun vaikuttavat erityisesti voimalatyyppi, voimaloiden lukumäärä, niiden etäisyys tarkastelupisteeseen ja tuulen nopeus. Melun leviäminen ympäristöön riippuu paikallisten maasto-olosuhteiden lisäksi hetkellisistä sääoloista kuten tuulen nopeudesta ja ilmakehän tasapainotilasta. Tarkempia taustatietoja tuulivoimaloiden aiheuttaman melun syntymekanismeista, luonteesta ja vaikutuksista on koottuna julkaisuihin [1], [2] ja [5].

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.

2.1 Melumallinnusohjeistus

Melumallinnuksen lähtötietona käytetään standardin *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 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 tuuliturbiinien melupäästön arvoon, jolloin mallinnustuloksia voidaan suoraan verrata suunnitteluohjeistuksiin ilman erillistä epävarmuustarkastelua, 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 ISO 9613-2 -standardiin perustuvia sää- ja ympäristöolosuhteita. Maaston pinnan laatu ja muoto otetaan mallinnuksessa erillisinä huomioon. Lisäksi pieni-taajuisen 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. Pienitaajuisen 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.

2.2 Ohjearvot

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

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

Valtioneuvoston ohjearvot on koottu taulukkoon (Taulukko 2).

Taulukko 2: Mallinnustulosten arvioinnissa sovellettavat valtioneuvoston asetuksen mukaiset ohjearvot.

	Päivä 07-22	Yö 22-07
	L_{Aeq} [dB]	L_{Aeq} [dB]
Pysyvä asutus, loma-asutus, hoitolaitokset, leirintäalueet	45	40
Kansallispuistot	40	40
Oppilaitokset, virkistysalueet	45	-

Sosiaali- ja terveysministeriö on määrittänyt 15.5.2015 voimaan astuneessa asumisterveysasetuksessa enimmäisarvot pienitaajuiselle yöaikaiselle melulle sisätiloissa [6]. Ohjearvot on annettu terssikaistoittain painottamattomille tunnin keskiäänitasoille, ja ne on lueteltu taulukossa (Taulukko 3). Ohjeistuksen mukaiset mallinnustulokset vastaavat pienitaajuisen melun tasoa ulkotiloissa, joten ne eivät ole suoraan verrannollisia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Ulkomelutasojen avulla voidaan kuitenkin arvioida sisämelutasoja, kun rakennuksen vaipan ääneneristävyys tunnetaan riittävällä tarkkuudella.

Taulukko 3: Asumisterveysasetuksen ylärajat 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

3 Tuulivoimakohteen melumallinnus

3.1 Keskiäänitasojen LAeq mallinnus

Tuulivoimaloiden aiheuttaman keskiäänitason mallinnus on suoritettu ISO 9613-2 -laskentastandardin mukaisesti Numerola Oy:n implementoimalla ohjelmistolla. Mallinnuksessa on käytetty turbiinityypin GE158 5,5 MW valmistajan ilmoittamien tietojen perusteella määritetyt melupäästön tunnusarvoja:

- Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems 4.x/5.x-158 – 50 Hz, Product Acoustic Specifications According to IEC 61400-11, Incl. Octave on 1/3rd Octave Band Spectra, Rev. 01 – EN 2020-01-27.

Dokumentissa 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."

Mallinnuksessa käytettiin äänitehotasoa 108,0 dB(A) (106,0 dB(A) + 2 dB(A)), jota voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön tunnusarvona. Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 142,5 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Turbiinityypin melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön Ympäristömelun mittaaminen –raportissa [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 esitetyn melun taajuusjakauman mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

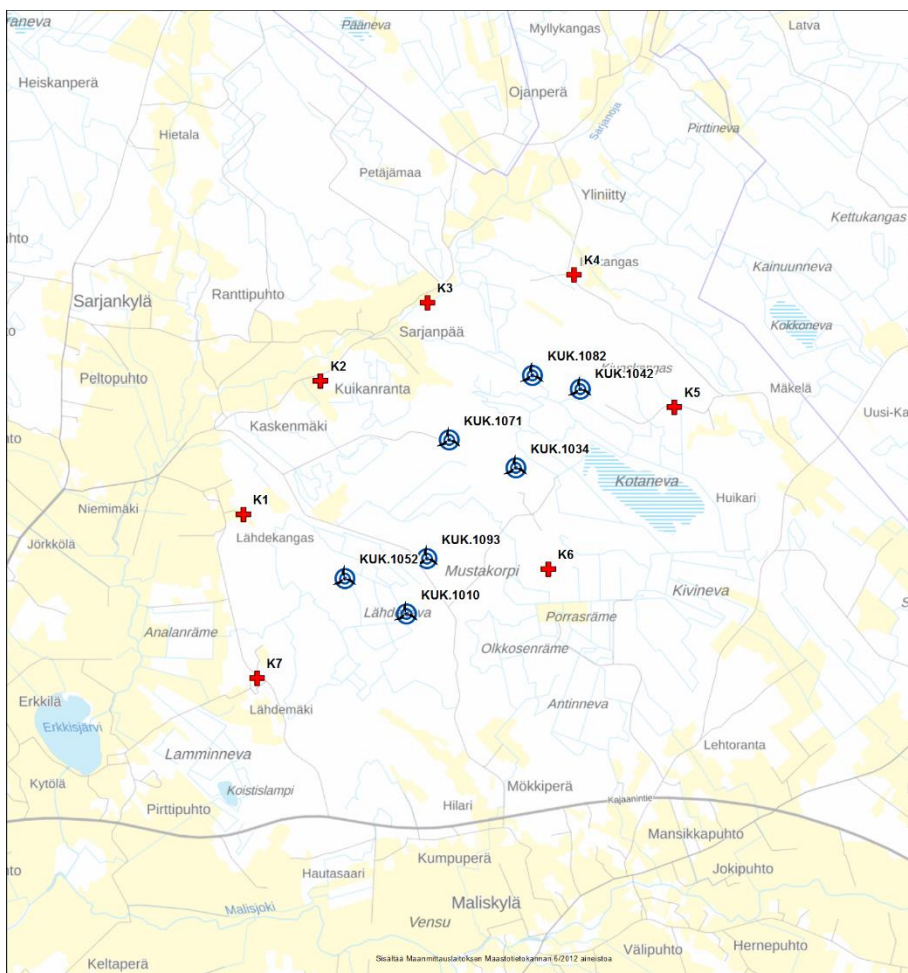
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio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

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä seitsemän vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuuden melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttaphjalla

(Kuva 2). Kiinteistö K5 sijaitsee lähimmillään 1,0 km etäisyydellä, ja muut vertailukiinteistöt sijaitsevat 1,1–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
K1	406655	7097631	96
K2	407484	7099055	102
K3	408628	7099893	103
K4	410196	7100189	118
K5	411270	7098779	119
K6	409920	7097044	118
K7	406804	7095881	99



Kohde: Kukonaho, Nivala, 7 voimalaa
Asiakas: TM Voima Kukonaho Oy

Numerola Oy / 24.02.2021

- Tuulivoimalat
- Reseptorit

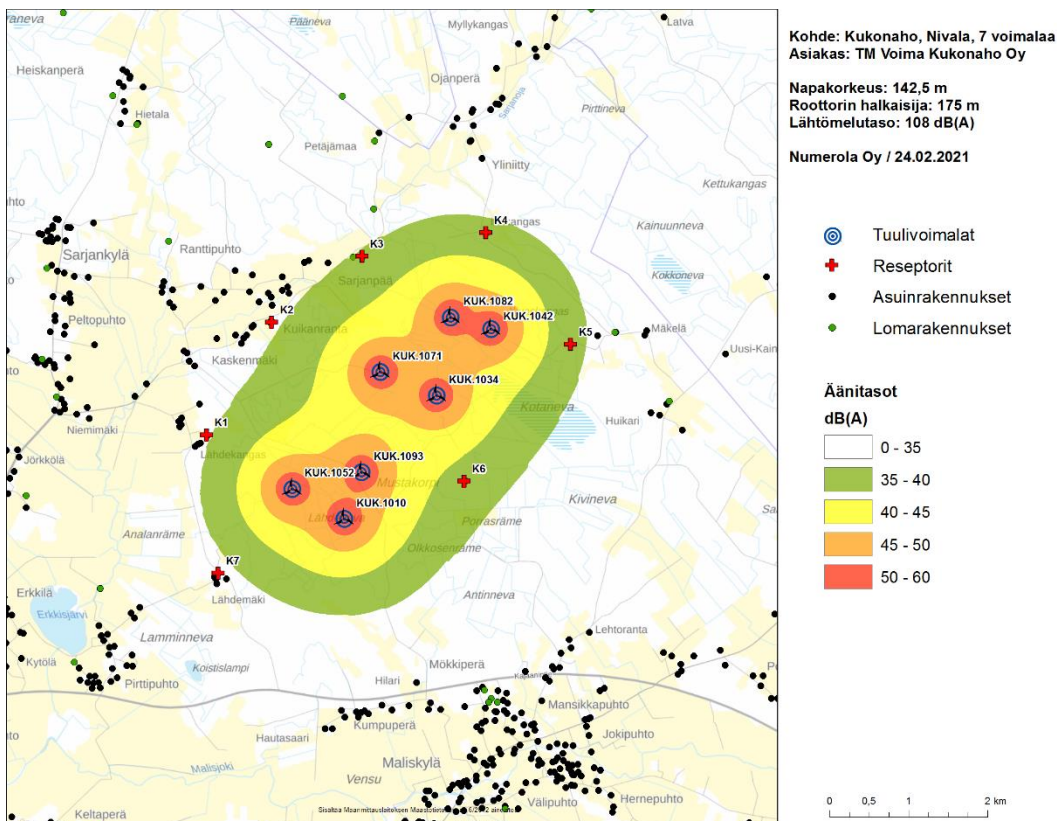
Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kukonahon alueella.

Meluvaikutus

Turbiinien aiheuttama mallinnettu keskiäänitaso Laeq on esitetty karttakuvana (Kuva 3). Alueen rakennustieto perustuu Maanmittauslaitoksen maastotietokannan aineistoon, jossa on eritelty alueen asuinrakennukset ja loma-asunnot. Karttakuviin on merkitty keskiäänitasojen 35 dB(A), 40 dB(A), 45 dB(A) ja 50 dB(A) mukaiset vyöhykkeet. Nämä ovat tulosten arvioinnissa käytettäviä ohjeellisia melutasoja. Mallinnustulosten perusteella keskiäänitasot jäävät valtioneuvoston asetuksen ohjearvojen alapuolelle kaikkien alueen rakennusten kohdilla. Äänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.

Reseptori	Äänitaso dB(A)
K1	34,5
K2	34,2
K3	35,7
K4	36,8
K5	36,9
K6	38,1
K7	33,9



Kuva 3: Keskiäänitasot LAeq Kukonahon alueella.

3.2 Matalataajuisen melun mallinnus

Matalataajuisen melun laskenta on suoritettu ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen [7] mukaisesti. Laskennan lähtötietona on käytetty samaa valmistajan ilmoittamaa melun taajuusjakamaa 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 pienitaajuisen melun yöaikaisille *sisämelutasoille* (Taulukko 3). Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen mallinnus antaa matalataajuisen *ulkomelun* tasot voimaloita lähimpien kiinteistöjen kohdilla. Tulokset eivät siis ole suoraan vertailukelpoisia ohjearvojen kanssa, vaan tulkinnassa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyys.

Ympäristöministeriön ohjeiden mukainen matalataajuisen melun laskenta perustuu Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa esitettyyn menetelmään [3], jonka parametreihin on tehty joitakin Suomen olosuhteisiin perustuvia tarkennuksia. Tanskan menetelmässä on määritelty rakennuksen ääneneristävyysparametri (ΔL_o) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4] annetut ääneneristävyysarvot. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyysarvot 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 vertailukiinteistöjen matalataajuisia sisämelutasoja arvioidaan käyttäen näitä alempia ääneneristävyysarvoja.

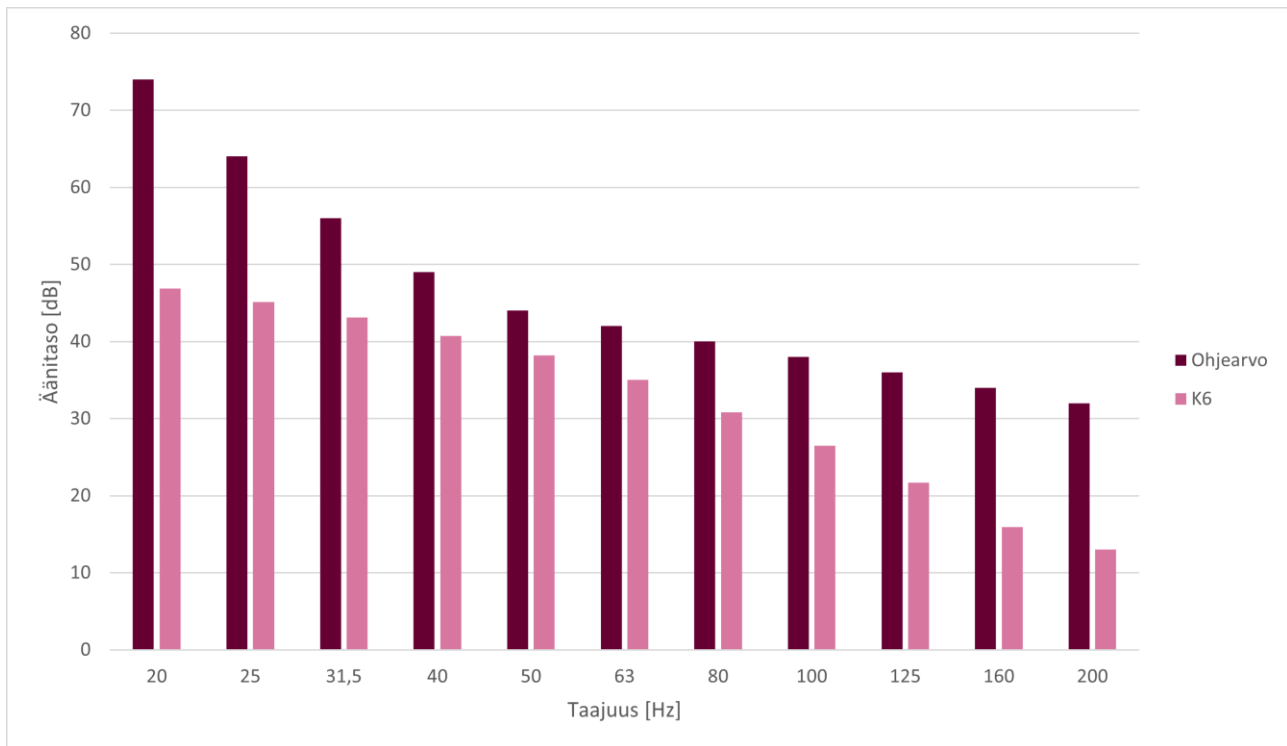
Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyysarvoja taajuuskaistoittain.

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

Melutasoja tarkastellaan aiemmin määriteltyjen vertailukiinteistöjen paikoilla. Lisäksi lasketaan sisämelutasot eniten melulle altistuvassa kohteessa käyttäen alempia ääneneristysarvoja (Taulukko 6) ja verrataan näitä tuloksia Asumisterveysasetuksen arvoihin. Turbiinien aiheuttama matalataajuinen ulkomelutaso reseptoreiden kohdilla taajuuskaistoittain ja ilman taajuuspainotusta on lueteltu taulukossa (Taulukko 7). Taulukkoon on eritelty ohjeistuksen mukaisesti lasketut ulkotilojen melutasot. Korkeimmat matalataajuisen melun tasot kohdistuvat vertailukiinteistöön K6, jonka kohdalla on laskettu myös sisämelutasot ja verrattu niitä Asumisterveysasetuksen arvoihin (Kuva 4). Kun otetaan huomioon rakennuksien ääneneristävyys, melutasot jäävät asetusarvojen alapuolelle koko taajuusvälillä.

Taulukko 7: Matalataajuisen ulkomelun äänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla.

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
K1	51,9	50,8	49,7	48,4	47,1	45,3	43,0	40,6	37,8	34,2	32,9
K2	51,9	50,8	49,7	48,3	47,0	45,3	43,0	40,5	37,7	34,1	32,7
K3	52,7	51,6	50,5	49,2	47,9	46,2	43,8	41,4	38,6	35,0	33,8
K4	53,2	52,0	50,9	49,6	48,3	46,6	44,3	41,9	39,1	35,6	34,4
K5	53,2	52,1	51,0	49,7	48,4	46,7	44,4	42,0	39,2	35,6	34,5
K6	54,5	53,4	52,3	51,0	49,7	48,0	45,6	43,3	40,5	37,0	35,8
K7	51,2	50,1	49,0	47,6	46,3	44,6	42,3	39,8	37,0	33,4	32,1


Kuva 4: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön K6 kohdalla.

4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Nivalan kaupungin Kukonahon alueelle suunnitellun tuulivoimapuiston ympäristölleen aiheuttaman meluvaikutuksen laskennalliset arviot. Mallinnusten perusteella melutasot alueen loma-asuntojen ja asuinrakennusten kohdilla jäävät alle valtioneuvoston ohjearvojen. Myös matalataajuisen melun tasot pysyvät kaikkien rakennusten kohdalla asumisterveysasetuksessa asetettujen arvojen 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 facades at frequencies 5-5000 Hz, Building and Environment 156, 2019.
- [5] S. Uosukainen: Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys, VTT Tiedotteita 2529, 2010.P. Durbin, B. Petterson Reif, "Statistical Theory and Modelling for Turbulent Flows", Wiley, 2001.
- [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. Päiväys 2016. Ympäristöhallinnon ohjeita 5 | 2016.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. Ympäristöministeriö, 14.9.2016.
- [11] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.

6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT					
Mallinnusraportin numero/tunniste: TV-2019-501-4			Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 25.02.2021		
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä					
Vastuuhenkilöt: Kalle Auvinen, Erkki Heikkola					
Laatija: Kalle Auvinen			Tarkastaja/hyväksyjä: Pasi Tarvainen		
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT					
Mallinnusohjelma ja versio: Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)			Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2		
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)					
Tuulivoimalan valmistaja: General Electric			Tyyppi: GE158		Sarjanumero/t:
Nimellisteho: 5,5 MW	Napakorkeus: 142,5 m		Roottorin halkaisija: 175 m	Tornin tyyppi: Concrete hybrid tower	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun					
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä	
Kyllä	dB	Kyllä	dB		dB
Ei		Ei			dB

AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
Technical Documentation Wind Turbine Generator Systems 4.x/5.x-158 – 50 Hz, Product Acoustic Specifications According to IEC 61400-11, Incl. Octave on 1/3 rd Octave Band Spectra, Rev. 01 – EN 2020-01-27							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön tunnusarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
		20	65,1	200	92,8	2000	96,3
63	89,2	25	69,8	250	94,3	2500	94,3
125	94,6	31,5	74,2	315	95,6	3150	91,7
250	99,2	40	78,1	400	96,1	4000	87,9
500	101,6	50	81,4	500	96,9	5000	83,8
1000	103,3	63	84,2	630	97,5	6300	77,5
2000	101,1	80	86,4	800	98	8000	67,9
4000	93,7	100	88,1	1000	98,5	10000	55,3
8000	78,0	125	89,7	1250	99		
		160	91,2	1600	97,7		
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			
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			
Pienitaajuisten melun laskentamenetelmä:							
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella							
Hz	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
20	51,9	51,9	52,7	53,2	53,2	54,5	51,2
25	50,8	50,8	51,6	52,0	52,1	53,4	50,1
31,5	49,7	49,7	50,5	50,9	51,0	52,3	49,0
40	48,4	48,3	49,2	49,6	49,7	51,0	47,6
50	47,1	47,0	47,9	48,3	48,4	49,7	46,3
63	45,3	45,3	46,2	46,6	46,7	48,0	44,6
80	43,0	43,0	43,8	44,3	44,4	45,6	42,3
100	40,6	40,5	41,4	41,9	42,0	43,3	39,8
125	37,8	37,7	38,6	39,1	39,2	40,5	37,0
160	34,2	34,1	35,0	35,6	35,6	37,0	33,4
200	32,9	32,7	33,8	34,4	34,5	35,8	32,1