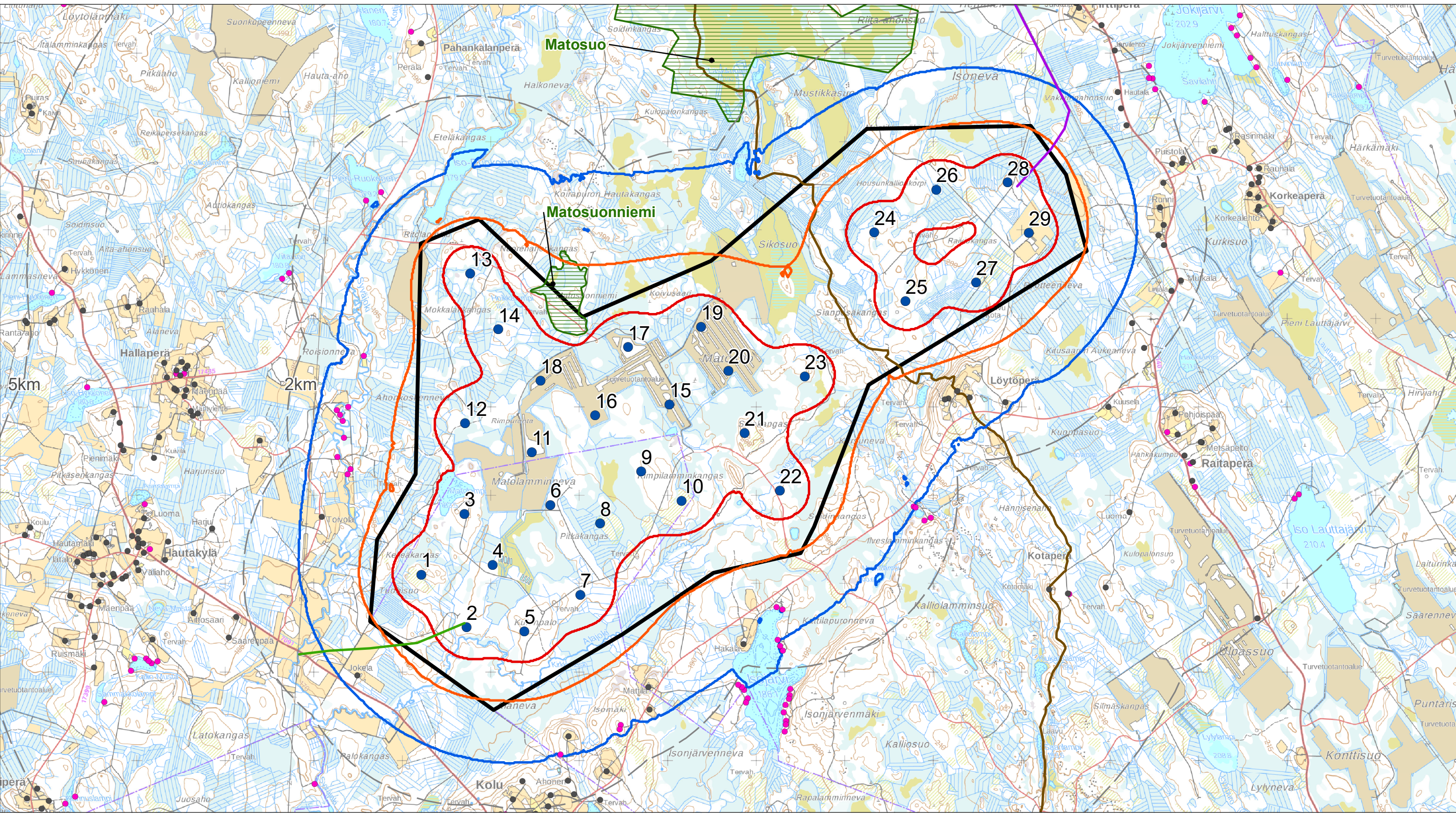


# Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke

## Melumallinnus VE1, voimalanpaikat VE1 sekä sähkönsiirtovaihtoehdot



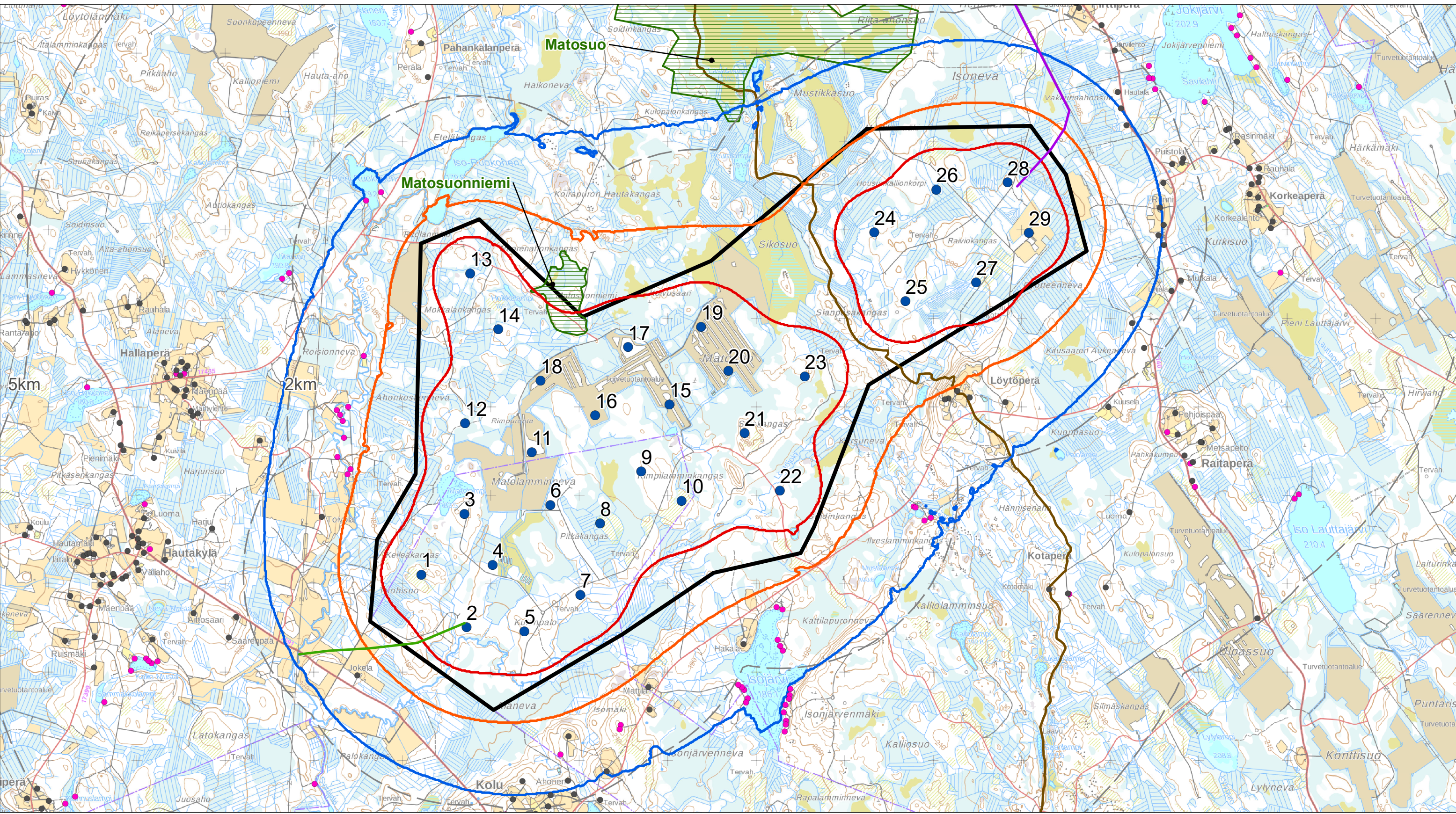
**Melumallinnus, VE1**  
**Turbiini V162, Napakorkeus 200m**  
**Lähtömelutaso 106 db(A)**

- 35 db(A)
- 40 db(A)
- 45 db(A)
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE1
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Natura 2000 -alue
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus



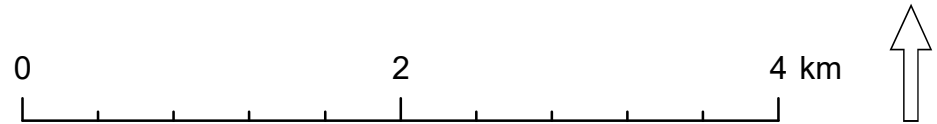
# Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke

## Melumallinnus VE1, voimalanpaikat VE1 sekä sähkönsiirtovaihtoehdot

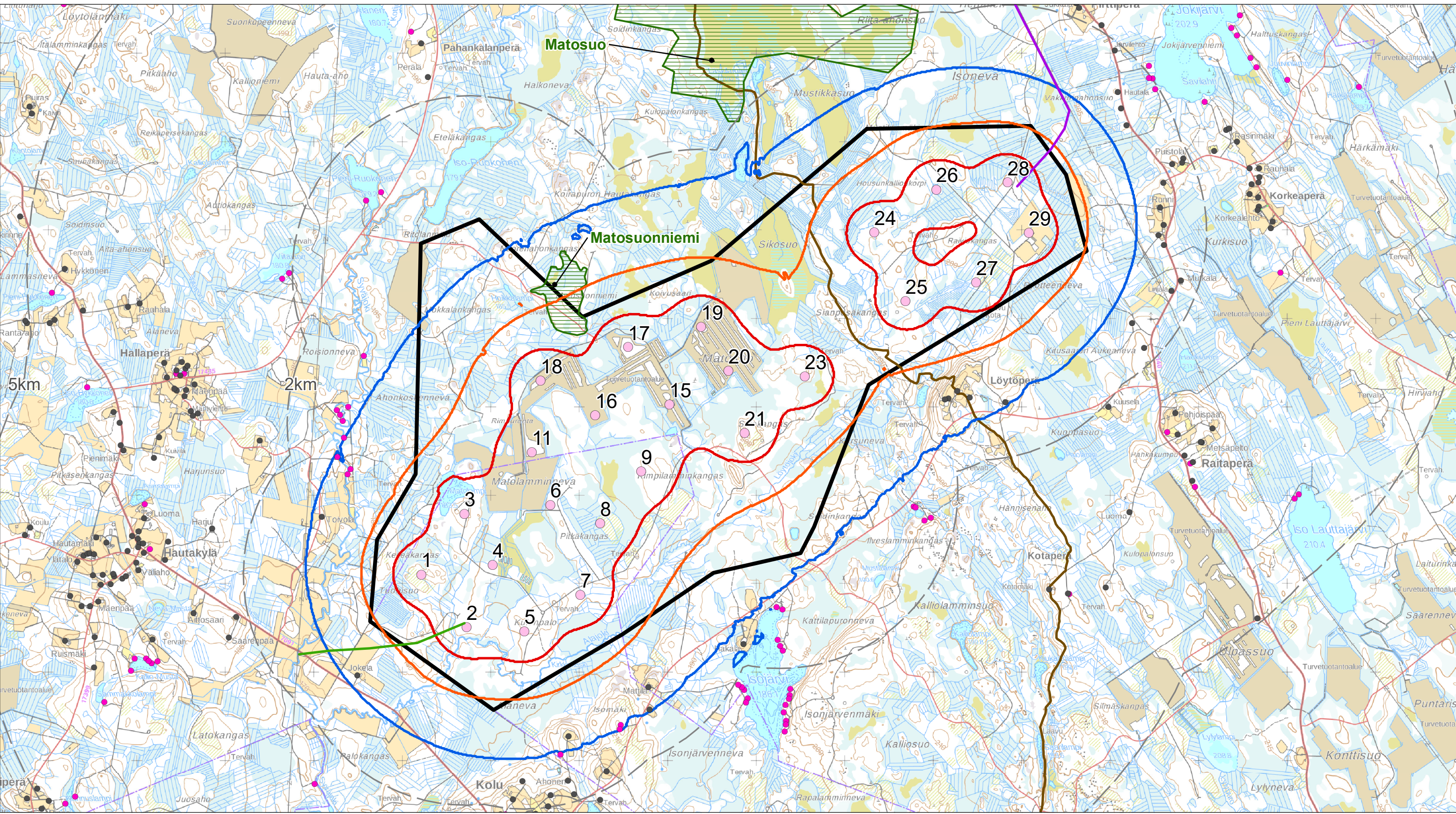


**Melumallinnus, VE1**  
**Turbiini V162, Napakorkeus 200m**  
**Lähtömelutaso 108 db(A)**

- 35 db(A)
- 40 db(A)
- 45 db(A)
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE1
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Natura 2000 -alue
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus



**Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke**  
**Melumallinnus VE2, voimalanpaikat VE2 sekä sähkönsiirtovaihtoehdot**

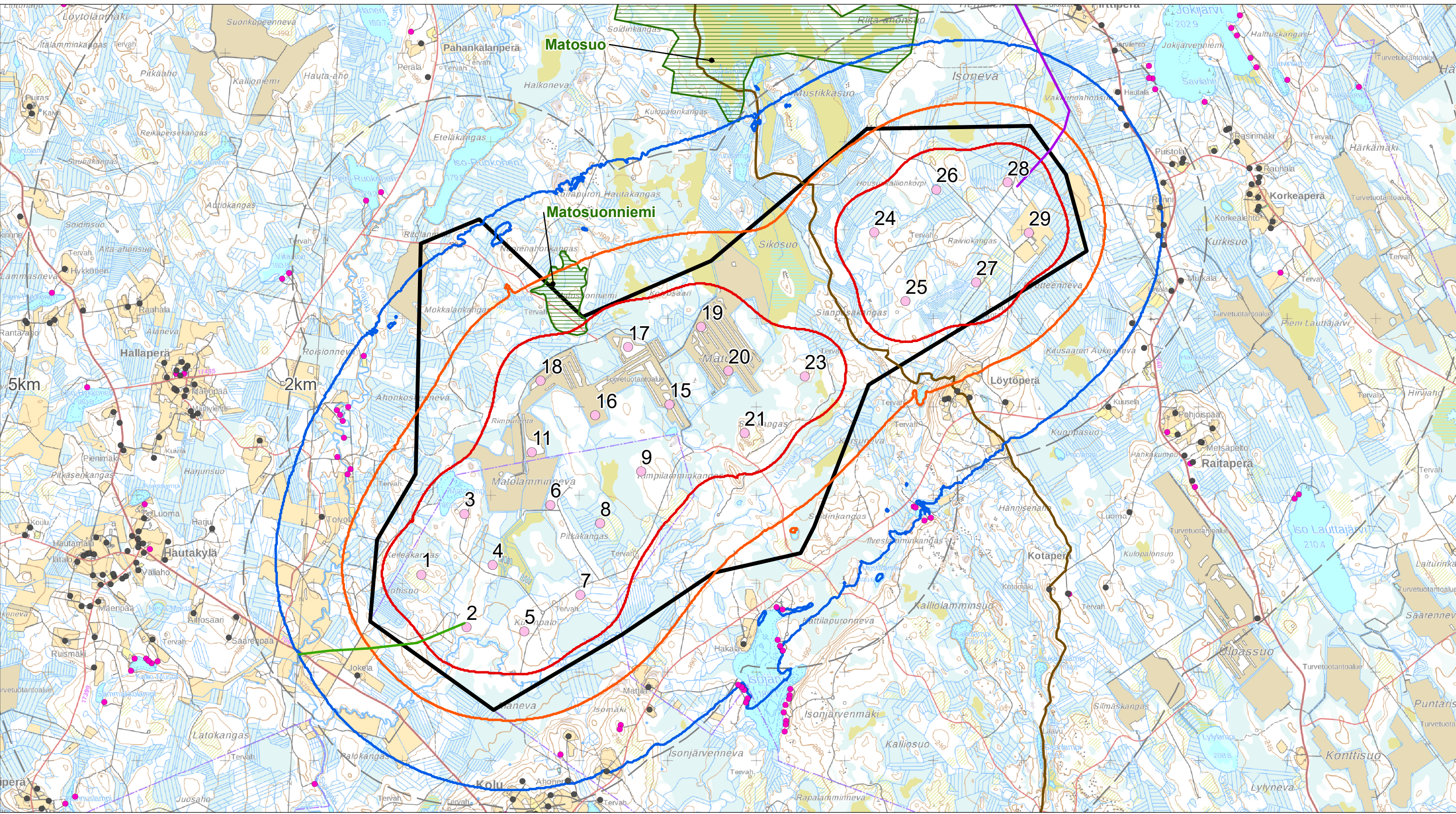


**Melumallinnus, VE2**  
**Turbiini V162, Napakorkeus 200m**  
**Lähtömelutaso 106 db(A)**

- 35 db(A)
- 40 db(A)
- 45 db(A)
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE2
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Natura 2000 -alue
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus

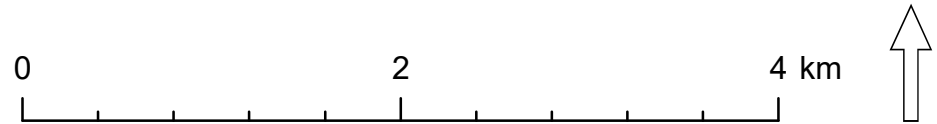


**Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke**  
**Melumallinnus VE2, voimalanpaikat VE2 sekä sähkönsiirtovaihtoehdot**

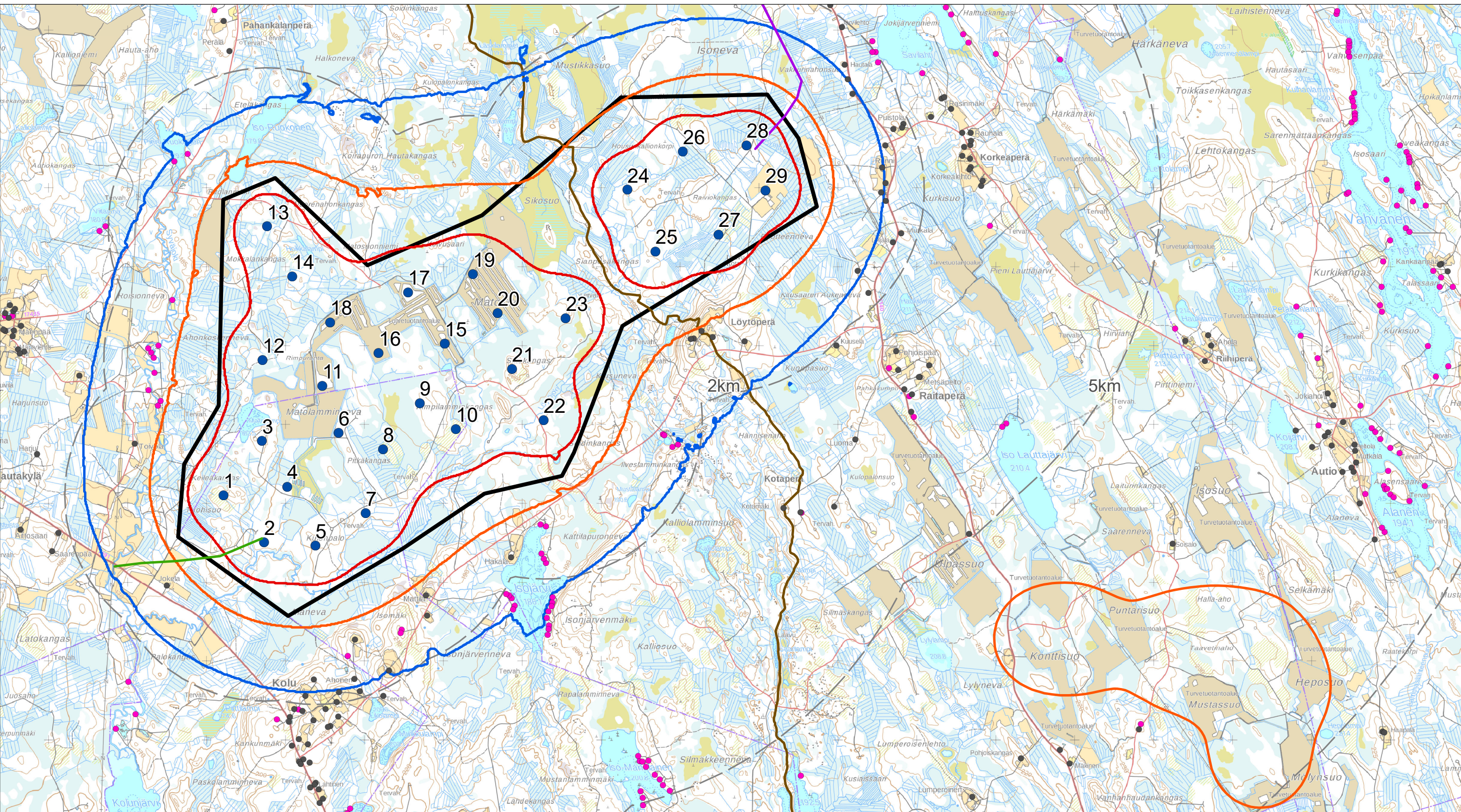


**Melumallinnus, VE2**  
**Turbiini V162, Napakorkeus 200m**  
**Lähtömelutaso 108 db(A)**

- 35 db(A)
- 40 db(A)
- 45 db(A)
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE2
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Natura 2000 -alue
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus

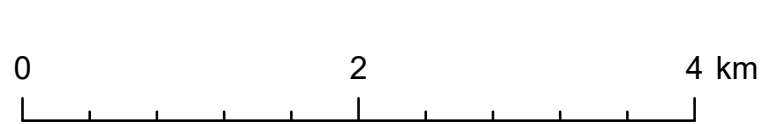


# Kimpilamminkankaan tuulivoimahanke Melumallinnus VE1 sekä yhteisvaikutusten tarkastelu Konttisuon tuulivoimahankkeen kanssa



**Kimpilamminkankaan melumallinnus, VE1**  
**Turbiini V162, Napakorkeus 200m**  
**Lähtömelutaso 108 db(A)**

- 35 db(A)
- 40 db(A)
- 45 db(A)
- Hankealue
- Voimalan paikka, VE1
- Sähkönsiirto VEA
- Sähkönsiirto VEB
- Arpaisten reitti
- Asuinrakennus
- Lomarakennus



# Tuulivoimahankkeen meluselvitys

SOINI-ÄHTÄRI – KIMPILAMMINKANGAS, LAYOUT VE1

MIKA LAITINEN

21.01.2020

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen meluselvitys: Kimpilamminkangas, Layout VE1, Soini-Ähtäri  
TV-2020-535-2, 21.01.2020

## Raportin tekijät

Mika Laitinen, Numerola Oy  
[mika.laitinen@numerola.fi](mailto:mika.laitinen@numerola.fi)

## Vastaanottaja

Heini Passoja  
Sitowise Oy

## 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>

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan alueelle suunnitellun 29 tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden aiheuttamat äänitasot lasketaan käyttäen turbiinityypin V162 5,6 MW taajuusjakaumaa ja kokonaisäänitehotasoa 106,0 dB(A). Melumallinnuksessa ja raportoinnissa noudatetaan ympäristöministeriön julkaisemaa mallinnus-ohjeistusta. Tulosten arvioinnissa käytetään valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön sekä ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	21.01.2020		Mika Laitinen

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Tuulivoimaloiden melu .....	5
2.1	Melumallinnusohjeistus .....	5
2.2	Ohjeavot.....	6
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	7
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	7
3.1	Matalataajuisen melun mallinnus .....	10
4	Yhteenveto .....	13
5	Viitteet .....	14
6	Melumallinnuksen tiedot .....	15



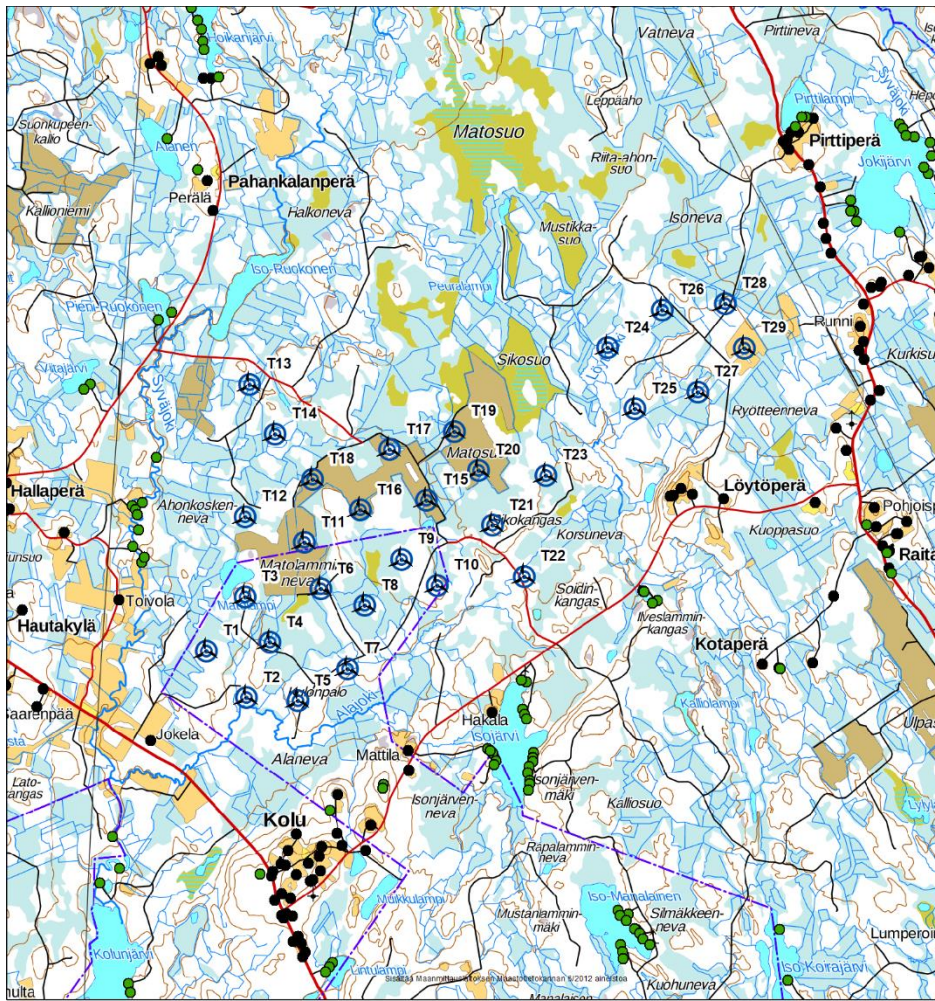
## 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin alueille suunnitellun Kimpilamminkankaan 29 tuulivoimalan tuulipuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Analyysit perustuvat turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW teknisiin tietoihin, jolle mallinnuksessa on käytetty napakorkeutta 200 m ja äänitehotasoa 106,0 dB(A) (valmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 104,0 dB(A) + varmuusarvo 2 dB). Käytetty lähtömelutaso on ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön takuarvo [7].

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

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	358213	6960102	187
T2	358726	6959505	178
T3	358702	6960790	193
T4	359019	6960210	183
T5	359379	6959463	188
T6	359673	6960893	187
T7	360014	6959873	183
T8	360236	6960682	188
T9	360701	6961270	196
T10	361158	6960939	193
T11	359465	6961486	185
T12	358708	6961815	188
T13	358765	6963508	190
T14	359086	6962874	188
T15	361018	6962025	188
T16	360180	6961903	188
T17	360552	6962674	189
T18	359564	6962296	185
T19	361376	6962904	191
T20	361687	6962407	190
T21	361869	6961705	205
T22	362269	6961052	185
T23	362550	6962345	196
T24	363334	6963973	195
T25	363686	6963194	197
T26	364036	6964457	196
T27	364487	6963408	199
T28	364843	6964537	204
T29	365081	6963968	203



**Kimpilamminkangas, Soini-Ähtäri  
Layout VE1, 29 voimalaa**

4.11.2019 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimalat
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset

**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kimpilamminkankaan 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 takuuarvoa (declared value)  $L_{WAd}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Takuuarvo 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 takuuarvoihin, 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 pientaajuisen 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 suosittamat 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 takuuarvoihin, 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 L <sub>Aeq</sub> [dB]	Yö 22-07 L <sub>Aeq</sub> [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 <sub>eq,1h</sub> [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 Kimpilamminkankaan voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW valmistajan seuraavassa dokumentissa ilmoittamaa melun taajuusjakaumaa, joka tuottaa äänitehotason 104,0 dB(A):

- V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298\_01, 2019-01-23.

Dokumentissa 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 voimaloille käytettiin siis äänitehotasoa 106,0 dB(A) (104,0 dB(A) + 2 dB(A)), jota voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön takuuarvona. Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Turbiinityypin melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön Ympäristömelun mittaaminen –raportissa [10] 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. Käytetyn melun taajuusjakauman mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

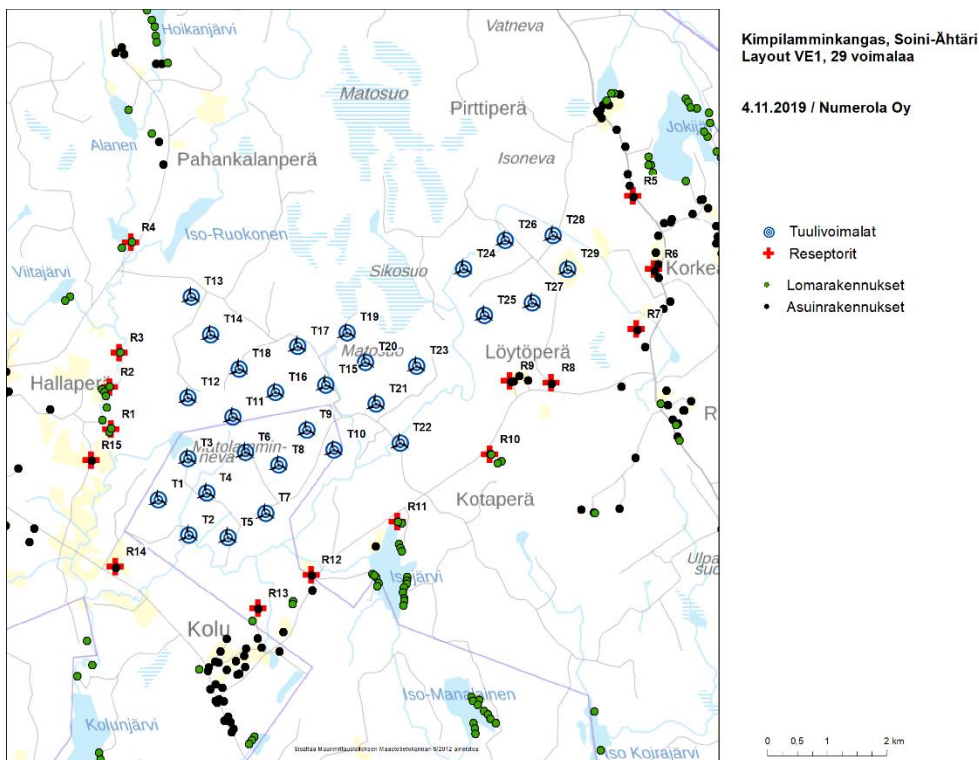
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Ympäristöhallinnon mallinnusohjeistuksen mukaan laskennan vaakaresoluution tulisi olla 1,0 m, ja mikäli maastosta ei ole saatavissa kartta-aineistoa tällä tarkkuudella, mallinnuksessa käytetään tarkinta mahdollista maaston vaaka- ja pystyresoluutiota. Tietääksemme Korkeusmalli 2 m on tarkin Maanmittauslaitoksella saatavilla oleva maaston korkeusmalli ja se perustuu maaston laserkeilauksiin.

Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorptio 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. Korkeuserot tuulivoimaloiden ja melulle altistuvien kohteiden välillä eivät ylitä 60 m, joten maanpinnan muotoon liittyvää 2 dB:n lisäystä ei huomioida. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisten melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,2–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

**Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	357413	6961286	177
R2	357387	6961989	178
R3	357556	6962571	180
R4	357751	6964424	182
R5	366178	6965199	207
R6	366533	6963975	216
R7	366237	6962966	214
R8	364804	6962070	226
R9	364112	6962100	228
R10	363773	6960867	190
R11	362221	6959734	191
R12	360774	6958837	193
R13	359882	6958276	208
R14	357489	6958976	176
R15	357079	6960770	182



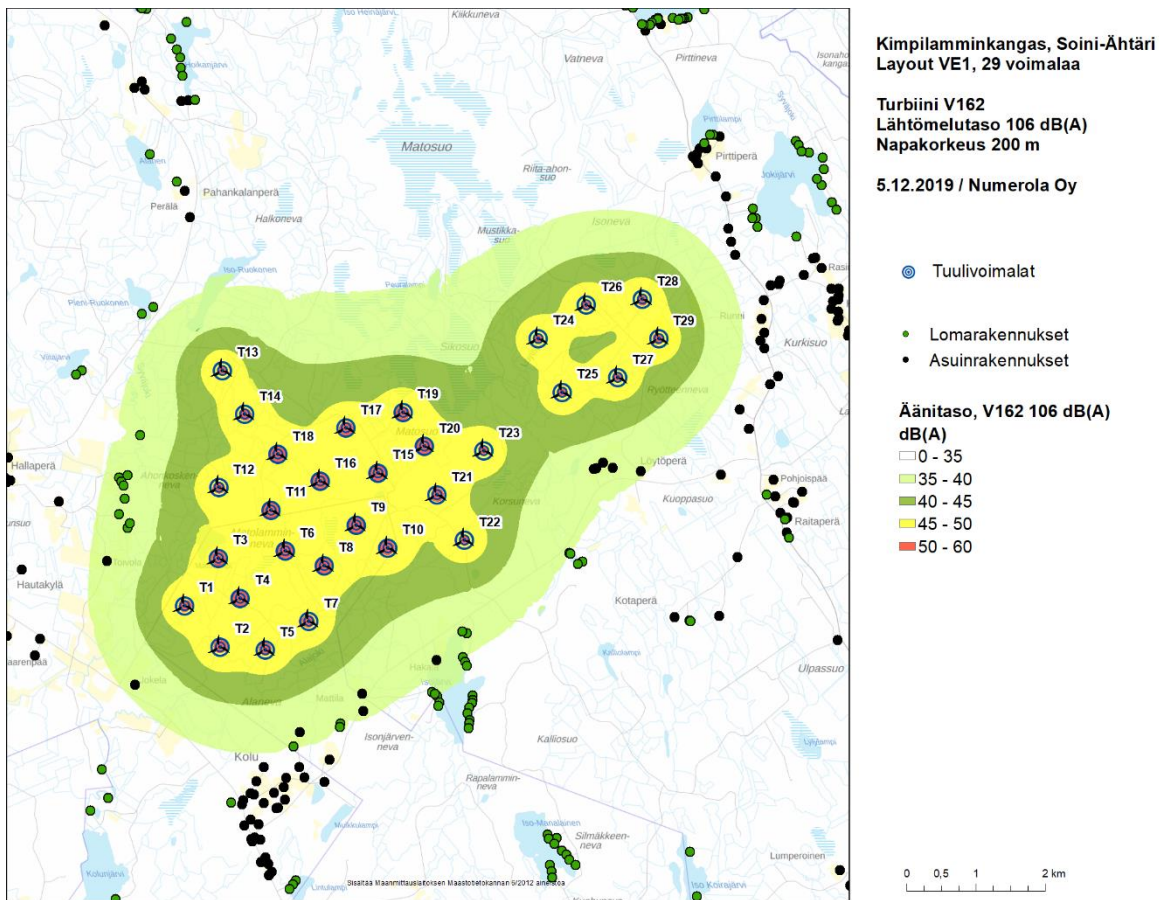
**Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kimpilamminkankaan alueella.**

## 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. Keskiäänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

**Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.**

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	37,5
R2	36,7
R3	36,9
R4	33,6
R5	33,3
R6	33,3
R7	33,5
R8	35,7
R9	37,7
R10	35,1
R11	36,7
R12	37,0
R13	36,4
R14	36,2
R15	36,4



Kuva 3: Keskiäänitasot LAeq Kimpilamminkankaan alueella.

### 3.1 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 tulkinnaissa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyt.

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 ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_0$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4]



annetut ääneneristävyyden arvot. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyysarvot ylittivät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat 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 ääneneristävyyden arvoja.

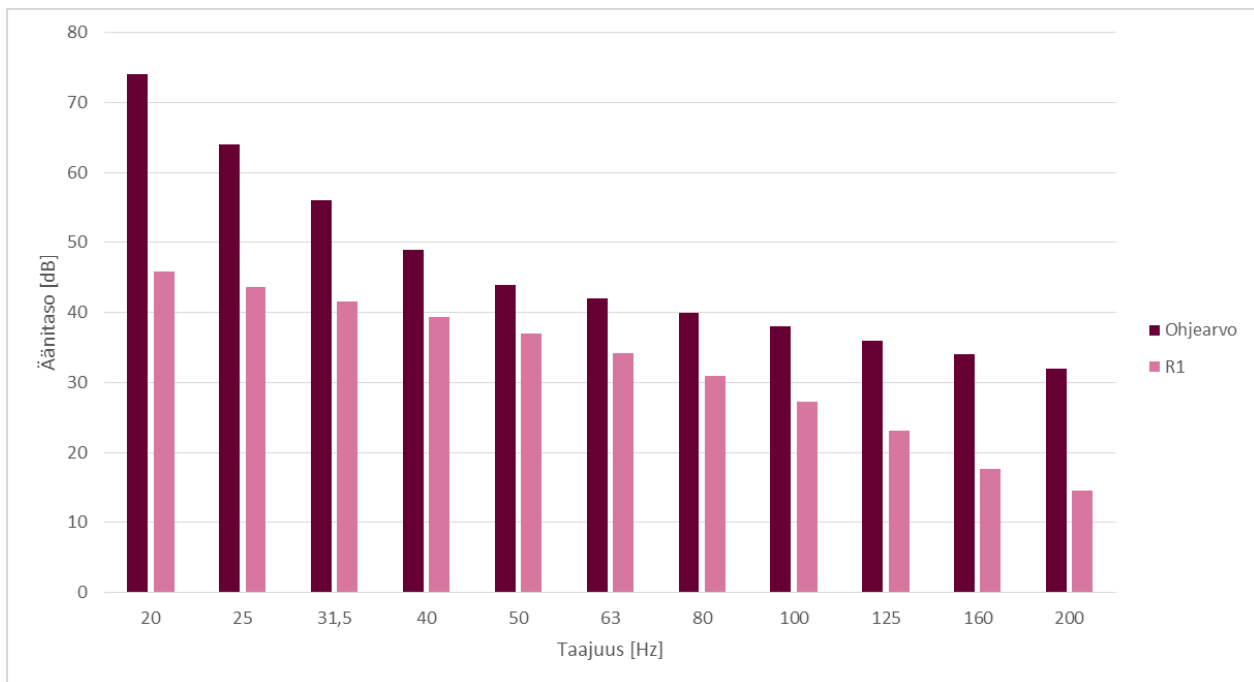
**Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.**

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 R1, 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 (dB) vertailukiinteistöjen kohdilla.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	53,4	52,0	50,7	49,6	48,5	47,2	45,8	44,1	41,9	38,8	37,4
<b>R2</b>	52,8	51,4	50,2	49,0	47,9	46,7	45,2	43,5	41,3	38,1	36,7
<b>R3</b>	52,9	51,5	50,2	49,1	48,0	46,7	45,3	43,6	41,3	38,2	36,8
<b>R4</b>	50,7	49,3	48,1	46,9	45,8	44,5	43,0	41,3	38,9	35,7	34,0
<b>R5</b>	50,0	48,5	47,3	46,2	45,0	43,8	42,3	40,6	38,2	35,0	33,5
<b>R6</b>	50,1	48,6	47,4	46,3	45,1	43,9	42,4	40,6	38,3	35,1	33,6
<b>R7</b>	50,3	48,9	47,6	46,5	45,4	44,1	42,6	40,9	38,5	35,3	33,7
<b>R8</b>	52,0	50,6	49,4	48,2	47,1	45,9	44,4	42,7	40,4	37,3	35,8
<b>R9</b>	53,4	51,9	50,7	49,6	48,5	47,2	45,8	44,1	41,9	38,8	37,4
<b>R10</b>	52,0	50,6	49,3	48,2	47,1	45,8	44,3	42,6	40,3	37,1	35,5
<b>R11</b>	53,0	51,5	50,3	49,2	48,1	46,8	45,4	43,7	41,4	38,3	36,7
<b>R12</b>	53,0	51,6	50,4	49,2	48,1	46,9	45,4	43,7	41,5	38,4	36,9
<b>R13</b>	52,4	51,0	49,8	48,6	47,5	46,2	44,8	43,1	40,8	37,7	36,2
<b>R14</b>	52,1	50,7	49,5	48,4	47,2	46,0	44,5	42,9	40,6	37,5	36,0
<b>R15</b>	52,5	51,1	49,8	48,7	47,6	46,3	44,9	43,2	40,9	37,8	36,3


**Kuva 4: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla.**

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan 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 façades at frequencies 5–5000Hz*, 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, 545/2015, 23.4.2015, Sosiaali- ja terveysministeriö.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [11] *Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä.* Ympäristöministeriö, 14.9.2016.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>TV-2020-535-2</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 21.01.2020			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Mika Laitinen ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Mika Laitinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Pasi Tarvainen</b>			
MALLINUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: <b>V162 5,6 MW</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>5,6 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>162 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB				dB
Ei		Ei					dB
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
<b>Vestas V162 5,6 MW (Blades with serrated trailing edges), Mode 0, HH 200 m</b>							
<b>V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298_01, 2019-01-23.</b>							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön takuuarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	62,3	200	93,3	2000	91,0
63	87,4	25	66,7	250	94,6	2500	89,1
125	94,8	31,5	71,0	315	95,5	3150	86,7
250	99,3	40	75,1	400	96,2	4000	83,8
500	101,1	50	78,6	500	96,4	5000	80,9
1000	100,0	63	81,9	630	96,4	6300	77,5
2000	95,9	80	85,0	800	96,0	8000	73,6
4000	89,2	100	87,5	1000	95,2	10000	69,6
8000	79,5	125	89,7	1250	94,2		
		160	91,8	1600	92,7		
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			
<b>4 m</b>				<b>10 m x 10 m</b>			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
<b>70 %</b>				<b>15 C°</b>			
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>	

Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
<b>ISO 9613-2</b>										
Vesialueet, (0) / (G)										
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)										
Maa-alueet (0) / (G)										
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus										
<b>Neutraali</b>										
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen										
<b>Vapaa avaruus</b>										
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille										
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>					Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Pienitaajuisen melun laskentamenetelmä:										
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	53,4	52,8	52,9	50,7	50,0	50,1	50,3	52,0	53,4	52,0
25	52,0	51,4	51,5	49,3	48,5	48,6	48,9	50,6	51,9	50,6
31,5	50,7	50,2	50,2	48,1	47,3	47,4	47,6	49,4	50,7	49,3
40	49,6	49,0	49,1	46,9	46,2	46,3	46,5	48,2	49,6	48,2
50	48,5	47,9	48,0	45,8	45,0	45,1	45,4	47,1	48,5	47,1
63	47,2	46,7	46,7	44,5	43,8	43,9	44,1	45,9	47,2	45,8
80	45,8	45,2	45,3	43,0	42,3	42,4	42,6	44,4	45,8	44,3
100	44,1	43,5	43,6	41,3	40,6	40,6	40,9	42,7	44,1	42,6
125	41,9	41,3	41,3	38,9	38,2	38,3	38,5	40,4	41,9	40,3
160	38,8	38,1	38,2	35,7	35,0	35,1	35,3	37,3	38,8	37,1
200	37,4	36,7	36,8	34,0	33,5	33,6	33,7	35,8	37,4	35,5
Hz	R11	R12	R13	R14	R15					
20	53,0	53,0	52,4	52,1	52,5					
25	51,5	51,6	51,0	50,7	51,1					
31,5	50,3	50,4	49,8	49,5	49,8					
40	49,2	49,2	48,6	48,4	48,7					
50	48,1	48,1	47,5	47,2	47,6					
63	46,8	46,9	46,2	46,0	46,3					
80	45,4	45,4	44,8	44,5	44,9					
100	43,7	43,7	43,1	42,9	43,2					
125	41,4	41,5	40,8	40,6	40,9					
160	38,3	38,4	37,7	37,5	37,8					
200	36,7	36,9	36,2	36,0	36,3					

# Tuulivoimahankkeen meluselvitys

SOINI-ÄHTÄRI – KIMPILAMMINKANGAS, LAYOUT VE1

MIKA LAITINEN

09.06.2020

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen meluselvitys: Kimpilamminkangas, Layout VE1, Soini-Ähtäri  
TV-2020-535-3, 09.06.2020

## Raportin tekijät

Mika Laitinen, Numerola Oy  
[mika.laitinen@numerola.fi](mailto:mika.laitinen@numerola.fi)

## Vastaanottaja

Heini Passoja  
Sitowise Oy

## 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>

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Soinin kunnan ja Ähtäriin kaupungin Kimpilamminkankaan alueelle suunnitellun 29 tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Analyysit perustuvat turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW teknisiin tietoihin sekä napakorkeuteen 200 m. Valitulle turbiinityypille äänitehotaso 106,0 dB(A) on ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön takuarvo [7]. Tässä mallinnuksessa käytetään lisäksi ylimääräistä 2 dB:n varmuusarvoa, jolloin mallinnuksessa käytetty äänitehotaso on 108,0 dB(A). Ylimääräistä varmuusarvoa käyttämällä mallinnus vastaa varovaisuusperiaatteen nojalla nykyistä äänekkäämmän ja suurempitehoisen voimalan meluvaikutuksia. Voimaloiden tuotekehityksessä melutasoja on kuitenkin viime vuosina pystytty alentamaan, vaikka voimaloiden koko ja nimellisteho ovat kasvaneet.

## Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	09.06.2020		Mika Laitinen



## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Tuulivoimaloiden melu .....	5
2.1	Melumallinnusohjeistus .....	5
2.2	Ohjeavot.....	6
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	7
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	7
3.1	Matalataajuisen melun mallinnus .....	10
4	Yhteenveto .....	13
5	Viitteet .....	14
6	Melumallinnuksen tiedot .....	15

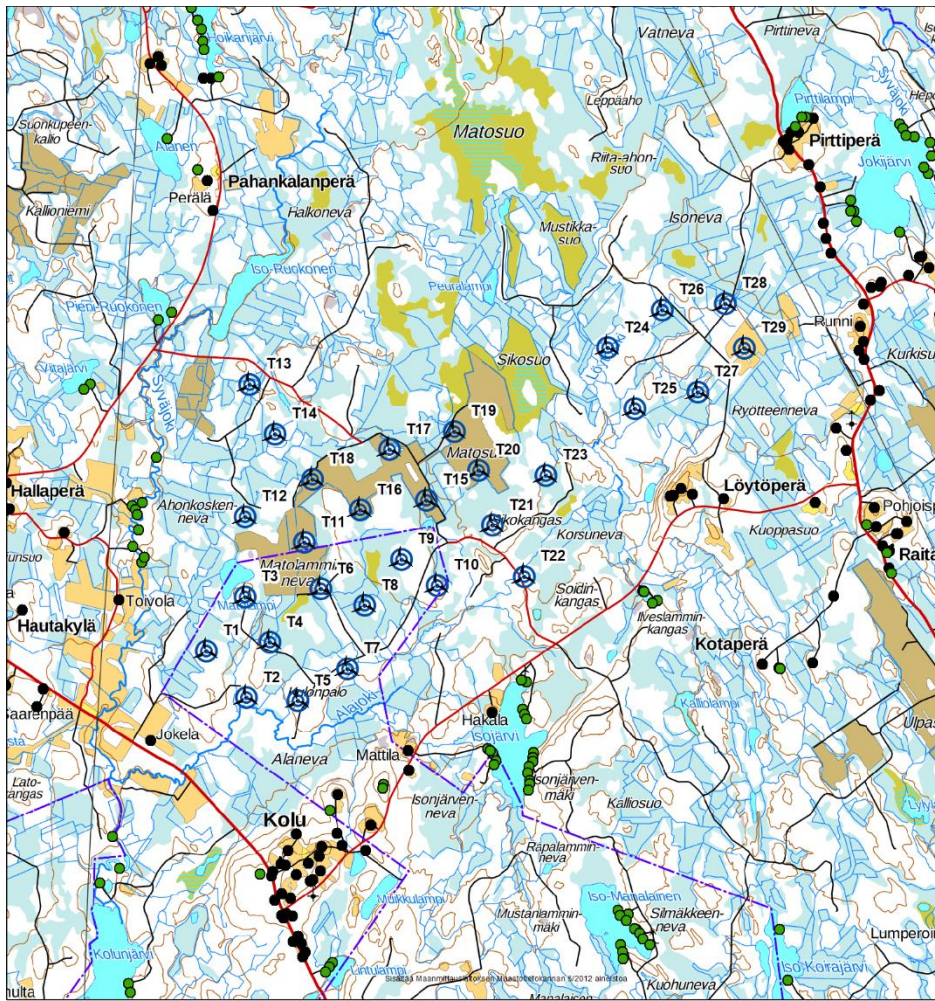
## 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin alueille suunnitellun Kimpilamminkankaan 29 tuulivoimalan tuulipuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Analyysit perustuvat turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW teknisiin tietoihin, jolle mallinnuksessa on käytetty napakorkeutta 200 m ja äänitehotasoa 108,0 dB(A). Tälle turbiinityypille äänitehotaso 106,0 dB(A) on ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön takuarvo [7], joten tässä mallinnuksessa käytetään ylimääräistä 2 dB:n varmuusarvoa.

**Taulukko 1: Turbiinien sijaintikoordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa ja maaston korkeus turbiini paikalla.**

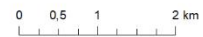
Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	358213	6960102	187
T2	358726	6959505	178
T3	358702	6960790	193
T4	359019	6960210	183
T5	359379	6959463	188
T6	359673	6960893	187
T7	360014	6959873	183
T8	360236	6960682	188
T9	360701	6961270	196
T10	361158	6960939	193
T11	359465	6961486	185
T12	358708	6961815	188
T13	358765	6963508	190
T14	359086	6962874	188
T15	361018	6962025	188
T16	360180	6961903	188
T17	360552	6962674	189
T18	359564	6962296	185
T19	361376	6962904	191
T20	361687	6962407	190
T21	361869	6961705	205
T22	362269	6961052	185
T23	362550	6962345	196
T24	363334	6963973	195
T25	363686	6963194	197
T26	364036	6964457	196
T27	364487	6963408	199
T28	364843	6964537	204
T29	365081	6963968	203



**Kimpilamminkangas, Soini-Ähtäri  
Layout VE1, 29 voimalaa**

4.11.2019 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimalat
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kimpilamminkankaan 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 takuuarvoa (declared value)  $L_{WAd}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Takuuarvo 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 takuuarvoihin, 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 pientaajuisen 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. Pienitaajuisten 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 takuuarvoihin, 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 L <sub>Aeq</sub> [dB]	Yö 22-07 L <sub>Aeq</sub> [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 pienitaajuisten 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 <sub>eq,1h</sub> [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 Kimpilamminkankaan voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW valmistajan seuraavassa dokumentissa ilmoittamaa melun taajuusjakaumaa, joka tuottaa äänitehotason 104,0 dB(A):

- V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298\_01, 2019-01-23.

Dokumentissa 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."

Tälle turbiinityypille äänitehotasoa 106,0 dB(A) (104,0 dB(A) + 2 dB(A)) voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön takuuarvona. Mallinnuksessa tähän äänitehotason takuuarvoon on lisätty ylimääräinen 2 dB:n varmuusarvo, eli mallinnuksessa voimaloille käytettiin äänitehotasoa 108,0 dB(A). Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Turbiinityypin melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön Ympäristömelun mittaaminen –raportissa [10] 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. Käytetyn 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. Ympäristöhallinnon mallinnusohjeistuksen mukaan laskennan vaakaresoluution tulisi olla 1,0 m, ja mikäli maastosta ei ole saatavissa kartta-aineistoa tällä tarkkuudella, mallinnuksessa käytetään tarkinta mahdollista maaston vaaka- ja pystyresoluutiota. Tietääksemme Korkeusmalli 2 m on tarkin Maanmittauslaitoksella saatavilla oleva maaston korkeusmalli ja se perustuu maaston laserkeilauksiin.

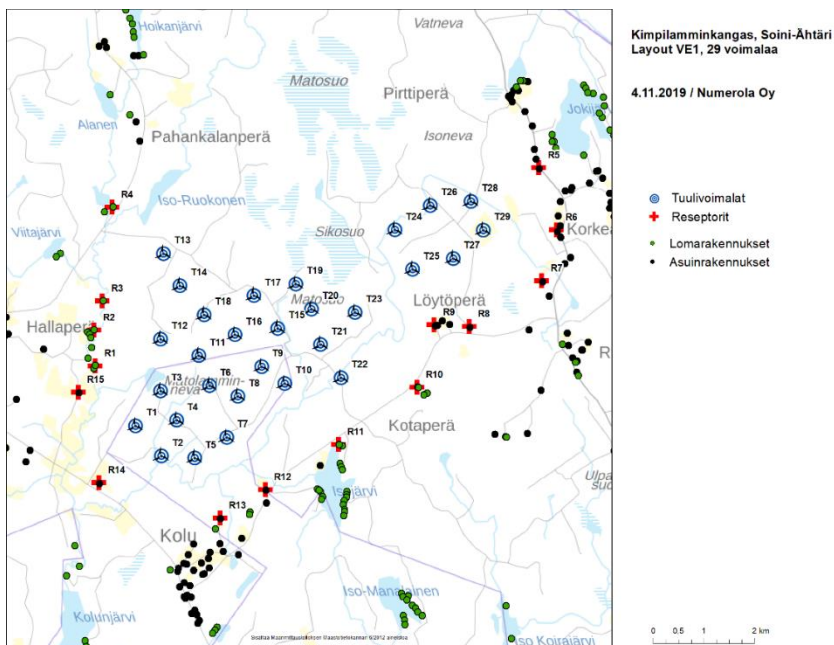
Melutasot tuulivoimaloiden ympäristössä laskettiin hilapisteistöön, jonka korkeus on (ohjeistuksen mukaisesti) 4 m maanpinnasta ja vaakaresoluutio 10 m. Ilmakehän absorption aiheuttama vaimennus, äänen suuntaavuus ja sääolosuhteiden vaikutus äänen etenemiseen on määritetty ympäristöministeriön ohjeistusten mukaisesti. Tuulivoimalan sijoituspaikan ympäristössä maaston vaikutuskerroin on ollut maalualueilla 0,4 ja vesialueilla 0,0. Korkeuserot tuulivoimaloiden ja melulle altistuvien kohteiden välillä eivät ylitä

60 m, joten maanpinnan muotoon liittyvää 2 dB:n lisäystä ei huomioida. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,2–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

**Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	357413	6961286	177
R2	357387	6961989	178
R3	357556	6962571	180
R4	357751	6964424	182
R5	366178	6965199	207
R6	366533	6963975	216
R7	366237	6962966	214
R8	364804	6962070	226
R9	364112	6962100	228
R10	363773	6960867	190
R11	362221	6959734	191
R12	360774	6958837	193
R13	359882	6958276	208
R14	357489	6958976	176
R15	357079	6960770	182



**Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kimpilamminkankaan alueella.**

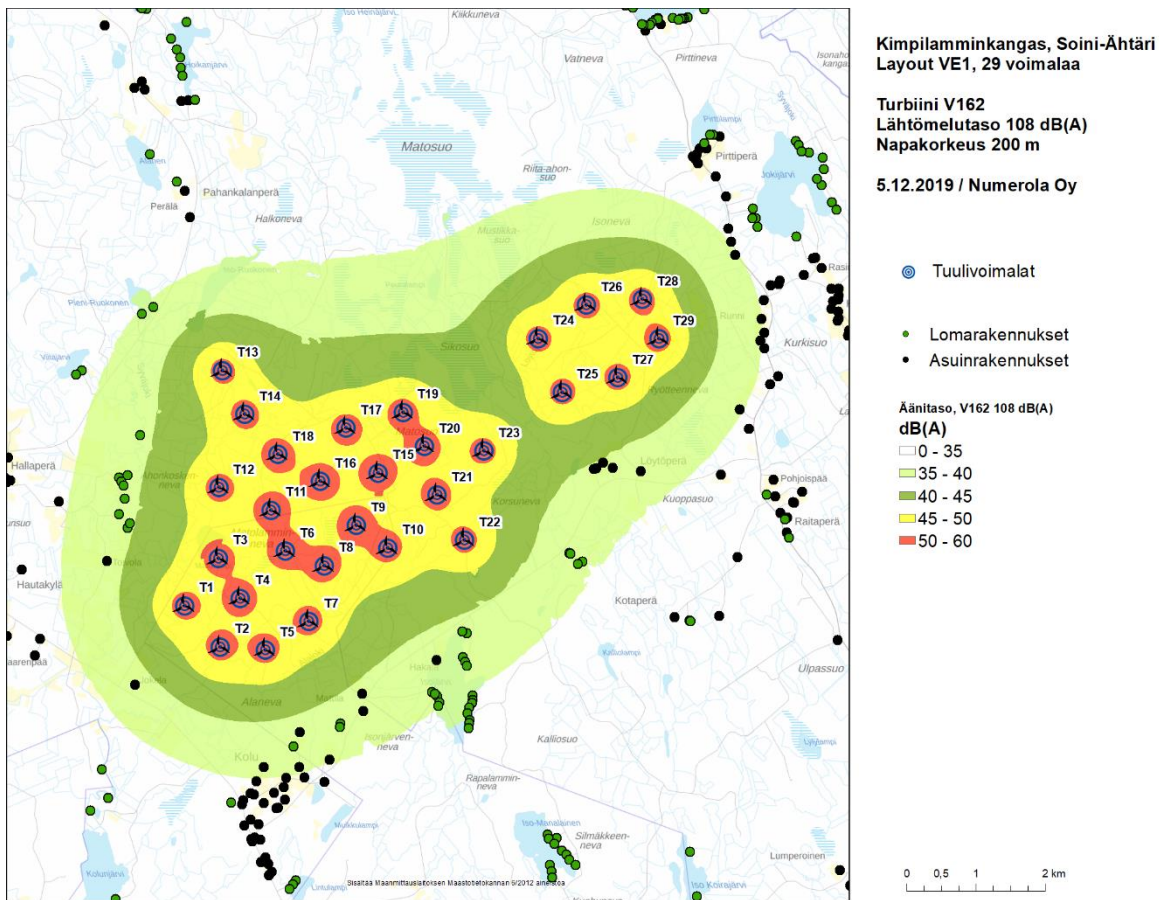
## Meluvaikutus

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. Keskiäänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

**Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.**

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	39,5
R2	38,7
R3	38,9
R4	35,6
R5	35,3
R6	35,3
R7	35,5
R8	37,7
R9	39,7
R10	37,1
R11	38,7
R12	39,0
R13	38,4
R14	38,2
R15	38,4





Kuva 3: Keskiäänitasot LAeq Kimpilamminkankaan alueella.

### 3.1 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 tulkinnaissa pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyt.

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 ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_0$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4]

annetut ääneneristävyyden arvot. Turun ammattikorkeakoulussa tehdyssä tutkimuksessa esitetyt arvot perustuvat suomalaisissa pientaloissa tehtyihin mittauksiin, joiden avulla on johdettu tilastollinen estimaatti talojen ääneneristävyyksille eri taajuuksilla. Artikkelin [4] eristävyysarvot ylittivät 84 % todennäköisyydellä suomalaisissa pientaloissa, ja ne ovat 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 ääneneristävyyden arvoja.

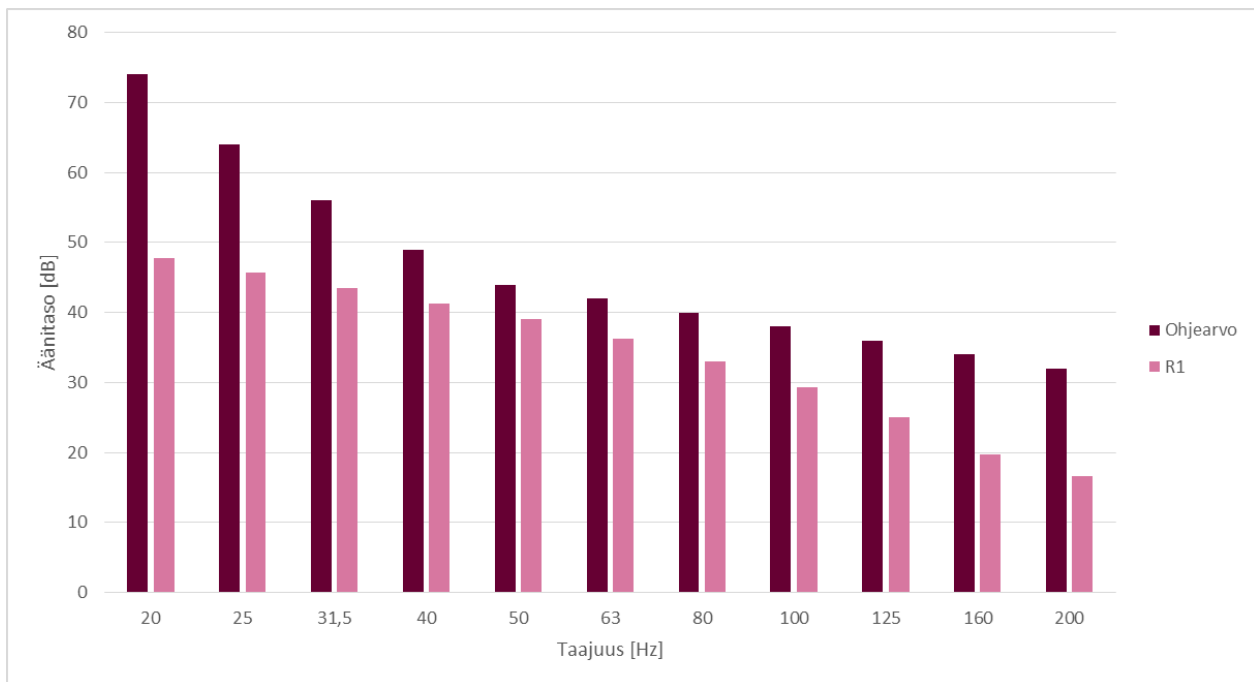
**Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)</b>	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
<b>Ääneneristävyys [dB] (viite [4])</b>	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 R1, 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 (dB) vertailukiinteistöjen kohdilla.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	55,4	54,0	52,7	51,6	50,5	49,2	47,8	46,1	43,9	40,8	39,4
<b>R2</b>	54,8	53,4	52,2	51,0	49,9	48,7	47,2	45,5	43,3	40,1	38,7
<b>R3</b>	54,9	53,5	52,2	51,1	50,0	48,7	47,3	45,6	43,3	40,2	38,8
<b>R4</b>	52,7	51,3	50,1	48,9	47,8	46,5	45,0	43,3	40,9	37,7	36,0
<b>R5</b>	52,0	50,5	49,3	48,2	47,0	45,8	44,3	42,6	40,2	37,0	35,5
<b>R6</b>	52,1	50,6	49,4	48,3	47,1	45,9	44,4	42,6	40,3	37,1	35,6
<b>R7</b>	52,3	50,9	49,6	48,5	47,4	46,1	44,6	42,9	40,5	37,3	35,7
<b>R8</b>	54,0	52,6	51,4	50,2	49,1	47,9	46,4	44,7	42,4	39,3	37,8
<b>R9</b>	55,4	53,9	52,7	51,6	50,5	49,2	47,8	46,1	43,9	40,8	39,4
<b>R10</b>	54,0	52,6	51,3	50,2	49,1	47,8	46,3	44,6	42,3	39,1	37,5
<b>R11</b>	55,0	53,5	52,3	51,2	50,1	48,8	47,4	45,7	43,4	40,3	38,7
<b>R12</b>	55,0	53,6	52,4	51,2	50,1	48,9	47,4	45,7	43,5	40,4	38,9
<b>R13</b>	54,4	53,0	51,8	50,6	49,5	48,2	46,8	45,1	42,8	39,7	38,2
<b>R14</b>	54,1	52,7	51,5	50,4	49,2	48,0	46,5	44,9	42,6	39,5	38,0
<b>R15</b>	54,5	53,1	51,8	50,7	49,6	48,3	46,9	45,2	42,9	39,8	38,3


**Kuva 4: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R1 kohdalla.**

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan 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 façades at frequencies 5–5000Hz*, 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, 545/2015, 23.4.2015, Sosiaali- ja terveysministeriö.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [11] *Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä.* Ympäristöministeriö, 14.9.2016.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>TV-2020-535-3</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 09.06.2020			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Mika Laitinen ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Mika Laitinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Pasi Tarvainen</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: <b>V162 5,6 MW</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>5,6 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>162 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB				dB
Ei		Ei					dB
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
<b>Vestas V162 5,6 MW (Blades with serrated trailing edges), Mode 0, HH 200 m</b>							
<b>V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298_01, 2019-01-23.</b>							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön takuuarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,3	200	95,3	2000	93,0
63	89,4	25	68,7	250	96,6	2500	91,1
125	96,8	31,5	73,0	315	97,5	3150	88,7
250	101,3	40	77,1	400	98,2	4000	85,8
500	103,1	50	80,6	500	98,4	5000	82,9
1000	102,0	63	83,9	630	98,4	6300	79,5
2000	97,9	80	87,0	800	98,0	8000	75,6
4000	91,2	100	89,5	1000	97,2	10000	71,6
8000	81,5	125	91,7	1250	96,2		
		160	93,8	1600	94,7		
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			
<b>4 m</b>				<b>10 m x 10 m</b>			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
<b>70 %</b>				<b>15 C°</b>			
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>	

Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
<b>ISO 9613-2</b>										
Vesialueet, (0) / (G)										
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)										
Maa-alueet (0) / (G)										
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus										
<b>Neutraali</b>										
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen										
<b>Vapaa avaruus</b>										
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille										
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>					Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Pienitaajuuden melun laskentamenetelmä:										
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	55,4	54,8	54,9	52,7	52,0	52,1	52,3	54,0	55,4	54,0
25	54,0	53,4	53,5	51,3	50,5	50,6	50,9	52,6	53,9	52,6
31,5	52,7	52,2	52,2	50,1	49,3	49,4	49,6	51,4	52,7	51,3
40	51,6	51,0	51,1	48,9	48,2	48,3	48,5	50,2	51,6	50,2
50	50,5	49,9	50,0	47,8	47,0	47,1	47,4	49,1	50,5	49,1
63	49,2	48,7	48,7	46,5	45,8	45,9	46,1	47,9	49,2	47,8
80	47,8	47,2	47,3	45,0	44,3	44,4	44,6	46,4	47,8	46,3
100	46,1	45,5	45,6	43,3	42,6	42,6	42,9	44,7	46,1	44,6
125	43,9	43,3	43,3	40,9	40,2	40,3	40,5	42,4	43,9	42,3
160	40,8	40,1	40,2	37,7	37,0	37,1	37,3	39,3	40,8	39,1
200	39,4	38,7	38,8	36,0	35,5	35,6	35,7	37,8	39,4	37,5
Hz	R11	R12	R13	R14	R15					
20	55,0	55,0	54,4	54,1	54,5					
25	53,5	53,6	53,0	52,7	53,1					
31,5	52,3	52,4	51,8	51,5	51,8					
40	51,2	51,2	50,6	50,4	50,7					
50	50,1	50,1	49,5	49,2	49,6					
63	48,8	48,9	48,2	48,0	48,3					
80	47,4	47,4	46,8	46,5	46,9					
100	45,7	45,7	45,1	44,9	45,2					
125	43,4	43,5	42,8	42,6	42,9					
160	40,3	40,4	39,7	39,5	39,8					
200	38,7	38,9	38,2	38,0	38,3					

# Tuulivoimahankkeen meluselvitys

SOINI-ÄHTÄRI – KIMPILAMMINKANGAS, LAYOUT VE2

MIKA LAITINEN

21.01.2020



## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen meluselvitys: Kimpilamminkangas, Layout VE2, Soini-Ähtäri  
TV-2020-535-6, 21.01.2020

## Raportin tekijät

Mika Laitinen, Numerola Oy  
[mika.laitinen@numerola.fi](mailto:mika.laitinen@numerola.fi)

## Vastaanottaja

Heini Passoja  
Sitowise Oy

## 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>

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan alueelle suunnitellun 24 tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Tuulivoimaloiden aiheuttamat äänitasot lasketaan käyttäen turbiinityypin V162 5,6 MW taajuusjakaumaa ja kokonaisäänitehotasoa 106,0 dB(A). Melumallinnuksessa ja raportoinnissa noudatetaan ympäristöministeriön julkaisemaa mallinnus-ohjeistusta. Tulosten arvioinnissa käytetään valtioneuvoston, sosiaali- ja terveysministeriön sekä ympäristöhallinnon esittämiä ohjearvoja tuulivoimarakentamisen suunnitteluun.

## Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	21.01.2020		Mika Laitinen

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Tuulivoimaloiden melu .....	5
2.1	Melumallinnusohjeistus .....	5
2.2	Ohjeavot.....	6
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	7
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	7
3.1	Matalataajuisen melun mallinnus .....	10
4	Yhteenveto .....	13
5	Viitteet .....	14
6	Melumallinnuksen tiedot .....	15

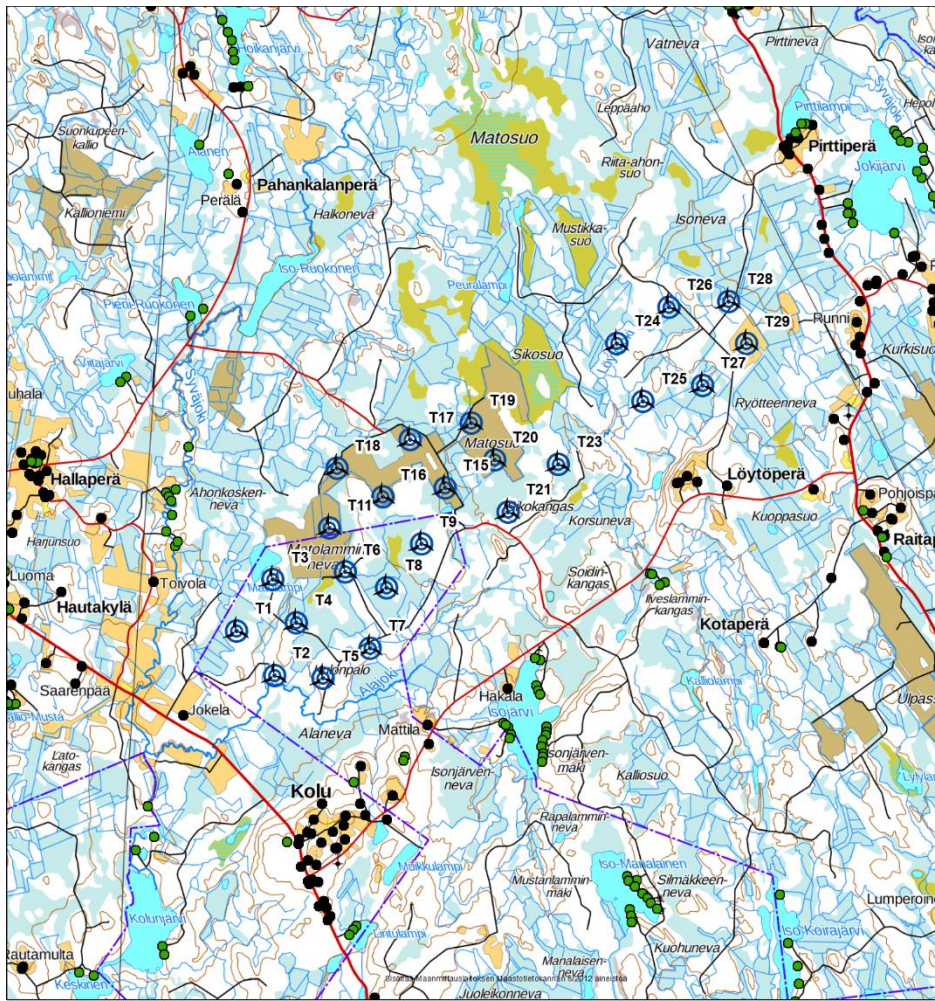
## 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin alueille suunnitellun Kimpilamminkankaan 24 tuulivoimalan tuulipuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Analysit perustuvat turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW teknisiin tietoihin, jolle mallinnuksessa on käytetty napakorkeutta 200 m ja äänitehotasoa 106,0 dB(A) (valmistajan ilmoittama maksimiäänitehotaso 104,0 dB(A) + varmuusarvo 2 dB). Käytetty lähtömelutaso on ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön takuarvo [7].

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

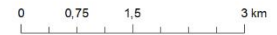
Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	358213	6960102	187
T2	358726	6959505	178
T3	358702	6960790	193
T4	359019	6960210	183
T5	359379	6959463	188
T6	359673	6960893	187
T7	360014	6959873	183
T8	360236	6960682	188
T9	360701	6961270	196
T11	359465	6961486	185
T15	361018	6962025	188
T16	360180	6961903	188
T17	360552	6962674	189
T18	359564	6962296	185
T19	361376	6962904	191
T20	361687	6962407	190
T21	361869	6961705	205
T23	362550	6962345	196
T24	363334	6963973	195
T25	363686	6963194	197
T26	364036	6964457	196
T27	364487	6963408	199
T28	364843	6964537	204
T29	365081	6963968	203



**Kimpilamminkangas, Soini-Ähtäri  
Layout VE2, 24 voimalaa**

08.01.2020 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimalat
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kimpilamminkankaan 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 takuuarvoa (declared value)  $L_{WAd}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Takuuarvo 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 takuuarvoihin, 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 pientaajuisen 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. Pienitaajuisten 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 takuuarvoihin, 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 pienitaajuisten 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
<b>Äänitaso <math>L_{eq,1h}</math> [dB]</b>	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 Kimpilamminkankaan voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW valmistajan seuraavassa dokumentissa ilmoittamaa melun taajuusjakaumaa, joka tuottaa äänitehotason 104,0 dB(A):

- V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298\_01, 2019-01-23.

Dokumentissa 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 voimaloille käytettiin siis äänitehotasoa 106,0 dB(A) (104,0 dB(A) + 2 dB(A)), jota voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön takuuarvona. Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Turbiinityypin melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön Ympäristömelun mittaaminen –raportissa [10] 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. Käytetyn melun taajuusjakauman mukaan tämä ehto ei toteudu, joten melun kapeakaistaisuuteen liittyvää sanktiota ei ole käytetty.

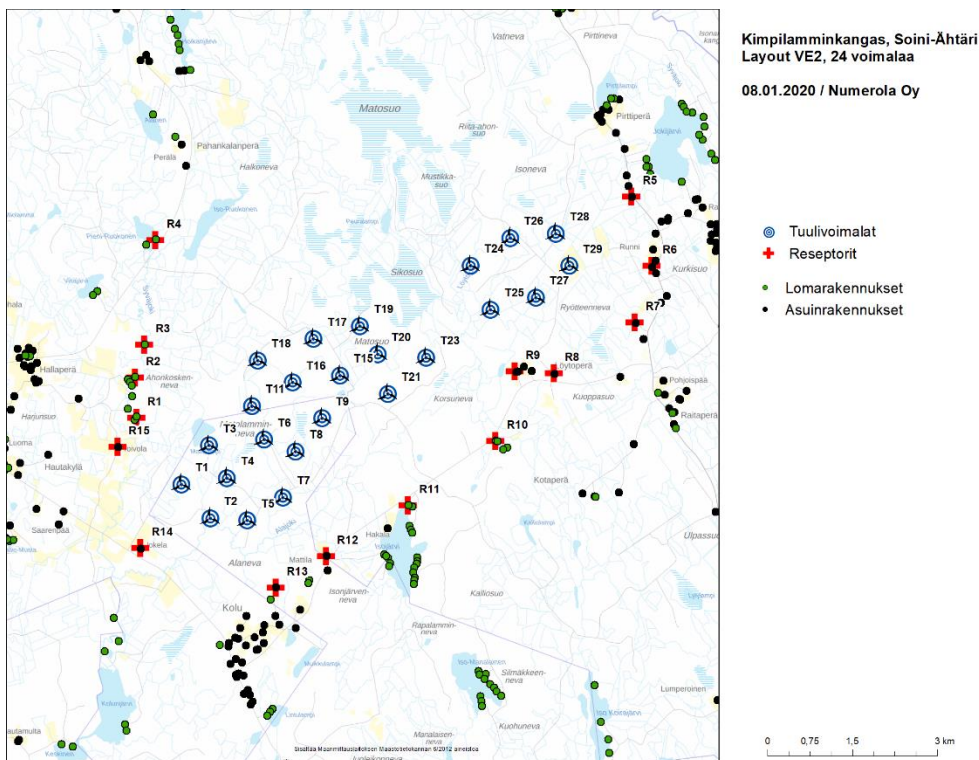
Maaston korkeusaineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen aineistoa *Korkeusmalli 2 m*, jonka pystysuuntainen tarkkuus on 0,3 m ja vaakasuuntainen resoluutio 2 m. Ympäristöhallinnon mallinnusohjeistuksen mukaan laskennan vaakaresoluution tulisi olla 1,0 m, ja mikäli maastosta ei ole saatavissa kartta-aineistoa tällä tarkkuudella, mallinnuksessa käytetään tarkinta mahdollista maaston vaaka- ja pystyresoluutiota. Tietääksemme Korkeusmalli 2 m on tarkin Maanmittauslaitoksella saatavilla oleva maaston korkeusmalli ja se perustuu maaston laserkeilauksiin.

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. Korkeuserot tuulivoimaloiden ja melulle altistuvien kohteiden välillä eivät ylitä 60 m, joten maanpinnan muotoon liittyvää 2 dB:n lisäystä ei huomioida. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,2–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

**Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	357413	6961286	177
R2	357387	6961989	178
R3	357556	6962571	180
R4	357751	6964424	182
R5	366178	6965199	207
R6	366533	6963975	216
R7	366237	6962966	214
R8	364804	6962070	226
R9	364112	6962100	228
R10	363773	6960867	190
R11	362221	6959734	191
R12	360774	6958837	193
R13	359882	6958276	208
R14	357489	6958976	176
R15	357079	6960770	182



**Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kimpilamminkankaan alueella.**

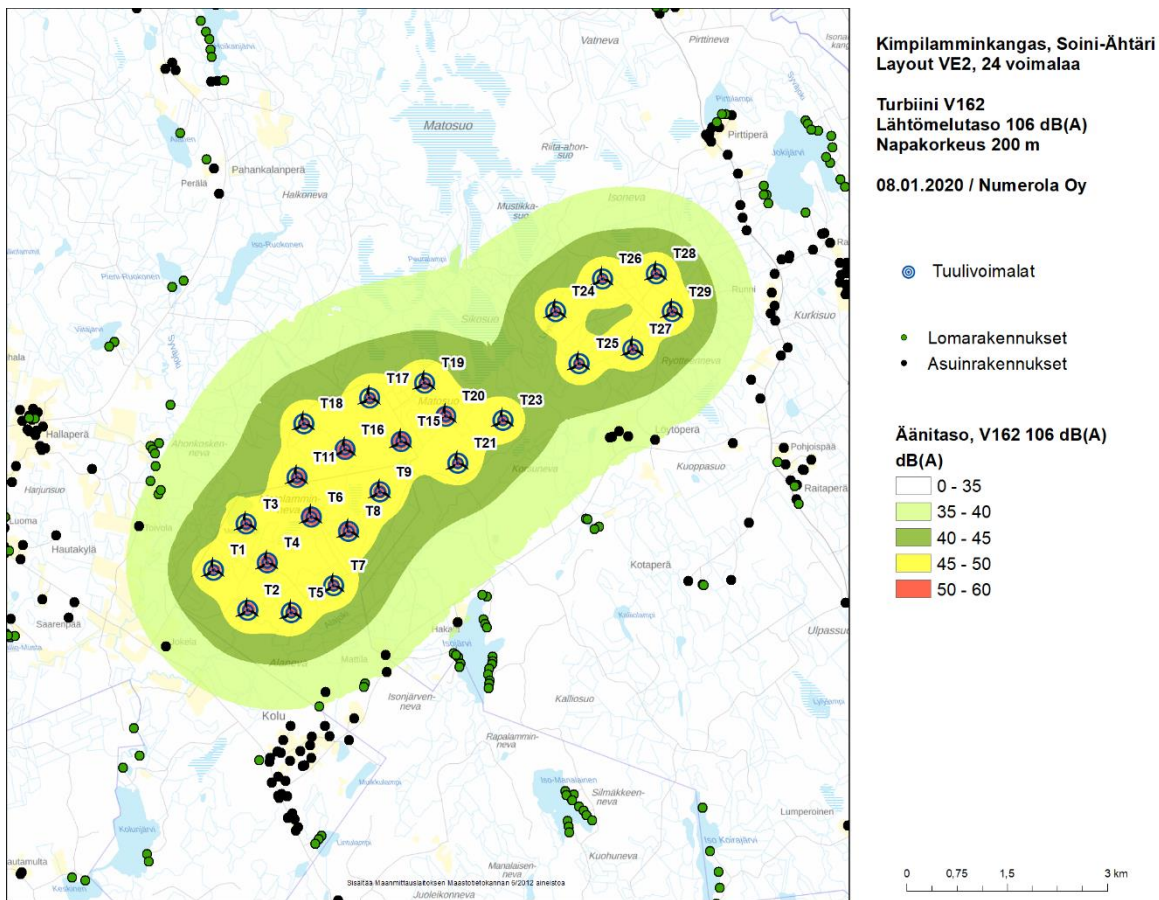


## Meluvaikutus

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. Keskiäänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

**Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.**

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	36,3
R2	34,3
R3	33,6
R4	28,8
R5	33,3
R6	33,3
R7	33,4
R8	35,4
R9	37,4
R10	33,6
R11	34,4
R12	36,4
R13	36,1
R14	35,9
R15	35,7



Kuva 3: Keskiäänitasot LAeq Kimpilamminkankaan alueella.

### 3.1 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 tuloksinna pitää huomioida myös rakennusten ulkovaipan ääneneristävyyt.

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 ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_D$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4]

annetut ääneneristävyyden arvot. 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 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 ääneneristävyyden arvoja.

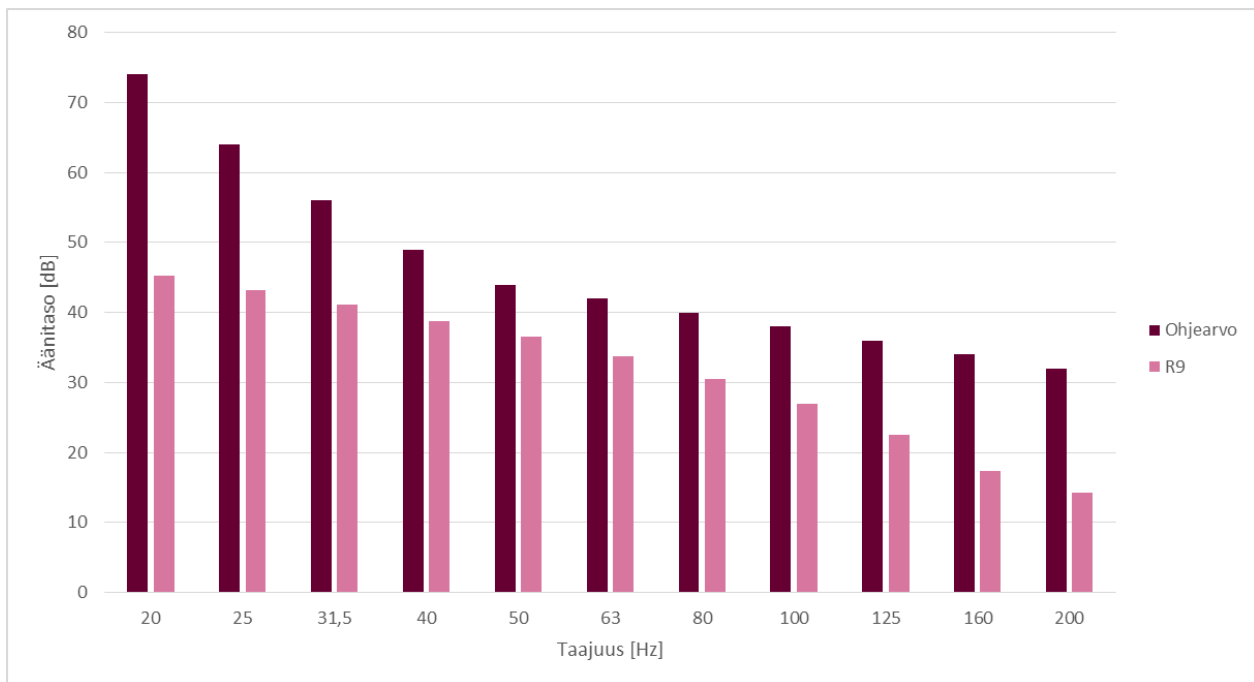
**Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>Ääneneristävyys [dB] (Tanskan ohjeistus)</b>	6,6	8,4	10,8	11,4	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	-
<b>Ääneneristävyys [dB] (viite [4])</b>	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 R9, 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 (dB) vertailukiinteistöjen kohdilla.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	52,2	50,8	49,6	48,4	47,3	46,1	44,6	43,0	40,7	37,6	36,2
<b>R2</b>	51,1	49,7	48,5	47,3	46,2	44,9	43,4	41,7	39,4	36,2	34,7
<b>R3</b>	50,7	49,2	48,0	46,9	45,7	44,5	43,0	41,3	38,9	35,7	34,1
<b>R4</b>	48,2	46,8	45,5	44,4	43,2	41,9	40,3	38,5	36,0	32,6	30,7
<b>R5</b>	49,7	48,3	47,1	45,9	44,8	43,5	42,1	40,4	38,0	34,9	33,4
<b>R6</b>	49,8	48,4	47,2	46,0	44,9	43,6	42,1	40,4	38,1	35,0	33,4
<b>R7</b>	50,0	48,6	47,3	46,2	45,1	43,8	42,3	40,6	38,3	35,1	33,6
<b>R8</b>	51,6	50,2	49,0	47,8	46,7	45,4	44,0	42,3	40,0	36,9	35,4
<b>R9</b>	52,9	51,5	50,3	49,1	48,0	46,8	45,3	43,7	41,4	38,4	37,0
<b>R10</b>	50,9	49,4	48,2	47,0	45,9	44,6	43,2	41,4	39,1	35,9	34,2
<b>R11</b>	51,4	50,0	48,8	47,6	46,5	45,2	43,8	42,1	39,7	36,5	34,9
<b>R12</b>	52,4	50,9	49,7	48,6	47,5	46,2	44,8	43,1	40,8	37,7	36,3
<b>R13</b>	51,9	50,5	49,3	48,1	47,0	45,8	44,3	42,7	40,4	37,3	35,8
<b>R14</b>	51,7	50,3	49,1	47,9	46,8	45,6	44,1	42,4	40,2	37,1	35,7
<b>R15</b>	51,6	50,2	49,0	47,9	46,7	45,5	44,0	42,4	40,1	37,0	35,5


**Kuva 4: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R9 kohdalla.**

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan 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 façades at frequencies 5–5000Hz*, 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, 545/2015, 23.4.2015, Sosiaali- ja terveysministeriö.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [11] *Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä.* Ympäristöministeriö, 14.9.2016.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>TV-2020-535-6</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 21.01.2020			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Mika Laitinen ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Mika Laitinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Pasi Tarvainen</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: <b>V162 5,6 MW</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>5,6 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>162 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB				dB
Ei		Ei					dB
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
<b>Vestas V162 5,6 MW (Blades with serrated trailing edges), Mode 0, HH 200 m</b>							
<b>V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298_01, 2019-01-23.</b>							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön takuuarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	62,3	200	93,3	2000	91,0
63	87,4	25	66,7	250	94,6	2500	89,1
125	94,8	31,5	71,0	315	95,5	3150	86,7
250	99,3	40	75,1	400	96,2	4000	83,8
500	101,1	50	78,6	500	96,4	5000	80,9
1000	100,0	63	81,9	630	96,4	6300	77,5
2000	95,9	80	85,0	800	96,0	8000	73,6
4000	89,2	100	87,5	1000	95,2	10000	69,6
8000	79,5	125	89,7	1250	94,2		
		160	91,8	1600	92,7		
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			
<b>4 m</b>				<b>10 m x 10 m</b>			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
<b>70 %</b>				<b>15 C°</b>			
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>	

Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
<b>ISO 9613-2</b>										
Vesialueet, (0) / (G)										
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)										
Maa-alueet (0) / (G)										
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus										
<b>Neutraali</b>										
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen										
<b>Vapaa avaruus</b>										
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille										
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>					Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Pienitaajuisen melun laskentamenetelmä:										
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	52,2	51,1	50,7	48,2	49,7	49,8	50,0	51,6	52,9	50,9
25	50,8	49,7	49,2	46,8	48,3	48,4	48,6	50,2	51,5	49,4
31,5	49,6	48,5	48,0	45,5	47,1	47,2	47,3	49,0	50,3	48,2
40	48,4	47,3	46,9	44,4	45,9	46,0	46,2	47,8	49,1	47,0
50	47,3	46,2	45,7	43,2	44,8	44,9	45,1	46,7	48,0	45,9
63	46,1	44,9	44,5	41,9	43,5	43,6	43,8	45,4	46,8	44,6
80	44,6	43,4	43,0	40,3	42,1	42,1	42,3	44,0	45,3	43,2
100	43,0	41,7	41,3	38,5	40,4	40,4	40,6	42,3	43,7	41,4
125	40,7	39,4	38,9	36,0	38,0	38,1	38,3	40,0	41,4	39,1
160	37,6	36,2	35,7	32,6	34,9	35,0	35,1	36,9	38,4	35,9
200	36,2	34,7	34,1	30,7	33,4	33,4	33,6	35,4	37,0	34,2
Hz	R11	R12	R13	R14	R15					
20	51,4	52,4	51,9	51,7	51,6					
25	50,0	50,9	50,5	50,3	50,2					
31,5	48,8	49,7	49,3	49,1	49,0					
40	47,6	48,6	48,1	47,9	47,9					
50	46,5	47,5	47,0	46,8	46,7					
63	45,2	46,2	45,8	45,6	45,5					
80	43,8	44,8	44,3	44,1	44,0					
100	42,1	43,1	42,7	42,4	42,4					
125	39,7	40,8	40,4	40,2	40,1					
160	36,5	37,7	37,3	37,1	37,0					
200	34,9	36,3	35,8	35,7	35,5					



# Tuulivoimahankkeen meluselvitys

SOINI-ÄHTÄRI – KIMPILAMMINKANGAS, LAYOUT VE2

MIKA LAITINEN

09.06.2020

## Raportin nimi ja tunnus

Tuulivoimahankkeen meluselvitys: Kimpilamminkangas, Layout VE2, Soini-Ähtäri  
TV-2020-535-7, 09.06.2020

## Raportin tekijät

Mika Laitinen, Numerola Oy  
[mika.laitinen@numerola.fi](mailto:mika.laitinen@numerola.fi)

## Vastaanottaja

Heini Passoja  
Sitowise Oy

## 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>

## Tiivistelmä

Raportti sisältää arvion Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan alueelle suunnitellun 24 tuulivoimalan tuulivoimapuiston aiheuttamista meluvaikutuksista. Arviointi tehdään laskennallisten menetelmien avulla. Analyysit perustuvat turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW teknisiin tietoihin sekä napakorkeuteen 200 m. Valitulle turbiinityypille äänitehotaso 106,0 dB(A) on ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön takuarvo [7]. Tässä mallinnuksessa käytetään lisäksi ylimääräistä 2 dB:n varmuusarvoa, jolloin mallinnuksessa käytetty äänitehotaso on 108,0 dB(A). Ylimääräistä varmuusarvoa käyttämällä mallinnus vastaa varovaisuusperiaatteen nojalla nykyistä äänekkäämmän ja suurempitehoisen voimalan meluvaikutuksia. Voimaloiden tuotekehityksessä melutasoja on kuitenkin viime vuosina pystytty alentamaan, vaikka voimaloiden koko ja nimellisteho ovat kasvaneet.

## Asiatarkastus

Pasi Tarvainen

## Versiohistoria

Revisio	Päiväys	Muutokset	Muutoksen tekijä
00	09.06.2020		Mika Laitinen

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	3
2	Tuulivoimaloiden melu .....	5
2.1	Melumallinnusohjeistus .....	5
2.2	Ohjeavot.....	6
3	Tuulivoimakohteen melumallinnus .....	7
3.1	Keskiäänitasojen LAeq mallinnus .....	7
3.1	Matalataajuisen melun mallinnus .....	10
4	Yhteenveto .....	13
5	Viitteet .....	14
6	Melumallinnuksen tiedot .....	15

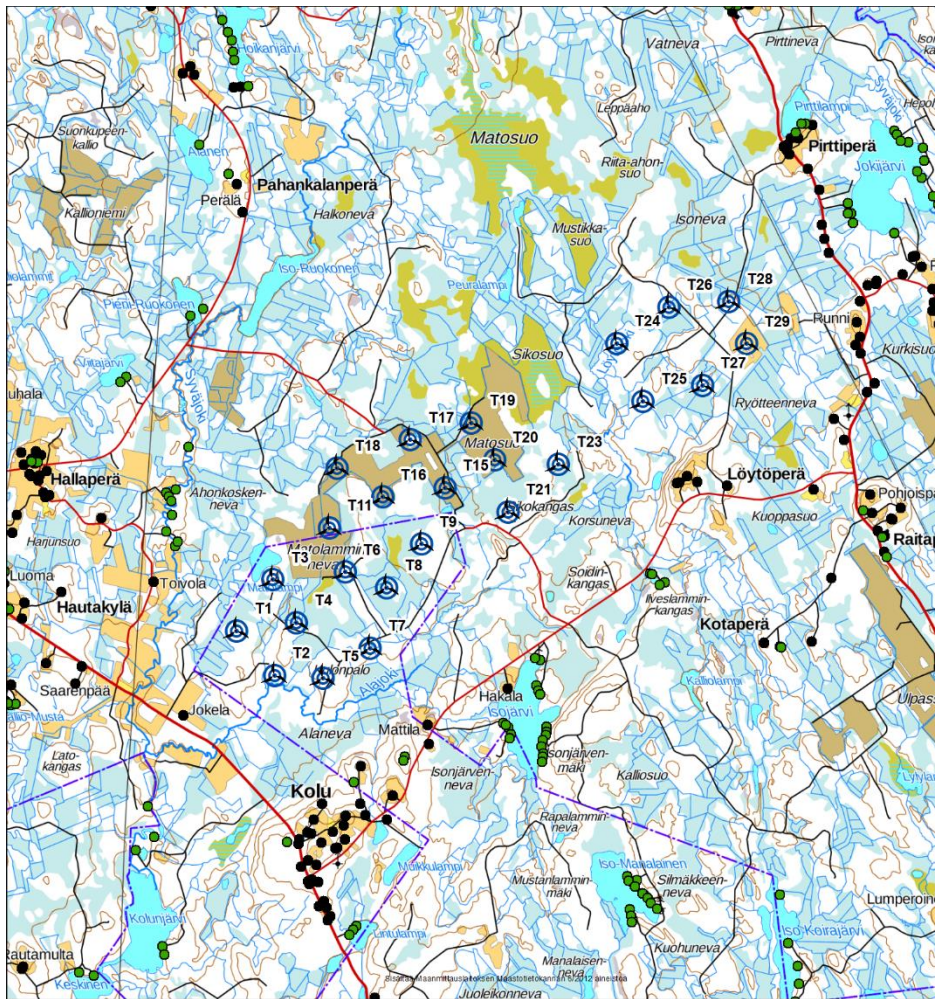
## 1 Johdanto

Selvityksessä arvioidaan Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin alueille suunnitellun Kimpilamminkankaan 24 tuulivoimalan tuulipuiston aiheuttamaa meluvaikutusta laskennallisten mallien avulla. Kohteeseen suunniteltujen turbiinien paikat on esitetty kuvassa (Kuva 1) ja koordinaatit annettu taulukossa (Taulukko 1).

Analyytit perustuvat turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW teknisiin tietoihin, jolle mallinnuksessa on käytetty napakorkeutta 200 m ja äänitehotasoa 108,0 dB(A). Tälle turbiinityypille äänitehotaso 106,0 dB(A) on ympäristöministeriön mallinnusohjeistuksen mukainen melupäästön takuarvo [7], joten tässä mallinnuksessa käytetään ylimääräistä 2 dB:n varmuusarvoa.

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

Turbiinit	E	N	Korkeus [m]
T1	358213	6960102	187
T2	358726	6959505	178
T3	358702	6960790	193
T4	359019	6960210	183
T5	359379	6959463	188
T6	359673	6960893	187
T7	360014	6959873	183
T8	360236	6960682	188
T9	360701	6961270	196
T11	359465	6961486	185
T15	361018	6962025	188
T16	360180	6961903	188
T17	360552	6962674	189
T18	359564	6962296	185
T19	361376	6962904	191
T20	361687	6962407	190
T21	361869	6961705	205
T23	362550	6962345	196
T24	363334	6963973	195
T25	363686	6963194	197
T26	364036	6964457	196
T27	364487	6963408	199
T28	364843	6964537	204
T29	365081	6963968	203



**Kimpilamminkangas, Soini-Ähtäri  
Layout VE2, 24 voimalaa**

08.01.2020 / Numerola Oy

- ⊙ Tuulivoimalat
- Lomarakennukset
- Asuinrakennukset



**Kuva 1: Tuulivoimaloiden sijainnit Kimpilamminkankaan 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 takuuarvoa (declared value)  $L_{WAd}$ . Se määritellään standardin IEC 61400-11 mukaisissa mittauksissa äänitehotasoksi, jonka varmuus melupäästön mahdollisessa verifiointissa on 95 %. Takuuarvo 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 takuuarvoihin, 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 pientaajuisen 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 takuuarvoihin, 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 L <sub>Aeq</sub> [dB]	Yö 22-07 L <sub>Aeq</sub> [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
<b>Äänitaso L<sub>eq,1h</sub> [dB]</b>	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 Kimpilamminkankaan voimaloille on käytetty turbiinityypin Vestas V162 5,6 MW valmistajan seuraavassa dokumentissa ilmoittamaa melun taajuusjakaumaa, joka tuottaa äänitehotason 104,0 dB(A):

- V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298\_01, 2019-01-23.

Dokumentissa 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."

Tälle turbiinityypille äänitehotasoa 106,0 dB(A) (104,0 dB(A) + 2 dB(A)) voidaan pitää melumallinnusohjeistuksen mukaisena melupäästön takuuarvona. Mallinnuksessa tähän äänitehotason takuuarvoon on lisätty ylimääräinen 2 dB:n varmuusarvo, eli mallinnuksessa voimaloille käytettiin äänitehotasoa 108,0 dB(A). Mallinnuksessa käytetyt taajuusjakaumat vastaavat tuulennopeutta 12 m/s napakorkeudella. Mallinnuksessa voimaloiden napakorkeus oli 200 m. Turbiinien melun impulssimaisuuteen tai amplitudimodulaatioon liittyvää sanktiota ei ole käytetty mallinnuksessa.

Turbiinityypin melupäästön kapeakaistaisuuden arvioinnissa on käytetty ympäristöministeriön Ympäristömelun mittaaminen –raportissa [10] 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. Käytetyn 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. Ympäristöhallinnon mallinnusohjeistuksen mukaan laskennan vaakaresoluution tulisi olla 1,0 m, ja mikäli maastosta ei ole saatavissa kartta-aineistoa tällä tarkkuudella, mallinnuksessa käytetään tarkinta mahdollista maaston vaaka- ja pystyresoluutiota. Tietääksemme Korkeusmalli 2 m on tarkin Maanmittauslaitoksella saatavilla oleva maaston korkeusmalli ja se perustuu maaston laserkeilauksiin.

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 maalualueilla 0,4 ja vesialueilla 0,0. Korkeuserot tuulivoimaloiden ja melulle altistuvien kohteiden välillä eivät ylitä

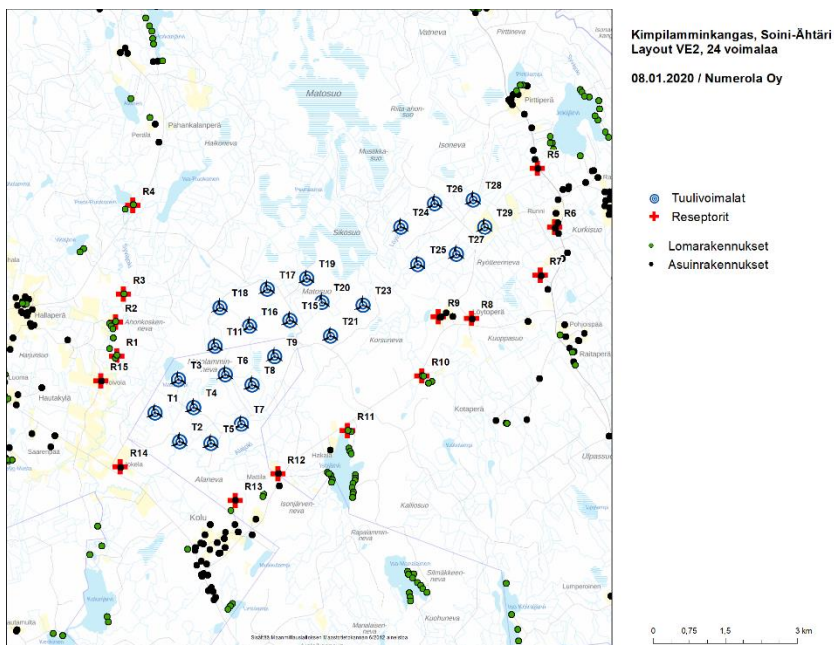


60 m, joten maanpinnan muotoon liittyvää 2 dB:n lisäystä ei huomioida. Akustisen laskennan lähtötiedoista ja parametreista on tehty yhteenveto lukuun 6.

Taulukossa (Taulukko 4) on määritelty tuulivoimaloiden ympäristöstä 15 vertailukiinteistöä, joiden kohdilla keskiäänitason LAeq ja matalataajuisen melun tasoja tarkastellaan tarkemmin. Kiinteistöjen sijaintipisteitä kutsutaan reseptoripisteiksi, ja niiden paikat suhteessa tuulivoimaloihin on esitetty karttapohjalla (Kuva 2). Kiinteistöt sijaitsevat lähimmillään 1,2–1,5 km etäisyydellä voimaloista.

**Taulukko 4: Vertailukiinteistöjen koordinaatit ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.**

Reseptori	E	N	Korkeus [m]
R1	357413	6961286	177
R2	357387	6961989	178
R3	357556	6962571	180
R4	357751	6964424	182
R5	366178	6965199	207
R6	366533	6963975	216
R7	366237	6962966	214
R8	364804	6962070	226
R9	364112	6962100	228
R10	363773	6960867	190
R11	362221	6959734	191
R12	360774	6958837	193
R13	359882	6958276	208
R14	357489	6958976	176
R15	357079	6960770	182



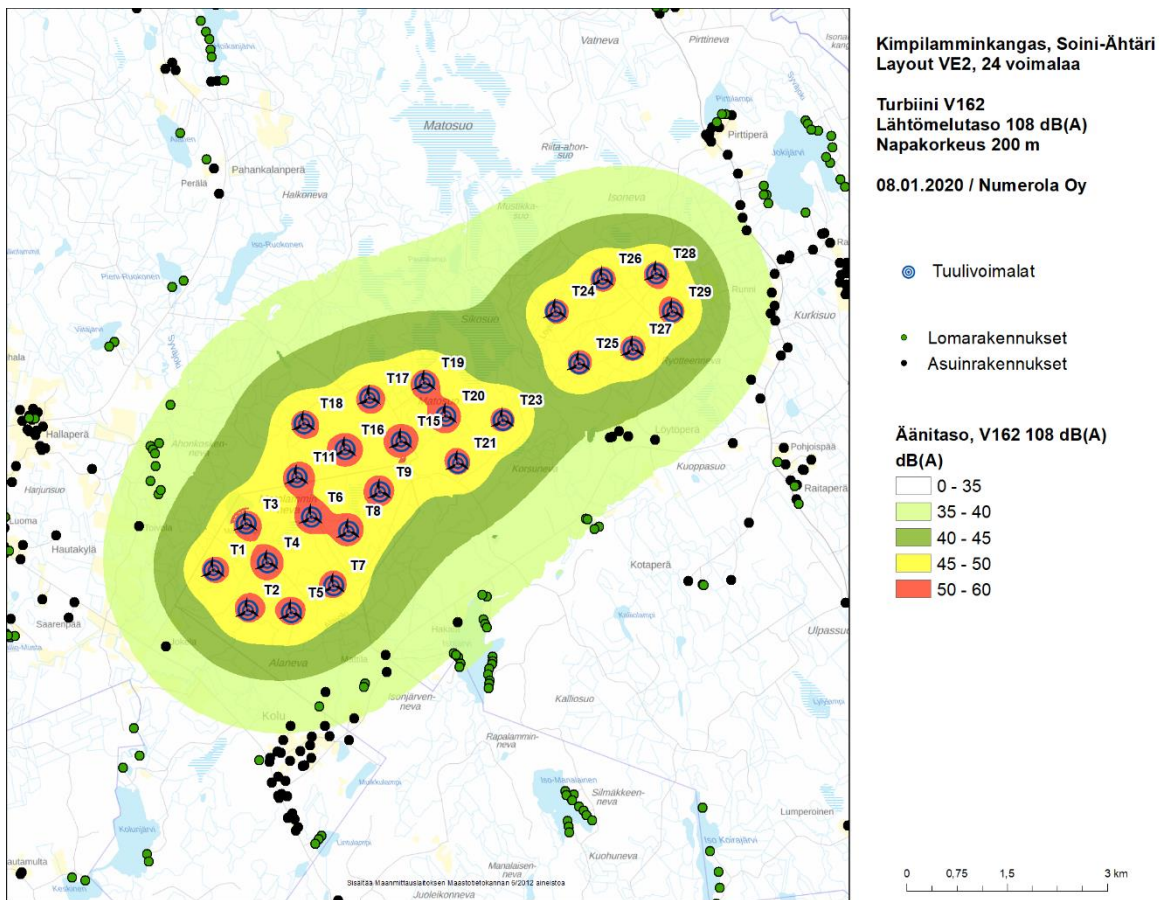
**Kuva 2: Vertailukiinteistöjen paikat Kimpilamminkankaan alueella.**

## 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. Keskiäänitasot vertailukiinteistöjen kohdilla on lueteltu taulukossa (Taulukko 5).

**Taulukko 5: Keskiäänitasot LAeq reseptoripisteiden kohdilla.**

Reseptori	Äänitaso dB(A)
R1	38,3
R2	36,3
R3	35,6
R4	30,8
R5	35,3
R6	35,3
R7	35,4
R8	37,4
R9	39,4
R10	35,6
R11	36,4
R12	38,4
R13	38,1
R14	37,9
R15	37,7



**Kuva 3: Keskiäänitasot LAeq Kimpilamminkankaan alueella.**

### 3.1 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 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 määritelty rakennuksen ääneneristävyyssparametri ( $\Delta L_0$ ) taajuuskaistoittain, jolloin saadaan laskettua myös sisämelutasot ja ohjearvoihin verrannolliset mallinnustulokset. Taulukossa (Taulukko 6) on esitetty sekä Tanskan ympäristöhallinnon ohjeissa että artikkelissa [4]

annetut ääneneristävyyden arvot. 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 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 ääneneristävyyden arvoja.

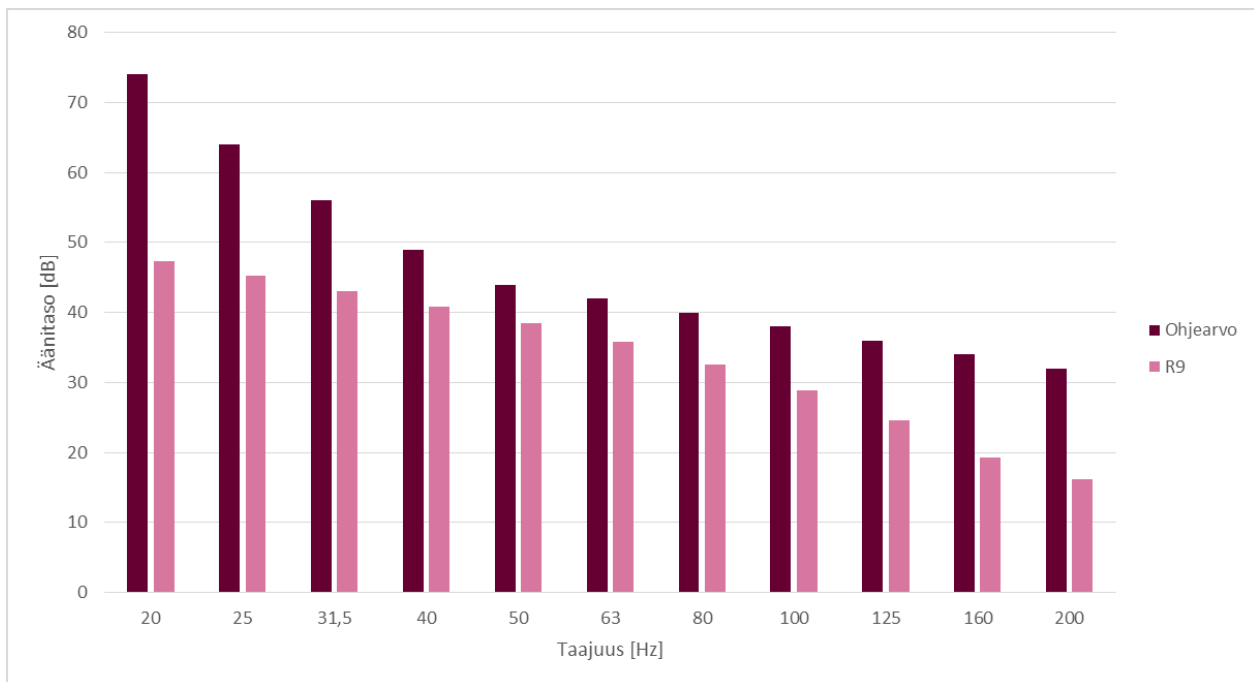
**Taulukko 6: Rakennuksen ääneneristävyyden arvoja taajuuskaistoittain.**

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 R9, 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 (dB) vertailukiinteistöjen kohdilla.**

Taajuus [Hz]	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
<b>R1</b>	54,2	52,8	51,6	50,4	49,3	48,1	46,6	45,0	42,7	39,6	38,2
<b>R2</b>	53,1	51,7	50,5	49,3	48,2	46,9	45,4	43,7	41,4	38,2	36,7
<b>R3</b>	52,7	51,2	50,0	48,9	47,7	46,5	45,0	43,3	40,9	37,7	36,1
<b>R4</b>	50,2	48,8	47,5	46,4	45,2	43,9	42,3	40,5	38,0	34,6	32,7
<b>R5</b>	51,7	50,3	49,1	47,9	46,8	45,5	44,1	42,4	40,0	36,9	35,4
<b>R6</b>	51,8	50,4	49,2	48,0	46,9	45,6	44,1	42,4	40,1	37,0	35,4
<b>R7</b>	52,0	50,6	49,3	48,2	47,1	45,8	44,3	42,6	40,3	37,1	35,6
<b>R8</b>	53,6	52,2	51,0	49,8	48,7	47,4	46,0	44,3	42,0	38,9	37,4
<b>R9</b>	54,9	53,5	52,3	51,1	50,0	48,8	47,3	45,7	43,4	40,4	39,0
<b>R10</b>	52,9	51,4	50,2	49,0	47,9	46,6	45,2	43,4	41,1	37,9	36,2
<b>R11</b>	53,4	52,0	50,8	49,6	48,5	47,2	45,8	44,1	41,7	38,5	36,9
<b>R12</b>	54,4	52,9	51,7	50,6	49,5	48,2	46,8	45,1	42,8	39,7	38,3
<b>R13</b>	53,9	52,5	51,3	50,1	49,0	47,8	46,3	44,7	42,4	39,3	37,8
<b>R14</b>	53,7	52,3	51,1	49,9	48,8	47,6	46,1	44,4	42,2	39,1	37,7
<b>R15</b>	53,6	52,2	51,0	49,9	48,7	47,5	46,0	44,4	42,1	39,0	37,5


**Kuva 4: Matalataajuisen sisämelun tasot vertailukiinteistön R9 kohdalla.**

## 4 Yhteenveto

Raportissa on esitetty Soinin kunnan ja Ähtärin kaupungin Kimpilamminkankaan 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 façades at frequencies 5–5000Hz*, 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, 545/2015, 23.4.2015, Sosiaali- ja terveysministeriö.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2 | 2014. Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimarakentamisen suunnittelu, Ympäristöhallinnon ohjeita 4 | 2012. Ympäristöministeriö, 2012.
- [9] Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. Astui voimaan 1.9.2015.
- [10] Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriö, Ohje I 1995.
- [11] *Yhteenvedo tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä.* Ympäristöministeriö, 14.9.2016.

## 6 Melumallinnuksen tiedot

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT							
Mallinnusraportin numero/tunniste: <b>TV-2020-535-7</b>				Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 09.06.2020			
Tekijä/organisaatio, yhteystiedot: <b>Numerola Oy, PL 126, 40101 Jyväskylä</b>							
Vastuuhenkilöt: <b>Mika Laitinen ja Erkki Heikkola</b>							
Laatija: <b>Mika Laitinen</b>				Tarkastaja/hyväksyjä: <b>Pasi Tarvainen</b>			
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT							
Mallinnusohjelma ja versio: <b>Numerrin, versio 4 (Numerola Oy)</b>				Mallinnusmenetelmä: <b>ISO 9613-2</b>			
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)							
Tuulivoimalan valmistaja: Vestas				Tyyppi: <b>V162 5,6 MW</b>		Sarjanumero/t:	
Nimellisteho: <b>5,6 MW</b>		Napakorkeus: <b>200 m</b>		Roottorin halkaisija: <b>162 m</b>		Tornin tyyppi:	
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana ja sen vaikutus meluun							
Lapakulman säätö		Pyörimisnopeus		Muu, mikä			
<b>Kyllä</b>	dB	<b>Kyllä</b>	dB				dB
Ei		Ei					dB
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT							
<b>Vestas V162 5,6 MW (Blades with serrated trailing edges), Mode 0, HH 200 m</b>							
<b>V162-5.6 MW, Third octave noise emission, DMS 0079-5298_01, 2019-01-23.</b>							
Melupäästötiedot (valmistajan ilmoittamat melupäästön takuuarvot)							
Oktaaveittain [Hz]		1/3-oktaaveittain [Hz]					
31,5		20	64,3	200	95,3	2000	93,0
63	89,4	25	68,7	250	96,6	2500	91,1
125	96,8	31,5	73,0	315	97,5	3150	88,7
250	101,3	40	77,1	400	98,2	4000	85,8
500	103,1	50	80,6	500	98,4	5000	82,9
1000	102,0	63	83,9	630	98,4	6300	79,5
2000	97,9	80	87,0	800	98,0	8000	75,6
4000	91,2	100	89,5	1000	97,2	10000	71,6
8000	81,5	125	91,7	1250	96,2		
		160	93,8	1600	94,7		
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			
<b>4 m</b>				<b>10 m x 10 m</b>			
Suhteellinen kosteus				Lämpötila			
<b>70 %</b>				<b>15 C°</b>			
Maastomallin lähde ja tarkkuus							
Maastomallin lähde: <b>Maanmittauslaitos</b>				Vaakaresoluutio: <b>2 m</b>		Pystyresoluutio: <b>0,3 m</b>	



Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
<b>ISO 9613-2</b>										
Vesialueet, (0) / (G)										
Maa-alueet, (0,4) / (A-D/E-F)										
Maa-alueet (0) / (G)										
Ilmakehän stabiilius laskennassa/meteorologinen korjaus										
<b>Neutraali</b>										
Voimalan äänen suuntaavuus ja vaimentuminen										
<b>Vapaa avaruus</b>										
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melulle altistuvat asukkaat ja kohteet, lkm (meluntorjunta/voimalan ohjaus huomioiden)										
Asukkaat: <b>0 kpl</b>			Vapaa-ajan rakennukset: <b>0 kpl</b>				Hoito- ja oppilaitokset: <b>0 kpl</b>			
Melun leviäminen virkistys- tai luonnonsuojelualueille										
Virkistysalueet: <b>0 kpl</b>					Luonnonsuojelualueet: <b>0 kpl</b>					
Pienitaajuisten melun laskentamenetelmä:										
Lineaariset melutasot [dB] altistuvien kohteiden (rakennusten) ulkopuolella										
Hz	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
20	54,2	53,1	52,7	50,2	51,7	51,8	52,0	53,6	54,9	52,9
25	52,8	51,7	51,2	48,8	50,3	50,4	50,6	52,2	53,5	51,4
31,5	51,6	50,5	50,0	47,5	49,1	49,2	49,3	51,0	52,3	50,2
40	50,4	49,3	48,9	46,4	47,9	48,0	48,2	49,8	51,1	49,0
50	49,3	48,2	47,7	45,2	46,8	46,9	47,1	48,7	50,0	47,9
63	48,1	46,9	46,5	43,9	45,5	45,6	45,8	47,4	48,8	46,6
80	46,6	45,4	45,0	42,3	44,1	44,1	44,3	46,0	47,3	45,2
100	45,0	43,7	43,3	40,5	42,4	42,4	42,6	44,3	45,7	43,4
125	42,7	41,4	40,9	38,0	40,0	40,1	40,3	42,0	43,4	41,1
160	39,6	38,2	37,7	34,6	36,9	37,0	37,1	38,9	40,4	37,9
200	38,2	36,7	36,1	32,7	35,4	35,4	35,6	37,4	39,0	36,2
Hz	R11	R12	R13	R14	R15					
20	53,4	54,4	53,9	53,7	53,6					
25	52,0	52,9	52,5	52,3	52,2					
31,5	50,8	51,7	51,3	51,1	51,0					
40	49,6	50,6	50,1	49,9	49,9					
50	48,5	49,5	49,0	48,8	48,7					
63	47,2	48,2	47,8	47,6	47,5					
80	45,8	46,8	46,3	46,1	46,0					
100	44,1	45,1	44,7	44,4	44,4					
125	41,7	42,8	42,4	42,2	42,1					
160	38,5	39,7	39,3	39,1	39,0					
200	36,9	38,3	37,8	37,7	37,5					