

101002800-001
28.5.2018



INFINERGIES FINLAND OY
Pajuperänkankaan tuulivoimapuiston meluselvitys

Sisäinen tarkistussivu

Asiakas	Infinergies Finland Oy
Otsikko	Pajuperänkankaan tuulipuiston ympäristömeluselvitys
Työnumero	101002800-001
Tiedoston nimi	Pajuperänkangas_Tuulivoimameluselvitys_2018_FINAL.doc x
Tiedoston sijainti	
Järjestelmä	Microsoft Word 14.0
Ulkoinen jakelu	
Sisäinen jakelu	Ella Kilpeläinen / Ympäristöpalvelut
Vastaava yksikkö	Pöyry Finland Oy - Ympäristökonsultointi
Toimipaikka	Vantaa
Alkuperäinen	
Dokumentin pvm	28.5.2018
Laatija/asema/allekirj.	Carlo Di Napoli / Johtava asiantuntija Tapio Lukkari / Ympäristömelun asiantuntija
Tarkistuspvm	28.5.2018
Tarkistanut/asema/allekirj.	Ella Kilpeläinen / Johtava asiantuntija

Copyright © Pöyry Finland Oy

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

Copyright © Pöyry Finland Oy

YHTEENVETO

Infinergies Finland Oy suunnittelee Haapajärvellä sijaitsevalle Pajuperänkankaan alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 15 yksikköteholtaan 3 - 6 MW:n tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa tuulivoimamelun leviämisyöhykkeet mallinnettiin tietokoneavusteisesti digitaalikarttaan noudattaen ympäristöministeriön tuulivoimamelun mallinnusohjeita YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 15 x 109.5 dB:n tai 15 x 106.9 dB:n mukaisilla hankevaihtoehtoilla laskettu 40 dB:n keskiäänitaso LAeq ei ylity lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Tulokset alittavat Valtioneuvoston tuulivoimamelun yöajan ohjearvot ulkona.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmaäänieristävyysvaatimus olisi noin 1-5 dB taajuusvälillä 50 - 200 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on hyödynnetty uusia suomalaisten pientalojen rakenteiden mukaisia ilmaäänieristävyysmittaushankeen tilastollisia arvoja rakennuksista vuodelta 2017.

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Useat hankealuetta lähellä olevat kohteet sijaitsevat kantatie 58:n läheisyydessä, jolloin tiemelun vaikutus äänimaisemaan on vallitseva.

SISÄLTÖ**YHTEENVETO**

1	JOHDANTO	5
1.1	Ympäristömelu	5
1.2	Tuulivoimamelu	5
2	LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT	7
2.1	Digitaalikärttä-aineisto	7
2.2	Mallinnetut turbiinityypit	7
2.2.1	Gamesa G128 4.5 MW	7
2.2.2	Vestas V150 4.2 MW	7
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	8
2.4	Melumallinnus ja laskentaparametrit	9
2.4.1	Pientaajuisten melun laskenta	11
2.5	Vertailuohjeet	12
2.6	Melutason toimenpiderajat sisätiloissa	12
3	LASKENTATULOKSET	13
3.1	Melun leviäminen	13
3.2	Mallinnustulokset, 15 voimalaa	13
3.3	Pientaajuinen melu	16
3.4	Alueen melun nykytila	17
4	MELUVAIKUTUKSET	18
4.1	Melun vaikutukset alueen äänimaisemaan	18
4.2	Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	18
4.3	Vaikutusten seuranta	19
5	YHTEENVETO	19
	VIITTEET	19

Liitteet

- Liite 1 Melumallinnuskartta (ISO 9613-2), melun reseptoripisteet P1-P11, Gamesa G128 4.5MW
Melumallinnuskartta (ISO 9613-2), melun reseptoripisteet P1-P11, Vestas V150 4.2MW,
jossa siipien sahalaidoitus
- Liite 2 Pientaajuisten melulaskennan tulokset, 15 x Gamesa G128 4.5MW
Pientaajuisten melun laskentatulokset, 15 x Vestas V150 4.2MW, jossa siipien sahalaidoitus
- Liite 3 Tiemelumallinnuskartta kantatie 58:n osalta päiväaikaan (klo 7-22)
- Liite 4 Tiemelumallinnuskartta kantatie 58:n osalta yöaikaan (klo 22-7)
- Liite 5 YM OH 2/2014 ohjeen mukainen taulukko

Lyhenteet

L_{Aeq}	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso [dB]
L_{WA}	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso [dB]
L_{WZ}	Taajuuspainottoman äänilähteen äänitehotaso [dB]

1 JOHDANTO

Infinergies Finland Oy suunnittelee Haapajärvellä sijaitsevalle Pajuperänkankaan alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 15 yksikköteholtaan 3 - 6 MW:n tuulivoimalaitosta.

Tässä raportissa käsitellään melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Vertailuarvoina käytetään uuden meluasetuksen ohjearvoja [1] sekä alueen melun nykytilannetta. Mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014 [3].

1.1 Ympäristömelu

Ääni on aaltoliikettä, joka tarvitsee väliaineen välittyäkseen eteenpäin. Ilmassa äänellä on nopeus, joka on riippuvainen ilman lämpötilasta. Eri väliaineissa ääniaalto kulkee eri nopeuksilla väliaineen ominaisuuksista riippuen. Normaali ympäristömelu sisältää useista kohteista peräisin olevaa yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa.

Melu on subjektiivinen käsite, jolla viitataan äänen negatiivisiin vaikutuksiin. Sitä käytetään puhuttaessa ei-toivotusta äänestä, josta seuraa ihmisille haittaa ja jonka havaitsemisessa kuulijan omilla tuntemuksilla ja äänen erotuskyvyllä on suuri merkitys. Melua voidaan mitata sen fysikaalisten ominaisuuksien perusteella.

Ympäristömelu koostuu ihmisen toiminnan aiheuttamasta melusta, joka vaihtelee ajan ja paikan mukaan. Äänen (melun) voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmisia desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle ilmassa) käytetään referenssipainetta 20 μPa ilmalle sekä 1 μPa muille aineille. Tällöin 1 Pa paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. [2]

Kuuloaistin herkkyyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen ja ilmaistaan usein A-kirjaimella dimension perässä, esimerkiksi dB(A).

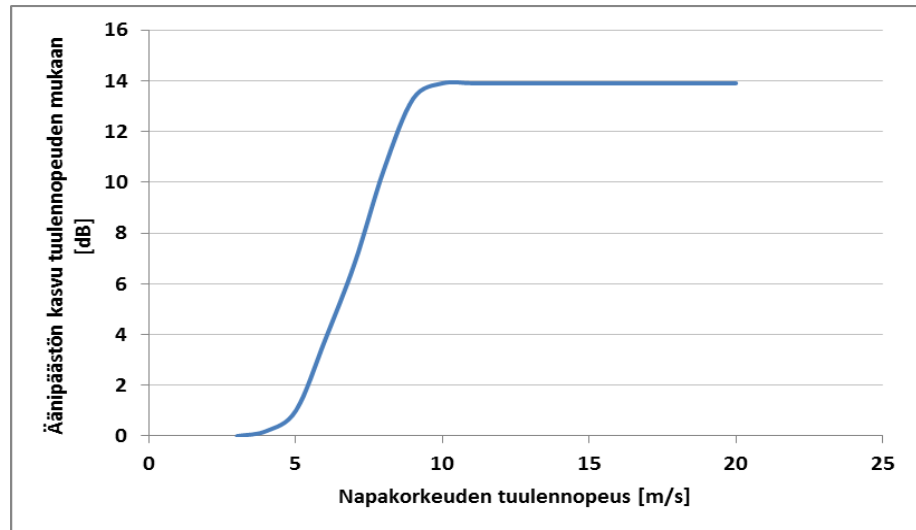
Melun ekvivalenttitaso (symboli L_{eq}) tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso. Koska ääni käsitellään logaritmisena suurena, on hetkellisesti korkeammilla äänitasoilla suhteellisen suuri vaikutus ekvivalenttiseen melutasoon. Tasaisessa teollisuusmelussa hetkellisivaihtelut ovat usein varsin lähellä myös ekvivalenttista arvoa, mikäli toiminnasta ei aiheudu impulssimaisia melutapahtumia.

1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiäänäni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta (muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät). Aerodynaaminen melu on hallitsevin (noin 60–70 prosenttia kokonaisäänienergiasta) lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin. Pientaajuisen melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiöt,

siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisihiöt (ilmamassan impedanssi etäisyyden kasvaessa). Aerodynaaminen melu voi myös aiheuttaa viheltävää ääntä esimerkiksi siipivaurioiden yhteydessä turbulenttisen ilmapirran resonanssi-ilmiön vuoksi.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Pyörivän siivistön äänitaso on ylä- ja alatuulen puolilla suurempi kuin sivusta käsin katsottuna samalla etäisyydellä [4]. Lisäksi voimalan lähtöäänitaso on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulilla ja lähellä käyntiänlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla.



Kuva 1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s tuulisuuden jälkeen.

Maksimiäänitehotaso (L_w) saavutetaan nimellistehon tuulinopeuksilla (yleisesti nopeus napakorkeudella > 10 m/s) ennen siipikulmasäädön käynnistymistä, mikä yleensä tasoittaa äänitehotason nousun tuulen nopeuden edelleen kasvaessa (ks. kuva 1).

Taustamelu (liikennemelu, teollisuusmelu) sekä tuulen aiheuttama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti vaihtelevia. Peittoäänien vaikutus on sitä parempi, mitä lähempänä peittoäänien taajuusjakauma on vastaavaa tuuliturbiinin äänijakaumaa [5]. Vastaavasti tuulivoimamelun mahdollinen syöntä, jossa melutaso vaihtelee ajallisesti voimalan roottorin pyörimisen mukaan ja joka voi joissain säätilanteissa esiintyä tuulivoimamelussa, voi heikentää taustamelun peittovaikutusta ja siten kuulua myös taustakohinan läpi. Näin erityisesti tilanteissa, joissa alailmakehän stabiilisuus kasvaa, joka osaltaan vähentää kasvillisuuden ja aallokon kohinaa.[6]

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasoa voidaan kontrolloida erillisellä optimointisäädöllä, jonka avulla kellonajan, tuulensuunnan ja tuulennopeuden mukaan säädetään lapakulmaa haluttuun pyörimisnopeuteen ja melutasoon. Tällä säädöllä on kuitenkin vaikutuksia voimalan sen hetkiseen tuotantotehoon.

2 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Laskennan lähtötiedot on koottu tilaajan lähettämästä aineistosta, digitaaliaineistosta, sekä kirjallisuudesta.

2.1 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0.5m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten ja teiden paikkatiedot, laajat kallioalueet sekä vesiraja.

2.2 Mallinnetut turbiinityypit

Mallinnus suoritettiin kahdelle eri voimalatyypille. Mallinnus suoritettiin käyttäen Gamesa G128:n (4.5 MW) tuulivoimalan tietoja, jolla on lähtökohtaisesti varsin korkea äänipäästö. Tuulivoimaloiden kehitys on tällä hetkellä erittäin nopeaa ja uusimpien mallien äänipäästöön voidaan vaikuttaa erilaisin teknisin menetelmin, kuten siipimallia vaihtamalla (ks. kpl 4.2). Toinen mallinnus suoritettiin voimalatyypille Vestas V150 (4.2 MW), jonka äänipäästöä on vähennetty käyttäen siipien sahalaudoitusta.

2.2.1 Gamesa G128 4.5 MW

Laskennassa käytetyn tuulivoimalan äänen taajuusjakauma terssikaistalla (1/3 oktaavikaistalla, taajuudet 25 Hz – 10 000 Hz) on saatu valmistajan aineistosta sekä uusista mittauksista. Aineisto on käyty läpi eikä se sisällä riskiä melun kapeakaistaisuudelle. Valmistaja takaa melupäästön kokonaisarvon melutakuun tunnusarvona $L_{W,d}$ ("apparent sound power level"), johon sisältyy 2 dB:n varmuusarvo. Takuu ei koske taajuuskaistoja oktaavi- tai terssikaistatasolla.

Mallinnus sisältää 15 voimalaa tornikorkeudella 186 m.

Alla on esitetty mallinnuksessa käytetyn voimalamallin oktaavikaistan painottamattomia taajuusarvoja.

Taulukko 1. Mallinnettujen tuulivoimalaitosten äänipäästön tunnusarvo kokonaislukuina, $L_{W,d}$

Taajuusjakauma, oktaavikaistat [Hz]										
Voimalatyyppi	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	$L_{W,A,d}$
G128, 4.5 MW, $L_{W,d}$ [dB]	118	116	113	112	107	104	99	91	82	109.5

2.2.2 Vestas V150 4.2 MW

Laskennassa käytetyn tuulivoimalan äänen taajuusjakauma terssikaistalla (1/3 oktaavikaistalla, taajuudet 25 Hz – 10 000 Hz) on saatu valmistajan aineistosta. Aineisto on käyty läpi eikä se sisällä riskiä melun kapeakaistaisuudelle. Valmistaja ei vielä tässä vaiheessa takaa melupäästön kokonaisarvoa melutakuuna voimalamallin uutuuden vuoksi, jolloin melupäästön lukuarvoon lisätään varmuusarvona 2 dB takuuarvon saamiseksi (YM9/5511/2016).

Mallinnus sisältää 15 voimalaa tornikorkeudella 175 m.

Alla on esitetty mallinnuksessa käytetyn voimalamallin oktaavikaistan painottamattomia taajuusarvoja.

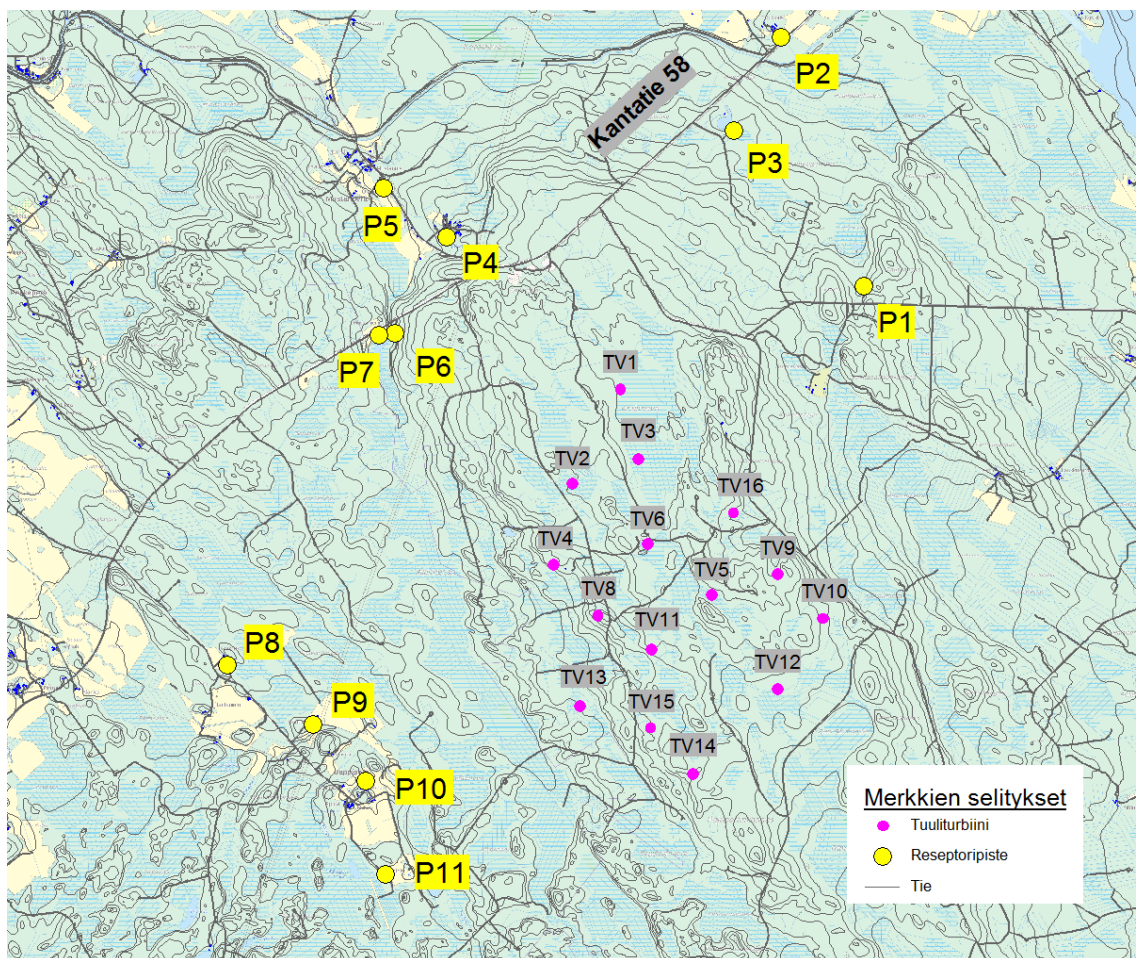
Taulukko 2. Mallinnettujen tuulivoimalaitosten äänipäästö kokonaislukuina, LW

Taajuusjakauma, oktaavikaistat [Hz]										
Voimalatyyppi	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _w +2dB
V150, 4.2 MW, L _w [dB]	115	112	110	107	103	99	94	87	80	106.9

2.3

Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden eli asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Sijainnit on merkitty myös raportin mallinnuskarttapohjiin. Taulukoissa 3-4 on esitetty kuvan sijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa.


Taulukko 3. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden sijainnit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Tuulivoimala	ETRS-TM35FIN	
	E	N
TV1	413303,59	7060861,42
TV2	412876,00	7060028,00
TV3	413459,00	7060248,00
TV4	412711,00	7059318,00
TV5	414102,00	7059055,00
TV6	413541,00	7059505,00
TV8	413099,00	7058870,00
TV9	414682,00	7059237,00
TV10	415081,25	7058844,94
TV11	413572,00	7058574,00
TV12	414680,00	7058228,00
TV13	412945,51	7058079,04
TV14	413935,00	7057484,00
TV15	413566,00	7057885,00
TV16	414297,00	7059778,00

Taulukko 4. Reseptoripisteiden sijainnit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Kohde	Reseptori piste	ETRS-TM35FIN	
		E	N
Loma-asuinrakennus (Tauskangas)	P1	415447,46	7061759,74
Asuinrakennus x 2 (Toukkala)	P2	414715,45	7063942,36
Loma-asuinrakennus x 2 (Pitkämäki)	P3	414301,55	7063126,77
Asuinrakennus x 4 (Antinpuro)	P4	411780,07	7062190,45
Asuinrakennus x 7 (Mustanperä)	P5	411220,54	7062620,78
Loma-asuinrakennus (Mustanlampi)	P6	411325,03	7061347,00
Asuinrakennus (Mustanlampi)	P7	411178,89	7061328,33
Asuinrakennus (Keskitalo)	P8	409853,39	7058437,17
Asuinrakennus (Kääntä)	P9	410600,44	7057912,85
Asuinrakennus x 5 (Jäppiperä)	P10	411067,39	7057415,33
Asuinrakennus (Puistola)	P11	411241,28	7056597,80

2.4 Melumallinnus ja laskentaparametrit

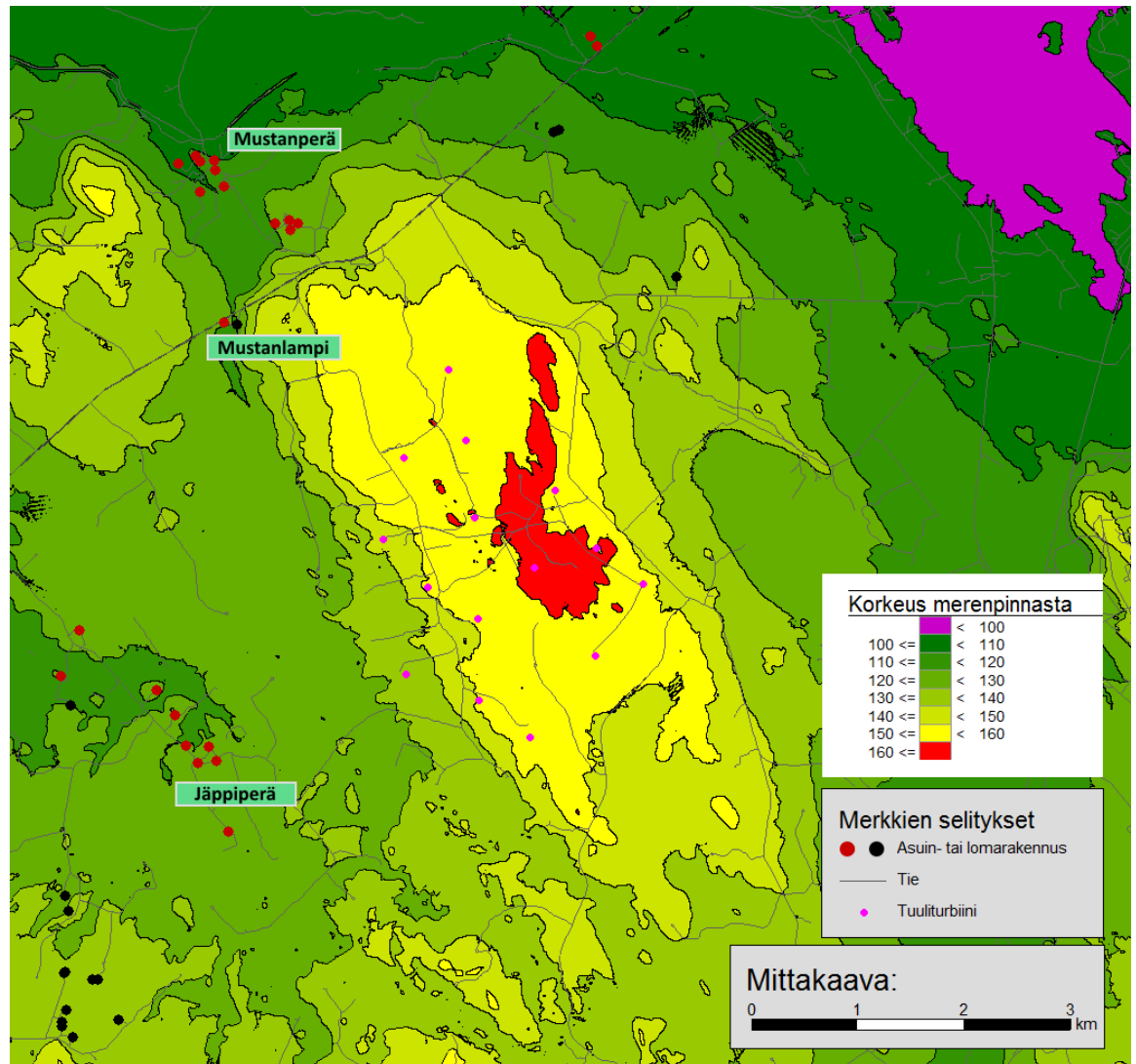
Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v7.4 64bit, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immissio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina on käytetty ISO 9613-2, jonka parametrisointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa [3].

Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämismuutuminen, maaston korkeuserot, rakennukset sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 2. Laskennan epävarmuus on nyt sisällytetty tuulivoimalan äänen melupäästöarvoon lisäämällä valmistajan ilmoittamaan äänipäästöön varmuusarvo 2 dB. Lisäksi laskennassa on käytetty vakioituja laskentaparametreja, jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teollisuus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit: [3], [13]

1. Yleinen maa-absorptiovakio on 0.4, tieliikennemelussa se on 1. Maavaimennus on siten pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa yleisesti
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään tässä laskennassa äänipäästön tunnusarvoa $L_{WA,d} + 2$ dB lisäyksellä valmistajan aineistoon nähden, kun tieliikennemelussa se on keskivuorokausiliikenne KVL. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää mm. laitteiden aikakorjauksia.
3. 4m:n laskentakorkeus, kun tieliikennemelussa se on Suomessa 2m.

Vaikka alueen topografia on jokseenkin kumpuilevaa, laskentaparametreihin ei ole perusteltua tehdä muutoksia. Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja immissiopisteiden maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön L_{WA}). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä, sillä 60 m korkeuserovaatimus ei täyty yhdenkään tuulivoimalan ja immissiopisteen välillä (kuva 2).



Kuva 2. Maaston topografian vaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.

Käytännössä 60 m korkeuseron muodostumiseksi tuulivoimalan täytyisi sijaita kartan punaisella alueella ja immissiopisteen violetilla kartta-alueella (kolmen kilometrin säteellä). Lähimpien asuin- ja lomarakennusten osalta suurin korkeusero muodostuu Mustanlammen rakennuksiin, joiden korkeus merenpinnasta on noin 120 m. Näistä asunnoista katsottuna kolmen kilometrin säteellä korkeimmalla sijaitsevan tuulivoimalan (TV 2) perustukset ovat 158 m korkeudessa merenpinnasta, jolloin korkeusero jää alle 40 metriin.

Taulukko 5. Laskentamallien parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 Ylärajatarkastelu, YM OH 2/2014 kpl 4.1 [3]
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2 [3] Pientaajuihin melulaskenta: DSO 1284 [7] sekä pientalojen ilmaäänieristys [8]
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2017), topografian pystyresoluution on 0.5m.
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia
Äänilähde	Pistelähde
Äänitakuu $L_{WA,d}$	Gamesa G128: 109.5 dB, Vestas V150: 106.9 dB
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 25 Hz – 10 000 Hz
Topografiakorjaus	Ei korjausta
Laskentaverkko	Laskentapistet viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan akustinen kovuus	ISO 9613-2, $G=0.4$ (maa-alueet), $G=0$ (vesialueet sekä laajat kallioalueet)
Objektien heijastuvuus	Reseptorilaskennat: arvolla 0 (ei heijastusta)
Laskentavyöhykkeet, L_{Aeq}	40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.4.1 Pientaajuisen melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuihin melu lasketaan käyttäen voimalan painottamattomia äänipäästöjä (takuun mukaisella painottamattomalla kokonaisäänipäästöillä L_{WZ}) 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200Hz. Laskenta suoritetaan ohjeen DSO 1284 sekä YM:n ohjeen mukaisesti [3] [7].

Laskennassa on hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8]. Pientalojen ilmaäänieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu 90% persentiiliarvona DL90%. Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. Laskennassa ei kuitenkaan arvioida melun ekvivalenttista kokonaistasoa $L_{eq,1h}$ sisätiloissa, sillä äänieristysmittausten uusimmat tulokset ovat vain pientaajuisen melun taajuusalueella 5-200Hz.

Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen sekä pientaajuisten melun tulokset alittavat selvästi VNa 1107 [1] sekä STM:n asumisterveysasetuksen [11] toimenpiderajat. Tätä tukevat myös tehdyt tuulivoimamelun sisätilamittaukset Suomessa sekä ilmaäänieristysten keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

2.5 Vertailuohjearvot

Valtioneuvosto on 27.8.2015 hyväksynyt uudet ohjearvot tuulivoimaloiden melulle ulkona [1]. Asetus tuli voimaan 1.9.2015. Oheisessa taulukossa on esitetty uuden asetuksen mukaiset keskiäänitason ohjearvot LAeq tuulivoimamelulle päivällä ja yöllä.

Taulukko 6. Tuulivoimamelun uudet ohjearvot, LAeq

Tuulivoimamelun ohjearvot	LAeq päivä-ajalle (klo 7–22)	LAeq yöajalle (klo 22–7)
Pysyvä asutus, Loma-asutus, Hoitolaitokset, Leirintäalueet	45 dB	40 dB
Oppilaitokset, Virkistysalueet	45 dB	-
Kansallispuistot	40 dB	40 dB

Jos tuulivoimalan melu on impulssimaista tai kapeakaistaista melulle altistuvalla alueella, valvonnan yhteydessä saatuun mittaustulokseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista 3 §:ssä säädettyihin arvoihin.

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjearvot määritetään A-taajuuspainotettuna keskiäänitasona LAeq erikseen yhden vuorokauden päiväajan ja yöajan osalta. Kyse ei ole hetkellisistä enimmäisäänitasoista. Kunkin vuorokauden päiväajan 15 tunnin (klo 7–22) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun päiväajan ohjearvon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun yöajan ohjearvon mukaisena. [12]

Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita vaan melun leviäminen lasketaan taatun äänipäästön arvoilla ja tulosvertailu tehdään vain yöajan 40 dB:n ohjearvoon nähden. [3]

2.6 Melutason toimenpiderajat sisätiloissa

Sosiaali- ja terveysministeriön uusi asumisterveysasetus 545/2015 asettaa sisätilojen äänitasoille toimenpiderajat erityisesti yöajan äänitasoille nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa sekä pientaajuisten melulle taajuusvälillä 20–200Hz.[11]

Taulukko 7. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015). [11]

Melun A-painotettu ekvivalenttitaso (LAeq) enintään		
Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
<i>Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat ja vastaavat tilat</i>		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB

<i>Kokoontumis- ja opetushuoneistot</i>		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
<i>Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)</i>		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB	-

Yöaikainen (klo 22–7) musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona LAeq,1h (klo 22–7) mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen. [11]

Taulukko 8. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07

Kaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Leq,1h	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

3 LASKENTATULOKSET

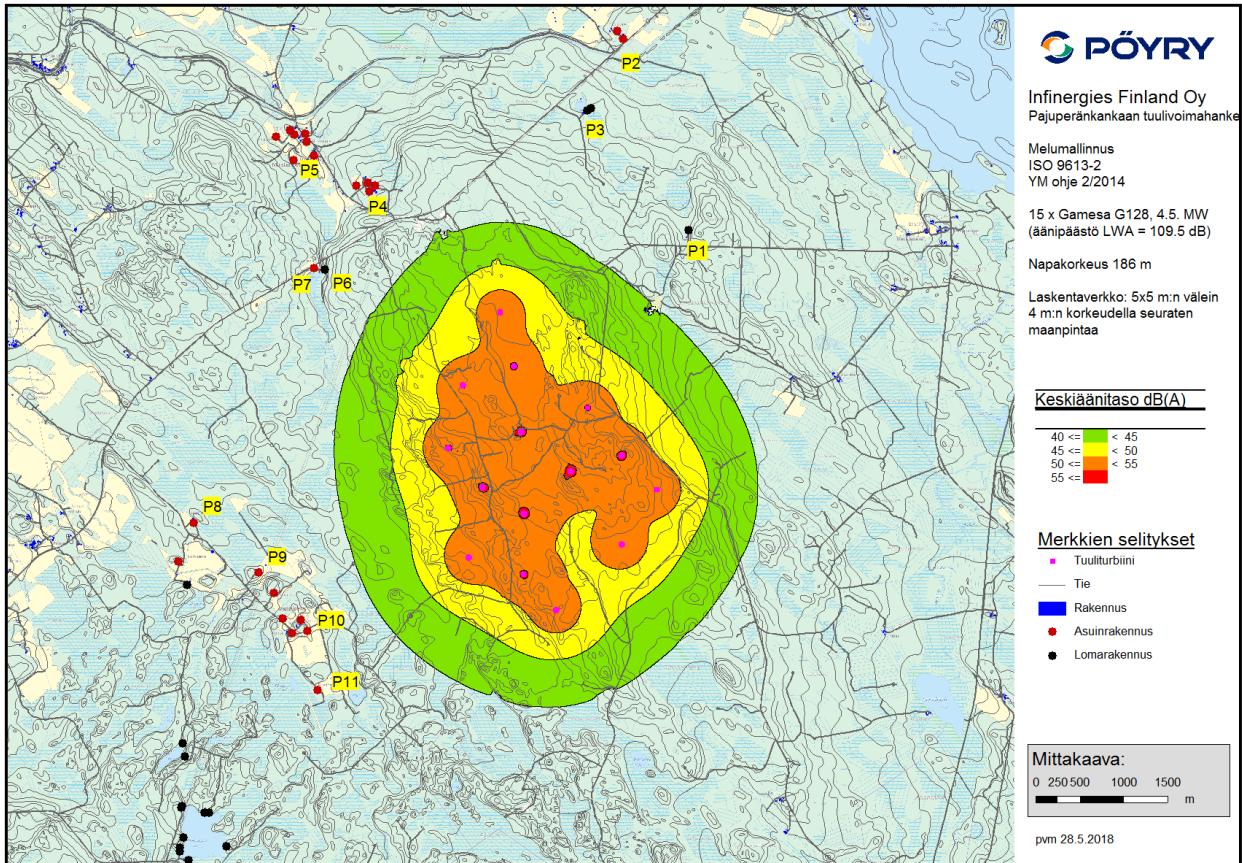
3.1 Melun leviäminen

Topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty alla olevassa melukartassa. Erillinen pientaajuisen melun laskenta tuloksineen lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3.

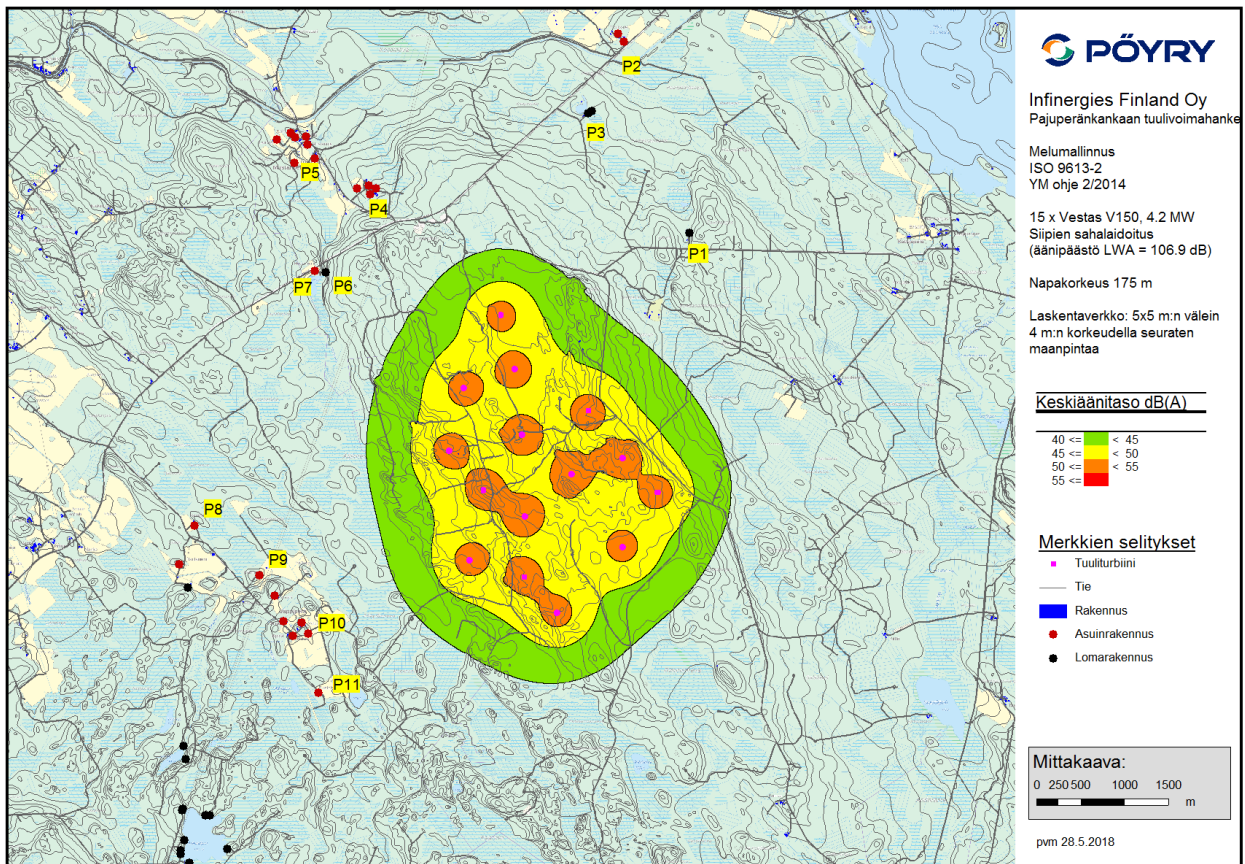
3.2 Mallinnustulokset, 15 voimalaa

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Tulokset laskettiin molemmille voimalatyypeille Gamesa G128 4.5 MW ja Vestas V150 4.2 MW. Alla sekä liitteessä 1 on esitetty melun leviämiskuvat.

Melun leviäminen laskettiin myös lähimpiin altistuviin asuin- tai lomarakennuksiin. Eri voimalatyypin tulokset ovat esitetty taulukoissa 9 ja 10.



Kuva 3. Melumallinnus hakealueen 15 voimalan melulle, 15 x Gamesa G128 4.5 MW



Kuva 4. Melumallinnus hakealueen 15 voimalan melulle, 15 x Vestas V150 4.2 MW, jossa siipien sahalaudoitus

Taulukko 9. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona, 15 x Gamesa G128 4.5 MW

Kohde	Laskentapiste	LAeq tulos
Loma-asuinrakennus (Tauskangas)	P1	35 dB
Asuinrakennus x 2 (Toukkala)	P2	29 dB
Loma-asuinrakennus x 2 (Pitkämäki)	P3	33 dB
Asuinrakennus x 4 (Antinpuro)	P4	34 dB
Asuinrakennus x 7 (Mustanperä)	P5	32 dB
Loma-asuinrakennus (Mustanlampi)	P6	33 dB
Asuinrakennus (Mustanlampi)	P7	35 dB
Asuinrakennus (Keskitalo)	P8	32 dB
Asuinrakennus (Kääntä)	P9	35 dB
Asuinrakennus x 5 (Jäppiperä)	P10	36 dB
Asuinrakennus (Puistola)	P11	34 dB

Taulukko 10. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona, 15 x Vestas V150 4.2 MW, jossa siipien sahalaidoitus

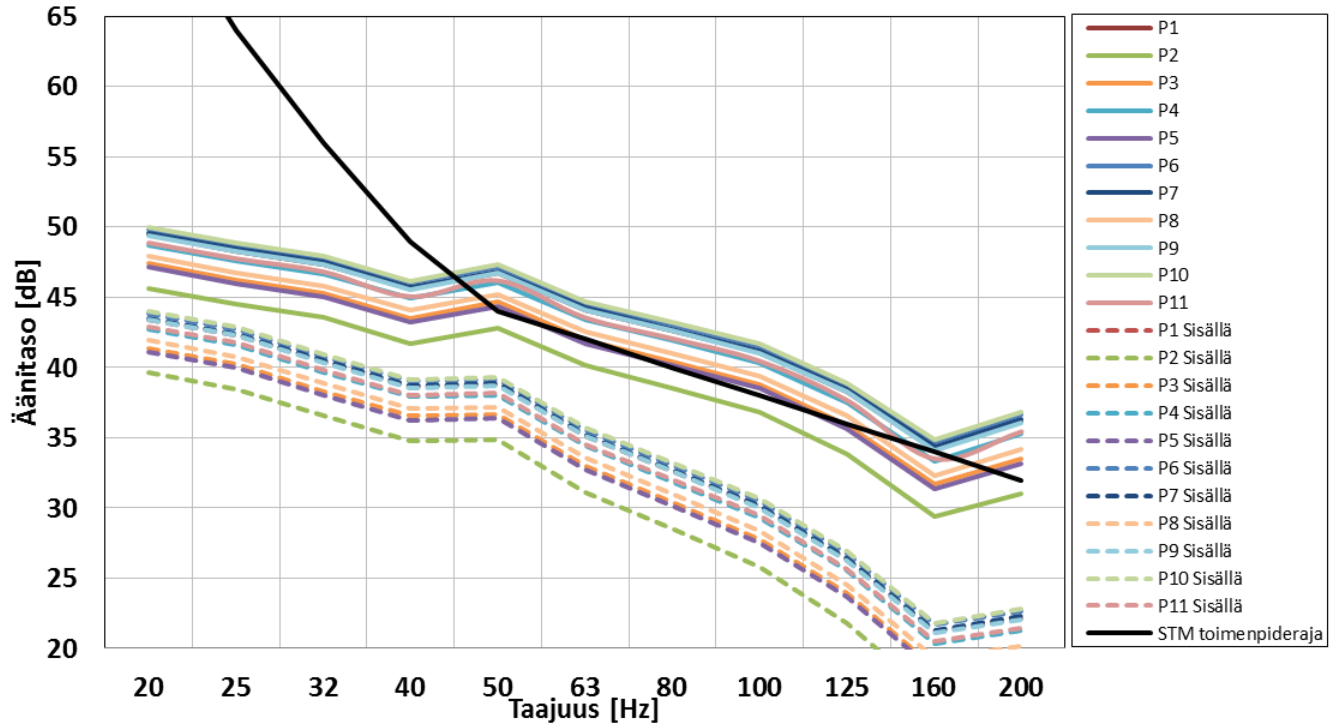
Kohde	Laskentapiste	LAeq tulos
Loma-asuinrakennus (Tauskangas)	P1	33 dB
Asuinrakennus x 2 (Toukkala)	P2	27 dB
Loma-asuinrakennus x 2 (Pitkämäki)	P3	30 dB
Asuinrakennus x 4 (Antinpuro)	P4	32 dB
Asuinrakennus x 7 (Mustanperä)	P5	29 dB
Loma-asuinrakennus (Mustanlampi)	P6	30 dB
Asuinrakennus (Mustanlampi)	P7	33 dB
Asuinrakennus (Keskitalo)	P8	30 dB
Asuinrakennus (Kääntä)	P9	32 dB
Asuinrakennus x 5 (Jäppiperä)	P10	33 dB
Asuinrakennus (Puistola)	P11	32 dB

Etäisyys lähimpiin altistuviin kohteisiin on voimaloilta niin suuri, että yksikään tulos ei ylitä yöajan ohjearvoa 40 dB. Tuulivoimaloiden aiheuttama ympäristömelu on korkeimmillaan laskentapisteessä P10 (Jäppiperä), kun mallinnus suoritettiin voimalatyypillä Gamesa G128. Mallinnus osoittaa, että tuulivoimamelun leviäminen voimaloilta alittaa Tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvot yöaikaan.

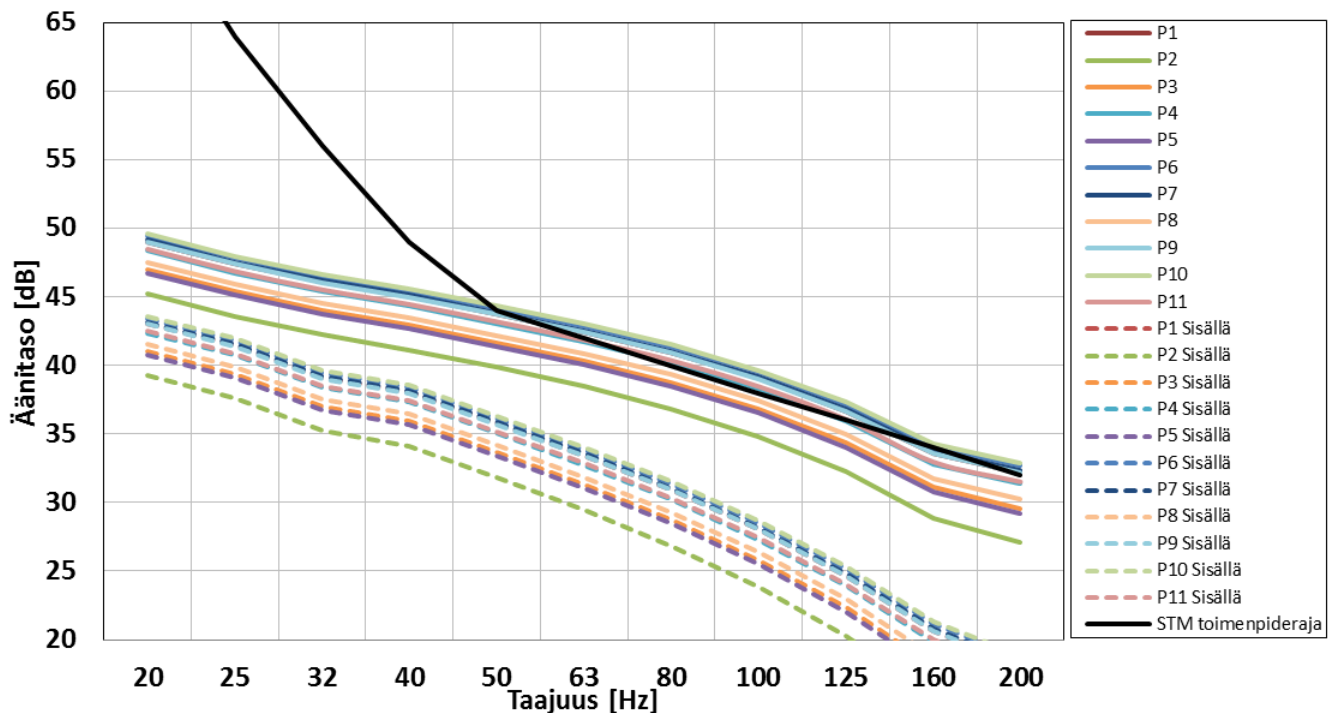
3.3

Pientaajuinen melu

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja. Laskenta suoritettiin ohjeen DSO 1284 laskentarutiinin mukaisesti, käyttäen uuden suomalaistutkimuksen antamia pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoja, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8] ja noudattaen YM:n ohjeita [3], [7]. Tuloskuvaajat laskettujen hankesuunnitelmien osalta lähimmissä reseptoripisteissä on esitetty alla sekä suurennettuna liitteessä 2.



Kuva 5. Pientaajuisen melun laskentatulokset yhdessätoista lähimmässä reseptoripisteessä, 15 x Gamesa G128 4.5 MW



Kuva 6. Pientaajuisen melun laskentatulokset yhdessätoista lähimmässä reseptoripisteessä, 15 x Vestas V150 4.2 MW, jossa siipien sahalaidoitus

Tuloskäyrät asettuvat osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi. Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin rakennusten ilmääänieristävyyden vaatimus olisi noin 1 - 5 dB taajuusalueella 50 – 200 Hz (voimalatyyppi Gamesa G128). Kyseinen ilmääänieristävyys voidaan saavuttaa jo suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Tuulivoimatyyppin ollessa Vestas V150 ilmääänieristävyyden vaatimus olisi 1-2 dB taajuusalueella 50 – 200 Hz.

3.4 Alueen melun nykytila

Alueen taustamelu on suurimmaksi osaksi tieliikenteen aiheuttamaa. Tieliikenteen melumallinnus on toteutettu kantatie 58:n liikenteen osalta pohjoismaisen mallinnusalgoritmin mukaisesti. Liikennemäärät ovat saatu liikenneviraston tietokannasta (vuoden 2016 tiedot). Taulukossa 7 on esitetty kantatie 58:n aiheuttamat melutasojen lasketut arvot reseptoripisteissä P1 – P11. Melumallinnukset päivä- ja yö-aikaan ovat esitetty liitteissä 4 ja 5.

Taulukko 11. Tiemelumallinnuksen tulokset kohteiden P1-P11 edessä ulkona

Kohde	Laskentapiste	LAeq tulos PÄIVÄ	LAeq tulos YÖ
Loma-asuinrakennus (Tauskangas)	P1	31	24
Asuinrakennus x 2 (Toukkala)	P2	61	53
Loma-asuinrakennus x 2 (Pitkämäki)	P3	38	30
Asuinrakennus x 4 (Antinpuro)	P4	41	34
Asuinrakennus x 7 (Mustanperä)	P5	34	27
Loma-asuinrakennus (Mustanlampi)	P6	54	46
Asuinrakennus (Mustanlampi)	P7	54	46
Asuinrakennus (Keskitalo)	P8	32	24
Asuinrakennus (Kääntä)	P9	27	20
Asuinrakennus x 5 (Jäppiperä)	P10	28	20
Asuinrakennus (Puistola)	P11	25	17

Tieliikenteellä on merkittävä vaikutus alueen äänimaisemaan. Suurimmat keskiäänitason arvot toteutuvat lähellä tietä sijaitseville kohteille P2, P6 ja P7.

Alueella sijaitsee myös ampumarata, jonka tuottama melu on täysin erityyppistä kuin tuulivoimalaitosten melu ja ajallisesti hyvin vaihtelevaa. Ampuratamelun kuvaaminen samoilla keskiäänitason arvoilla tuottaisi virheellisiä päätelmiä.

4.1**Melun vaikutukset alueen äänimaisemaan**

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset ovat ajallisesti ja paikallisesti vaihtelevia. Ajallisesti suurin muutos voidaan havaita melulle altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankealueen pohjois- ja itäosissa sekä lähempänä voimaloita meluvyöhykkeiden sisällä. Useat tuulivoimalaitoksia lähimpänä olevat asuin- ja lomarakennukset sijaitsevat myös lähellä kantatietä 58. Tienmelu näissä kohteissa on korkeampaa kuin laskennallinen tuulivoimamelu, jolloin tuulivoimalamelun vaikutus on erittäin pieni kohteiden keskiäänitasoon. Esimerkiksi tuulivoimaloiden melumallinnustulos Mustanlammen asuinrakennukselle (P7) on 33 dB tai 35 dB riippuen mallinnetusta voimalatyypistä. Yöaikainen tiemelun mallinnettu keskiäänitaso kyseiselle asuinrakennukselle on 46 dB.

Melun erottuminen riippuu hyvin pitkälti säätilasta. Melun erottumista lisääviä säätekijöitä ovat stabiili ilta- ja yöajan alailmakehä, kostea säätila ja voimakas alailmakehän inversio. Melu havaitaan paremmin myötätuuliolosuhteissa ja heikommin (tai ei lainkaan) vastatuuliolosuhteissa. Mitä kauempana laitoksista ollaan, sitä enemmän ilmakehän absorptio vaimentaa korkeita taajuuksia jättäen jäljelle vain matalimpia tuulivoimamelun taajuuksia, joiden voimakkuus on kuitenkin heikko, sillä myös pientaajuinen melu vaimenee nk. geometriavaimentumisen vuoksi. Nykyaikaisilla tuulivoimaloilla on pitkät lavat, jolloin ne pyörivät hitaasti ja äänen mahdollinen sykintä voi erottua vain kovimmilla tuulennopeuksilla. Tällöin etenkin aerodynaaminen melu voi kuulostaa matalataajuiselta lentomelulta ("kuminaa"), jolla on jatkuvasti vaihteleva, mutta yleisesti varsin matala äänitaso.

Tuulivoimapuistohankeen tuottamasta melusta Mustanlammen asuntoihin on oltu huolissaan erityisesti maastonmuotojen aiheuttamien ilmavirtausten takia. Tuulivoimamelun leviämiseen vaikuttaa kuitenkin suuresti muutkin tekijät. Äänen etenemisvaimennukseen vaikuttavat ilmakehän paikallisten ominaisuuksien osalta eniten ilman absorptio, äänen kaareutuminen ja tuuliturbulenssien aiheuttama sironta. Äänen kaareutumiseen vaikuttaa vallitsevat pystysuuntaiset lämpötila- ja tuuligradientit. Melumallinnus kuvaa tilanteen, jossa kaikki tuulivoimalat emittoivat tuulivoimalan takuuarvon maksimiääntä yhtäaikaaisesti. Lisäksi mallinnusalgoritmi laskee aina keskiäänitason arvot siten, että tuuli kulkee tuulivoimaloista vastaanottopisteisiin (myötätuuliolosuhde) ja ilman lämpötilaprofiili on epäedullinen äänen vaimenemisen kannalta. Näistä seikoista huolimatta mallinnetulla hankevaihtoehdolla melun ohjearvot eivät ylity Mustanlammen asuinalueissa. Kovaäänisemmänkin voimalamallin kohdalla meluarvot jäävät minimissään 5 dB säädettyjen ohjearvojen alapuolelle.

4.2**Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen**

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaidoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä 2-3 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä.

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säästöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, -suunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa tehontuoton lisäksi

myös voimalan äänipäästöä. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Melumallinnuksen perusteella tarvetta meluoptimoitajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

4.3 Vaikutusten seuranta

Rakentamisen jälkeen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaassa YM OH 3-4/2014.[9],[10] Mittauksin voidaan varsin luotettavasti todeta melun tasot ja luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin tasoihin ja suunnittelun ohjearvoihin.

5 YHTEENVETO

Infinergies Finland Oy suunnittelee Haapajärvellä sijaitsevalle Pajuperänkankaan alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 15 yksikköteholtaan 3 - 6 MW:n tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa tuulivoimamelun leviämisyöhykkeet mallinnettiin tietokoneavusteisesti digitaalikarttaan noudattaen ympäristöministeriön tuulivoimamelun mallinnusohjeita YM OH 2/2014.

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 15 x 109.5 dB:n tai 15 x 106.9 dB:n mukaisilla hankevaihtoehtolla laskettu 40 dB:n keskiäänitaso LAeq ei ylity lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Tulokset alittavat Valtioneuvoston tuulivoimamelun yöajan ohjearvot ulkona.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmaäänieristävyuden vaatimus olisi noin 1-5 dB taajuusvälillä 50 - 200 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on hyödynnetty uusia suomalaisten pientalojen rakenteiden mukaisia ilmaäänieristävyuden mittaushankeen tilastollisia arvoja rakennuksista vuodelta 2017.

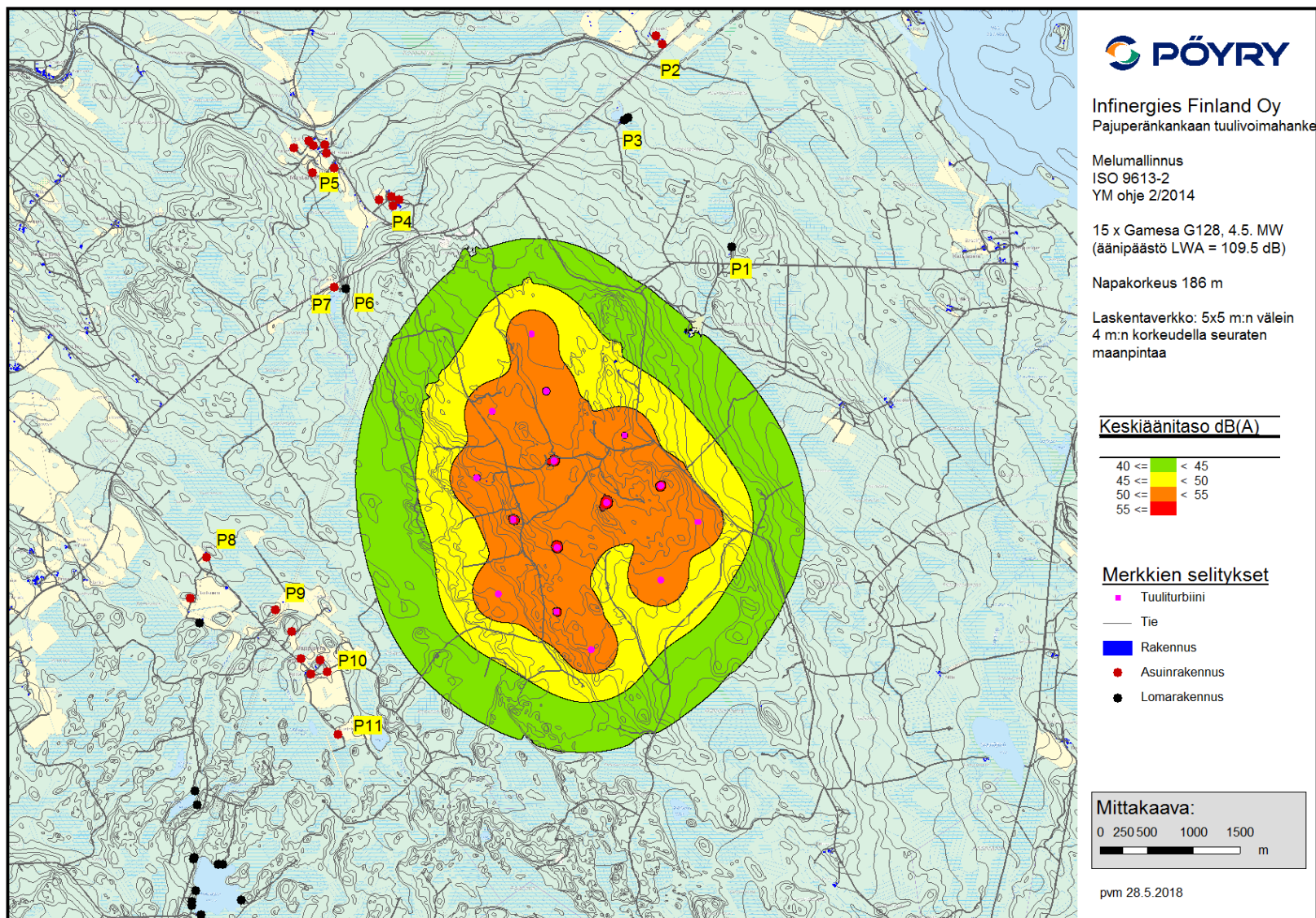
Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Useat hankealuetta lähellä olevat kohteet sijaitsevat kantatie 58:n läheisyydessä, jolloin tiemelun vaikutus äänimaisemaan on vallitseva.

VIITTEET

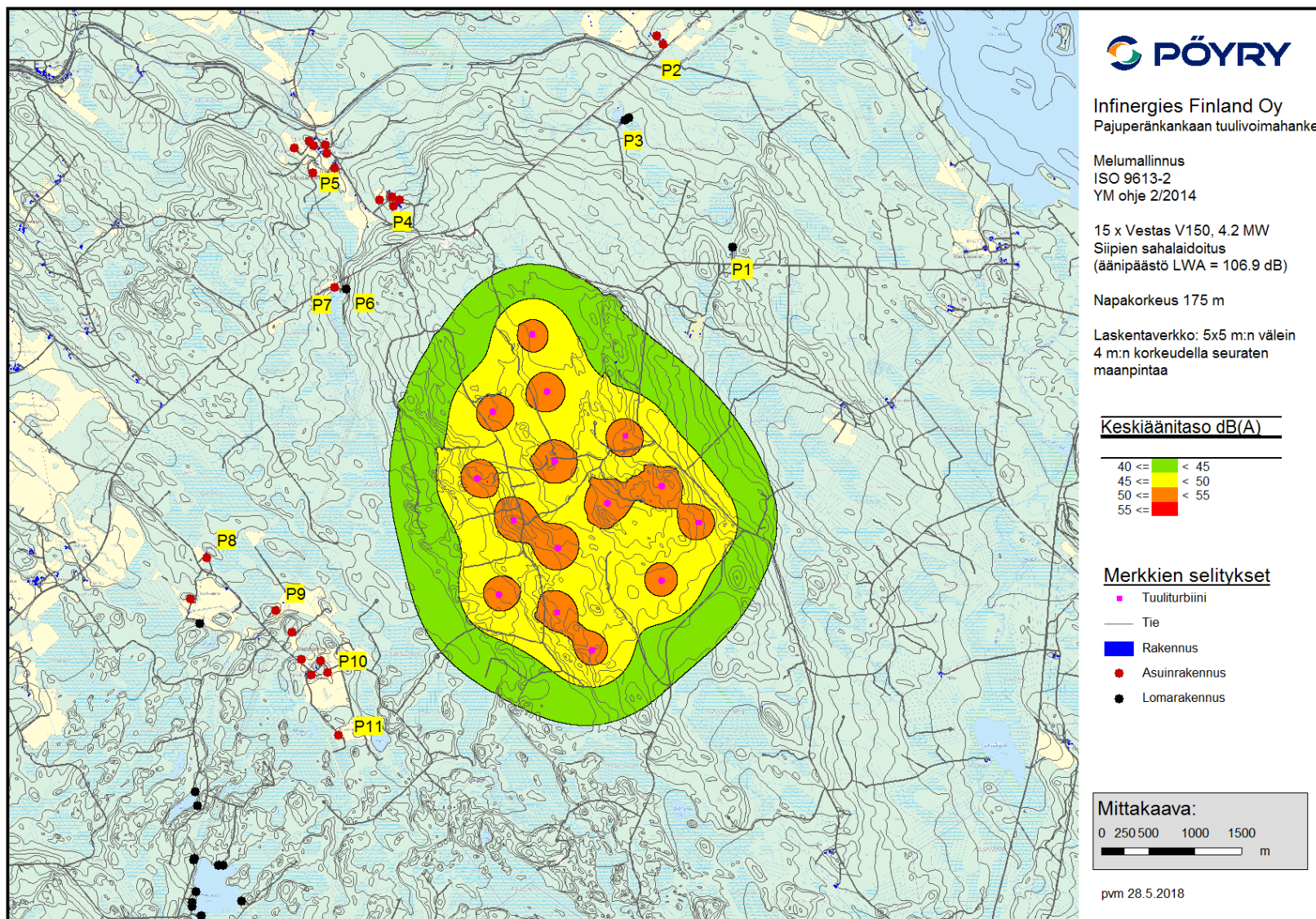
[1] Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

- [2] ISO 226:2003. Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, Geneva, 2003.
- [3] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [4] Oerlemans, S. Schepers, J.G. "Prediction of wind turbine noise directivity and swish", *Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise*, Aalborg, Denmark, (2009)
- [5] Nelson, D.A. Perceived loudness of wind turbine noise in the presence of ambient sound.
- [6] G.P. van den Berg. The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise. Doctoral Thesis, University of Groningen, Holland, 2006.
- [7] Statutory order of noise from wind turbines. Danish ministry of environment. Denmark, 2012.
- [8] Keränen, Hakala, Hongisto. Pientalojen äänieristävyys ympäristömelua vastaan taajuuksilla 5 – 5000 Hz – infraäänitutkimus. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Turku 2017. Akustiikkapäivät 2017, materiaali
- [9] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 3/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [10] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 4/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [11] STM asetus 545/2015, Sosiaali- ja terveysministeriön asetusasunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki, 2015.
- [12] Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016
- [13] Melutta -hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Ympäristöministeriö, Helsinki, 2007.

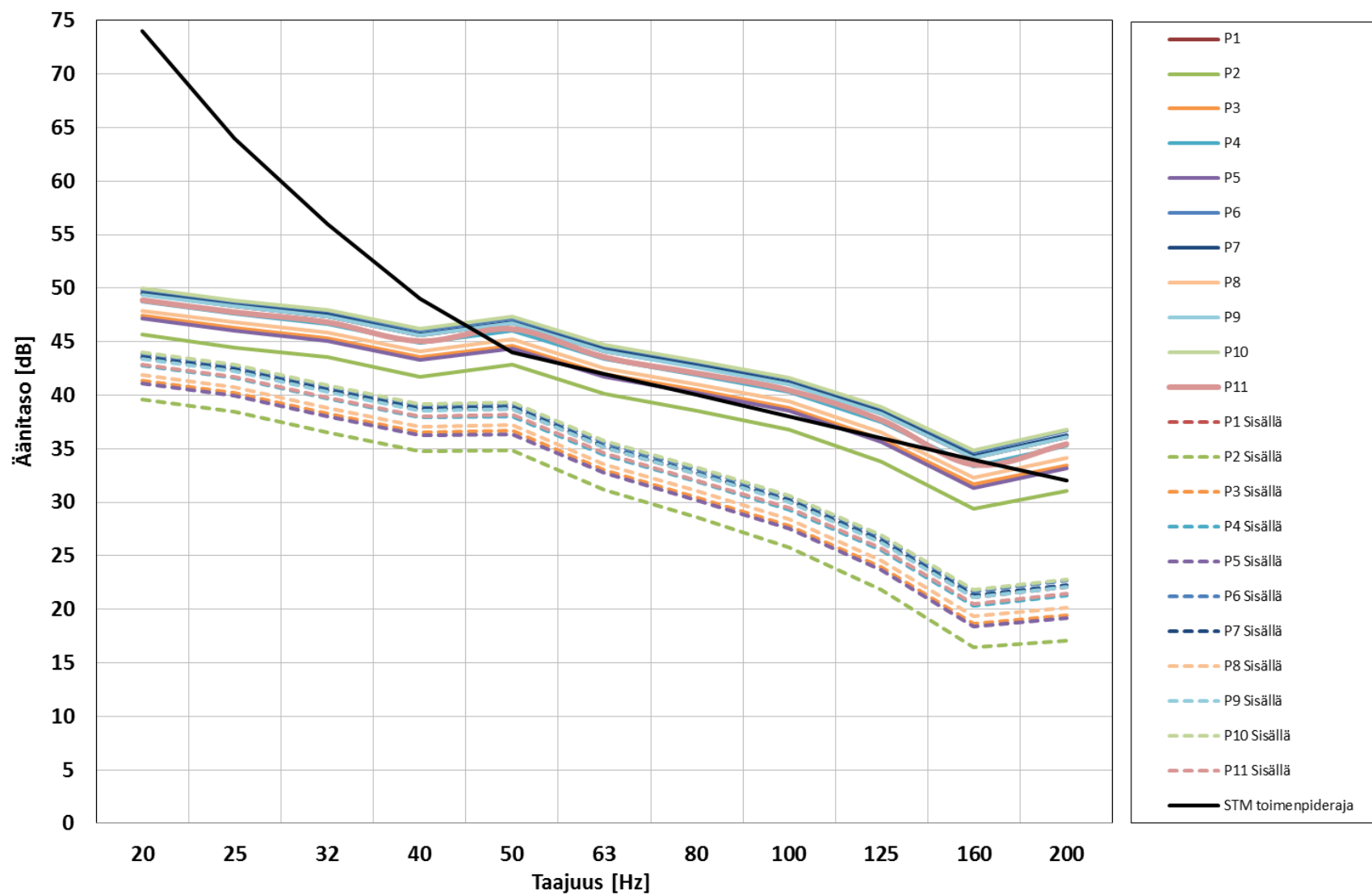
Liite 1. Melumallinnuskartta (ISO 9613-2) sekä melun reseptoripisteet P1-P11, Gamesa G128 4.5MW



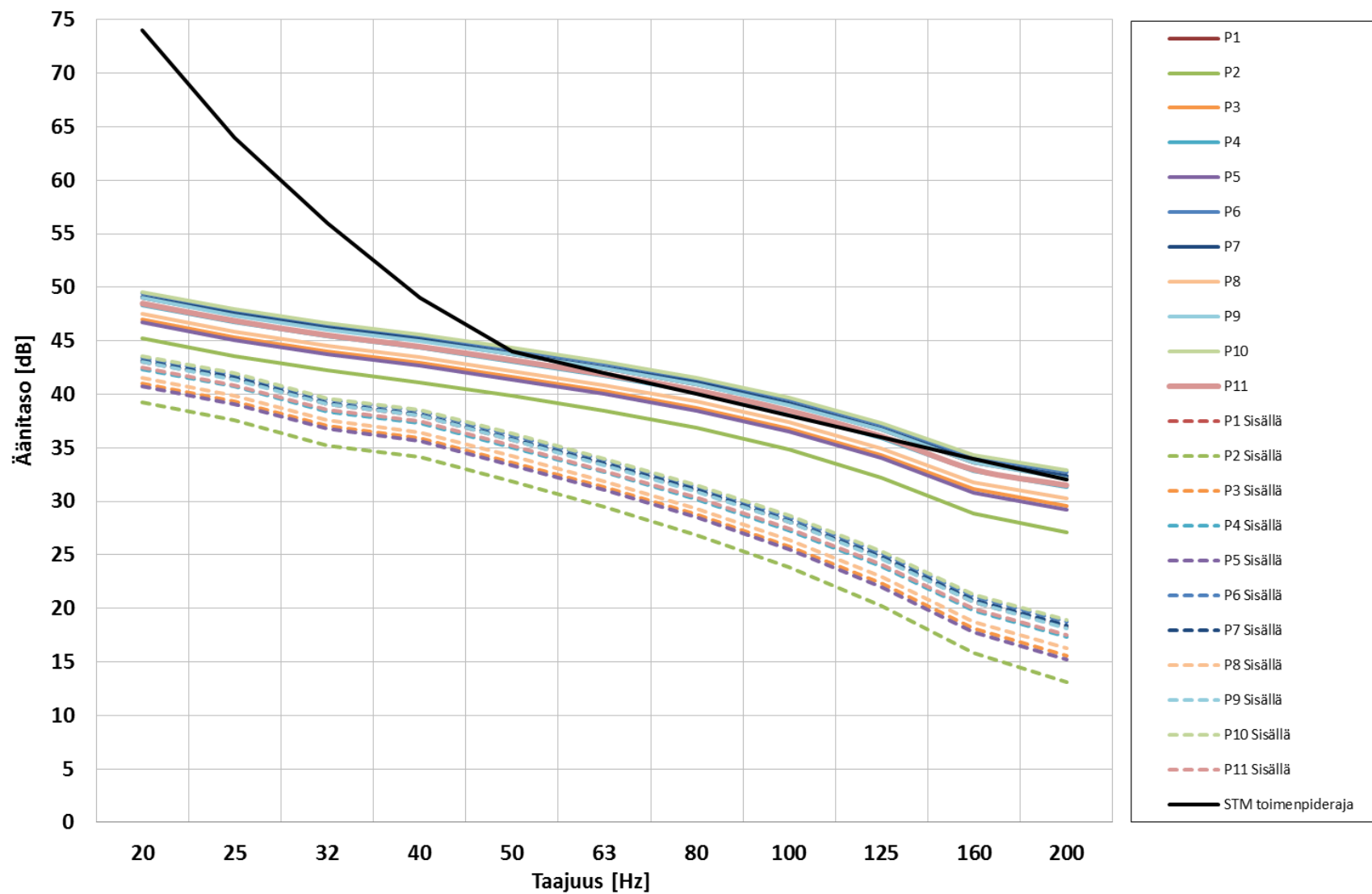
Melumallinnuskartta (ISO 9613-2) sekä melun reseptoripisteet P1-P11, Vestas V150 4.2MW, jossa siipien sahalaudoitus



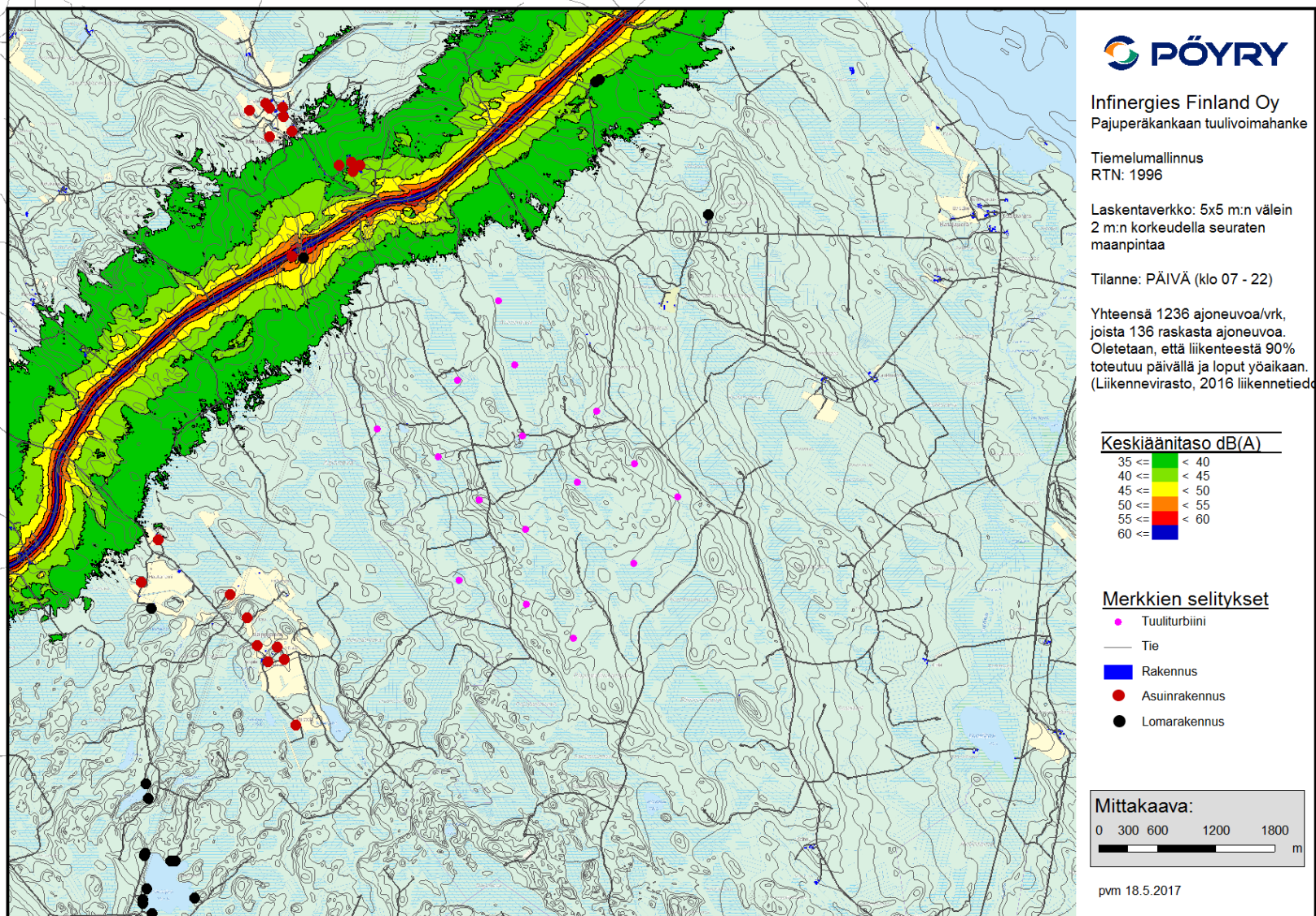
Liite 2. Pientaajuisen melun laskentatulokset, 15 x Gamesa G128 4.5MW



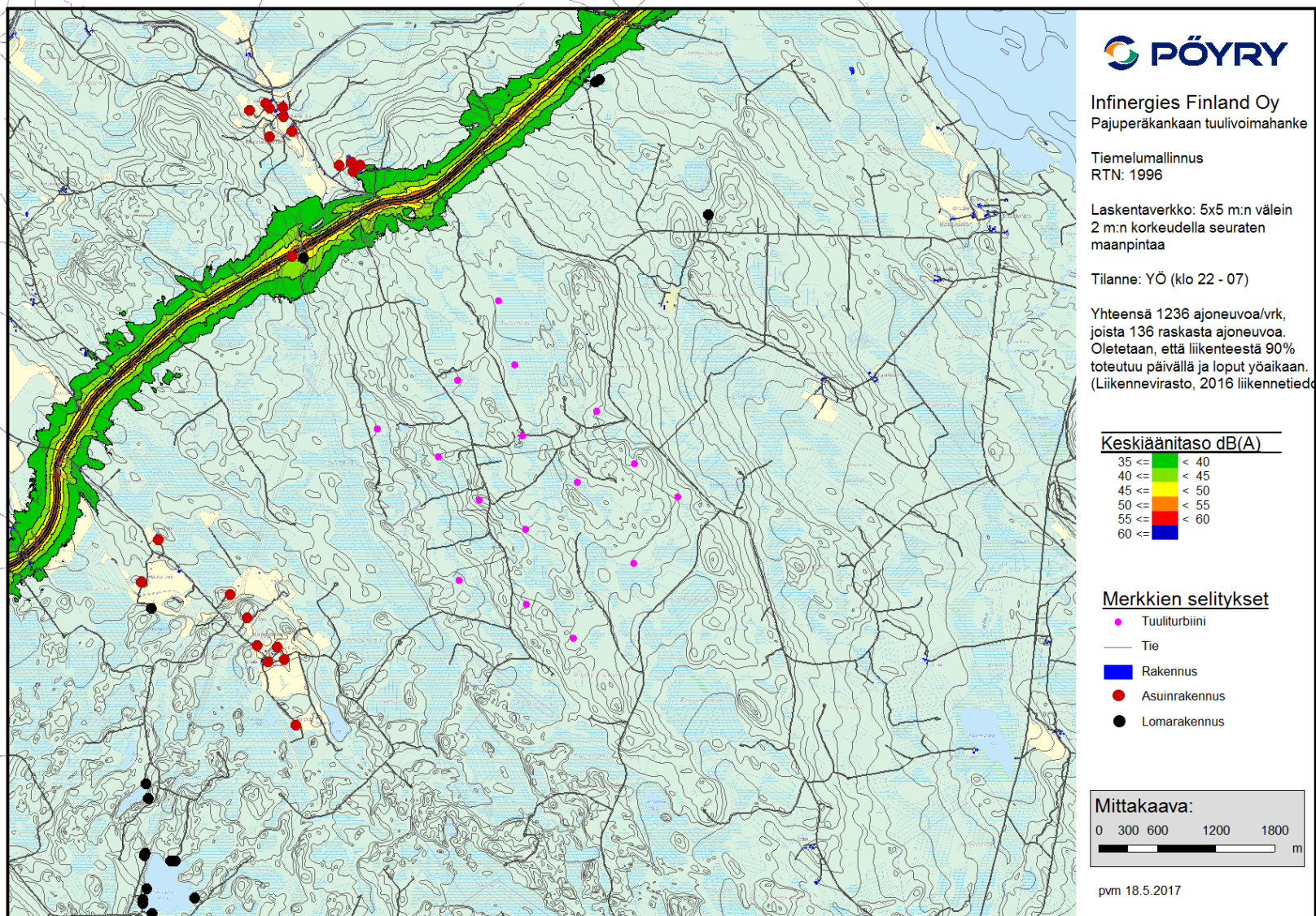
Pientaajuisen melun laskentatulokset, 15 x Vestas V150 4.2MW, jossa siipien sahalaidoitus



Liite 3. Tiemelumallinnuskartta kantatie 58:n osalta päiväaikaan (klo 7-22).



Liite 4. Tiemelumallinnuskartta kantatie 58:n osalta yöaikaan (klo 22-7)



Liite 5. YM OH 2/2014 ohjeen mukainen taulukko

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT									
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101002800-001					Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 28.5.2018				
Laatija: DI Carlo Di Napoli, Pöyry Finland Oy, DI Tapio Lukkari, Pöyry Finland Oy					Hyväksyjä: Ella Kilpeläinen, Pöyry Finland Oy				
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT									
Mallinnusohjelma ja versio: SoundPlan v.7.4 64bit					Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT) Vaihtoehto 1 / Vaihtoehto 2									
Tuulivoimalan valmistaja: Gamesa / Vestas					Nimellisteho: 4.5 MW / 4.2 MW				
Roottorin halkaisija: 64 m / 75 m					Napakorkeus: 180 m / 175 m				
Lukumäärä: 15 / 15									
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön käytön aikana: Kyllä. Voimalamallin siipiprofiilin valinnoilla voidaan saada n.2.5 dB vähennys.									
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT									
Melupäästötiedot (takuuarvo/äänitehotason keskiarvo):									
Gamesa G128: 109.5 dB(A), 12 m/s napakorkeudella, normaalisiipi									
Vestas V150: 106.9 dB(A), 12 m/s napakorkeudella, siiven jättöreuna sahalaudoitettu									
Luottamuksellisia (NDA): Kyllä, vain viranomaiskäyttöön. Viranomaiselle voidaan pyydetäessä toimittaa myös 1/3 oktaavikaistatiedot									
Oktaaveittain [Hz], dB									
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G128	118	116	113	112	107	104	99	91	82
V150	115	112	110	107	103	99	94	87	80
Melunpäästön varmuusarvo: +2 dB, kaikki taajuuskaistat									
Melun erityispiirteet									
Kapeakaistaisuus: Ei / Ei					Impulssimaisuus: Ei / Ei				
Korkeuserokorjaus: Ei / Ei									
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT									
Laskentakorkeus: 4 m			Suhteellinen kosteus: 70%			Lämpötila: 15 °C			
Maastomallin lähde: MML					Pystyresoluutio: 0.5 m / laserkeilausaineisto				
Maan- ja vedenpinnan absorptio ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet									

Vesialueet:		Maa-alueet:		Muut alueet (mitkä?)						
0		0.4		Laajat kallioalueet, 0						
Pientaajuisen melulaskennan ilmaäänieristys asuin- ja loma-asuinrakennuksille [8]:										
1/3 Oktaaveittain [Hz], dB										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot: 2 kpl										
Laskentakartat: 2 kpl					Laskentavyöhykkeet [dB]: 4 kpl: 40, 45, 50 ja 55					
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 2 kpl					Reseptoripisteet: 11 kpl					
Melulle altistuvat asuin- tai loma-asuinkohteet, lkm (ilman meluntorjuntaa/voimalan ohjausta)										
Yli 40 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl					Yli 45 dB(A):n vyöhykkeellä: 0 kpl					
Pientaajuisen melun tulokset: Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen										
Laskennallisesti suurin ilmaäänieristyksen vaatimus:										
Gamesa G128: n. 5 dB, taajuudella 200 Hz										
Vestas V150: n. 2 dB taajuudella 100 Hz										