

101002800-001
18.6.2017



INFINERGIES FINLAND OY
Pajuperänkankaan tuulivoimapuiston meluselvitys

Sisäinen tarkistussivu

Asiakas
Otsikko
Työnumero

Infinergies Finland Oy
Pajuperänkankaan tuulipuiston ympäristömeluselvitys
101002800-001

Tiedoston nimi
Tiedoston sijainti
Järjestelmä

Pajuperänkangas_Tuulivoimameluselvitys_2017.docx

Microsoft Word 14.0

Ulkoinen jakelu

Sisäinen jakelu

Ella Kilpeläinen / Ympäristöpalvelut

Vastaava yksikkö
Toimipaikka

Pöyry Finland Oy - Ympäristökonsultointi
Vantaa

Alkuperäinen

Dokumentin pvm
Laatija/asema/allekirj.

13.6.2017
Carlo Di Napoli / Johtava asiantuntija
Tapio Lukkari / Ympäristömelun asiantuntija

Tarkistuspvm
Tarkistanut/asema/allekirj.

19.6.2017
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 16 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 16 x 4.5 MW:n mukaisella hankevaihtoehdolla laskettu 40 dB:n keskiäänitaso LAeq ei ylity lähimpien loma-asuinrakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Tulokset alittavat Valtioneuvoston tuulivoimamelun yöajan ohjearvot ulkona.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmääänieristävyiden vaatimus olisi noin 2-6 dB taajuusvälillä 50 - 200 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on hyödynnetty uusia kevyen loma-asuinrakennuksen rakenteen mukaisia ilmääänieristävyiden mittausarvoja vuodelta 2015.

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.

Yhteenveto

1	JOHDANTO	5
1.1	Ympäristömelu	5
1.2	Tuulivoimamelu	5
2	LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT	7
2.1	Digitaalikartta-aineisto	7
2.2	Mallinnetut turbiinityypit	7
2.3	Melumallinnus ja laskentaparametrit	7
2.3.1	Pientaajuisten melun laskenta	9
2.4	Vertailuohjeavot	10
2.5	Melutason toimenpiderajat sisätiloissa	10
3	LASKENTATULOKSET	11
3.1	Melun leviäminen	11
3.2	Mallinnustulokset, 16 voimalaa	11
3.3	Pientaajuinen melu	13
3.4	Alueen melun nykytila	13
4	MELUVAIKUTUKSET	14
4.1	Melun vaikutukset alueen äänimaisemaan	14
4.2	Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	15
4.3	Vaikutusten seuranta	16
5	YHTEENVETO	16
	VIITTEET	16

Liitteet

Liite 1	Melumallinnuskartta (ISO 9613-2) sekä melun reseptoripisteet P1-P11
Liite 2	Pientaajuisten melulaskennan tulokset
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 16 3–6 MW:n yksikkötehoista 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 taajuuudet 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 äänenenerotuskyvyllä 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 logaritmistä desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle ilmassa) käytetään referenssipainetta 20 μ Pa ilmalle sekä 1 μ Pa muille aineille. Tällöin 1 Pa paineenmuutos ilmassa vastaa noin 94 dB:ä. [2]

Kuuloaistin herkkyys 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).

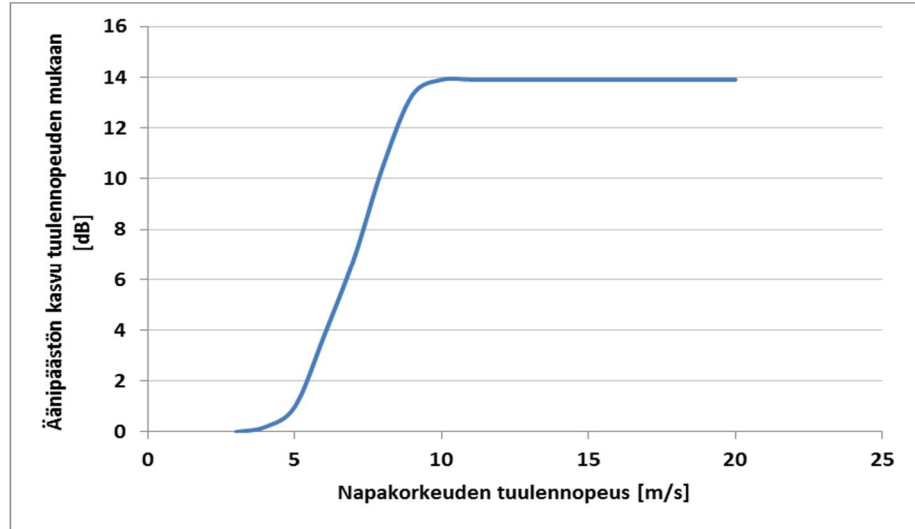
Melun ekvivalenttitaso (symboli L_{eq}) tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso. Koska ääni käsitellään logaritmisena suurena, on hetkellisesti korkeammilla äänitasoilla suhteellisen suuri vaikutus ekvivalenttitiseen melutasoon. Tasaisessa teollisuusmelussa 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 200–1000Hz:n väliin. Pientaajuisen melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiöt, siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisiä ilmiöt (ilmamassan impedanssi etäisyyden kasvaessa). Aerodynaaminen melu voi myös

aiheuttaa viheltävää ääntä esimerkiksi siipivaurioiden yhteydessä turbulenttisen ilmavirran 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 käyntiinlähtönopeutta 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. Peittoäänen vaikutus on sitä parempi, mitä lähempänä peittoäänen 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 datasta, 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

Mallinnuksessa käytettiin voimalatyyppiä (Gamesa G128, 4.5 MW), 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).

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 $L_{WA,d}$ ("apparent sound power level"). Takuu ei koske taajuuskaistoja oktaavi- tai terssikaistatasolla.

Tuulipuisto sisältää 16 voimalaa tornikorkeudella 160 m. Alla on esitetty mallinnuksessa käytetyn voimalamallin oktaavikaistan painottamattomia taajuusarvoja.

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

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

2.3 Melumallinnus ja laskentaparametrit

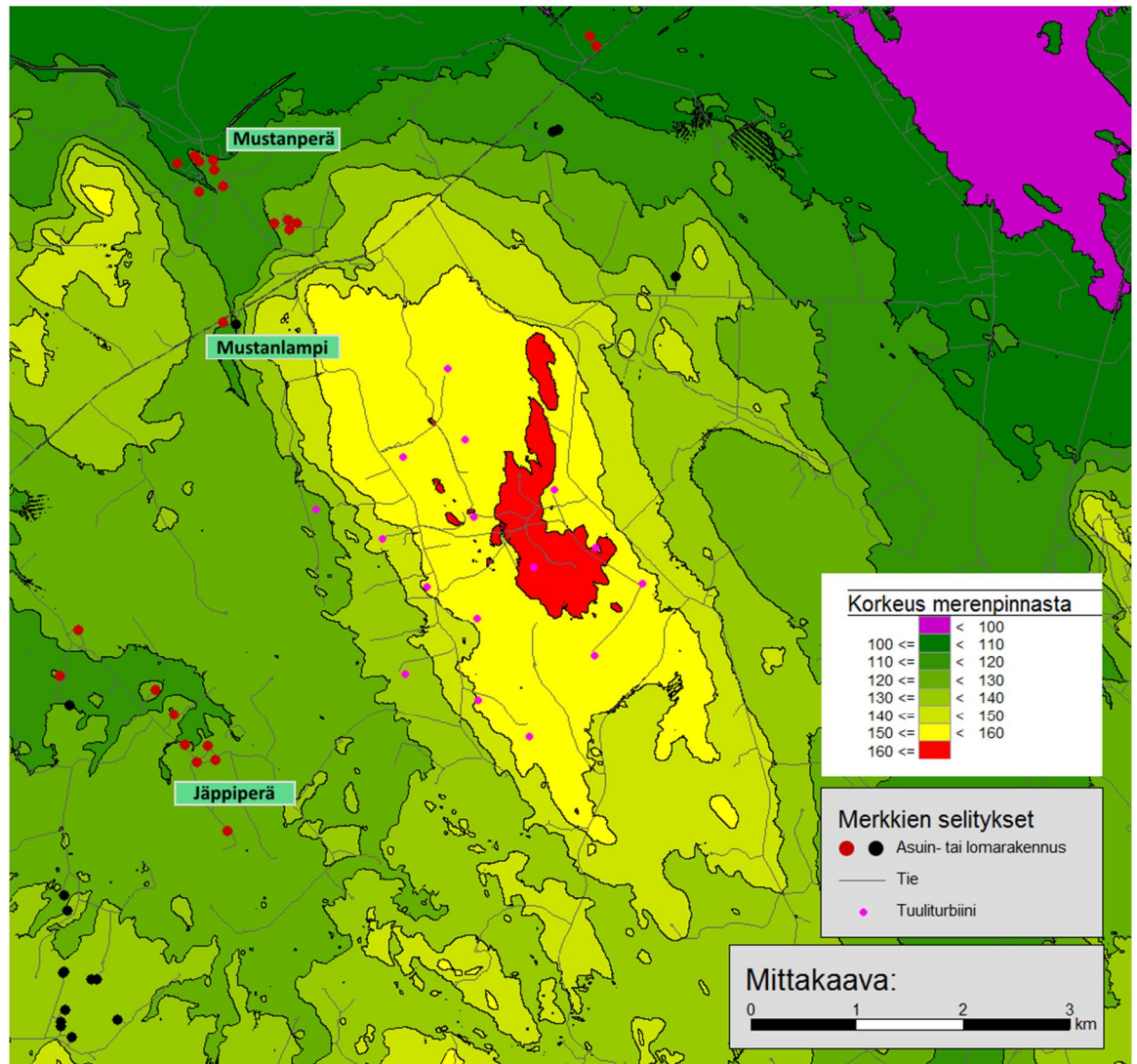
Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v7.4 64bit, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immissio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina on käytetty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

Mallissa otetaan huomioon tuulivoimalan sijainnin, napakorkeuden ja äänipäästön lisäksi äänen geometrinen leviämismuutos, maaston korkeuserot, rakennukset sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Tuulivoimalan roottorin halkaisijan muutokset vaikuttavat erittäin vähän tuotettuun meluun, joten ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti mallinnetussa tuulivoimamelussa sitä ei oteta huomioon. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 2. Laskennan epävarmuus on nyt sisällytetty tuulivoimalan äänen melupäästöarvoon, sillä laskennassa on hyödynnetty valmistajan tunnusarvoa $L_{WA,d}$ ("warranted level"), joka sisältää +2dB:n lisäyksen alkuperäiseen melutakuuseen L_{WA} , sekä vakioituja laskentaparametreja, jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teollisuus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit mm. seuraavien syiden vuoksi: [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 vain tunnusarvoa $L_{WA,d}$, 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 korjauksia. 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 minkään tuulivoimalan ja immissiopisteen välillä (kuva 2).



Kuva 2. Maastotopografian vaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.

Käytännössä 60 m korkeuseron muodostumiseksi tuulivoimalan täytyisi sijaita kartan punaisella alueella ja immissiopisteen violetilla kartta-alueella (kolmen kilometrin säteellä). Lokaatioltaan kriittisenä immissiopisteenä on ajateltu Mustanlammen asuin- ja lomarakennuksia, 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 2. 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] Pientaajuinen melulaskenta: DSO 1284 [7] sekä Swecon 2015 tutkimushankkeen loma-asuinrakennusten ilmääänieristys [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 $L_{WA,d}$	109.5 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 (4 m) 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}	35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.3.1 Pientaajuisen melun laskenta

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

Laskennassa on hyödynnetty uusimpia kevyen rakenteen loma-asuinrakennusten ilmääänieristävyiden arvoja Tanskasta, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8]. Loma-asuinrakennusta vastaavaa rakennuksen vaipan ilmääänieristystä on käytetty kaikissa laskennan kohteena olevissa kohteissa riippumatta siitä, onko kohde asuinkäytössä oleva rakennus vai loma-asuinrakennus. Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. Laskennassa ei kuitenkaan arvioida melun ekvivalenttista

kokonaistasoa LAeq,1h sisätiloissa, sillä äänieristysmittausten uusimmat tulokset ovat vain pientaajuisten melun taajuusalueella 16-200Hz.

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 ilmaäänieristyksen keskimääräinen profiili, joka kasvaa korkeammille taajuuksille mentäessä.

2.4

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 3. 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) on tarkoitus pysyä annetun päiväajan ohjearvon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) on tarkoitus 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]

2.5

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 4. 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 5. 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

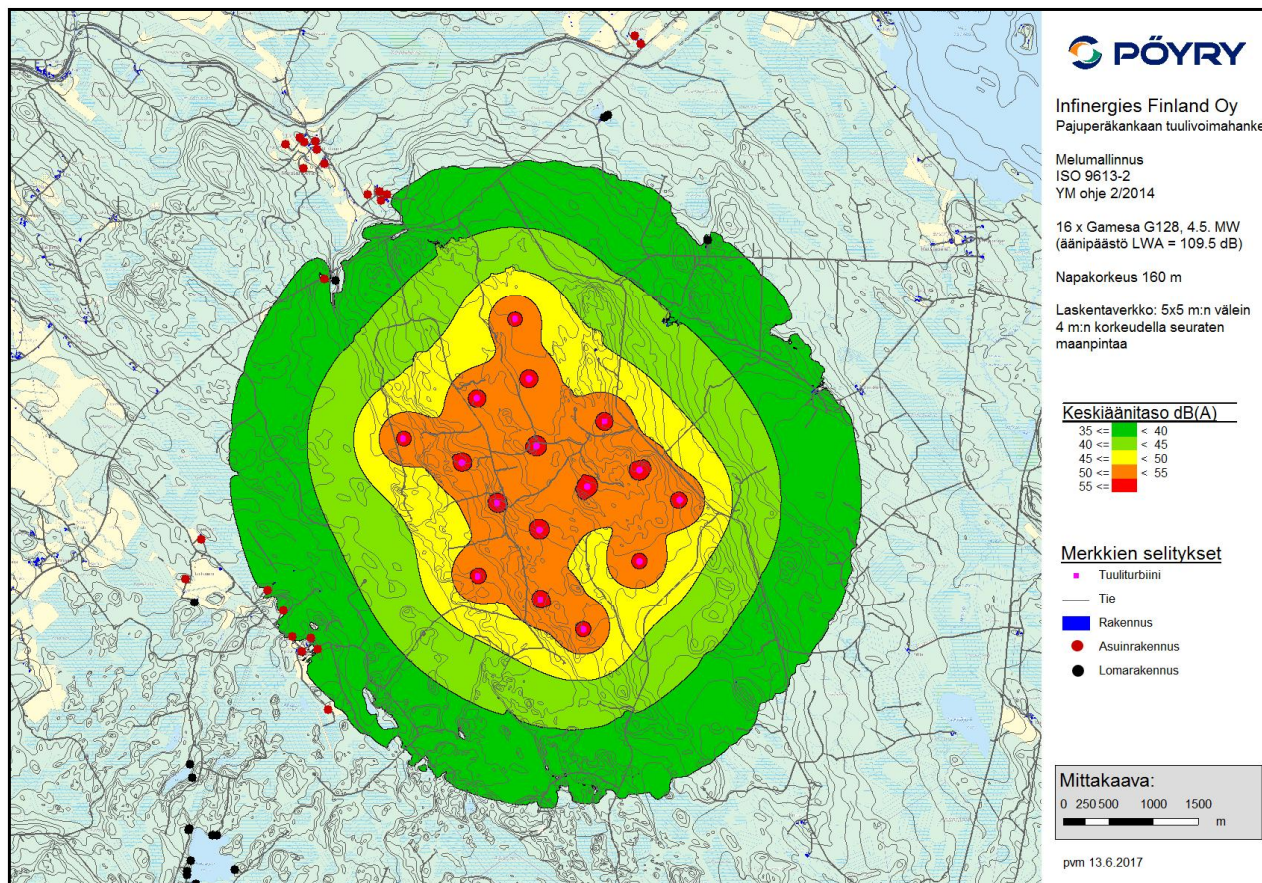
3 LASKENTATULOKSET

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, 16 voimalaa

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla sekä liitteessä 1 on esitetty melumallinnuksen kuva.



Kuva 3. Melumallinnus hakealueen 16 voimalan melulle

Melun leviäminen laskettiin myös lähimpiin altistuviin kohteisiin, joista kooste alla. Liitteessä 1 on esitetty kohteet mallinnuskarttapohjalla.

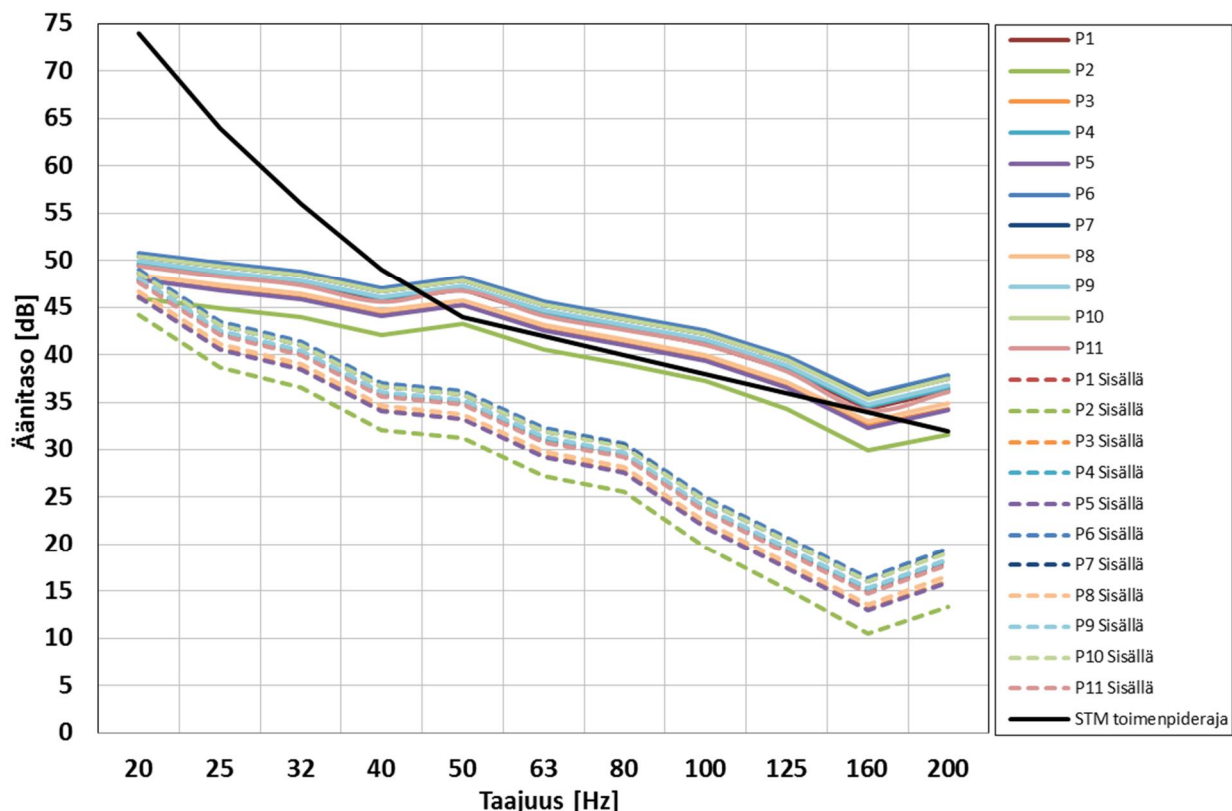
Taulukko 6. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona

Kohde	Laskentapiste	L _{Aeq} tulos
Loma-asuinrakennus (Tauskangas)	P1	35 dB
Asuinrakennus x 2 (Toukkala)	P2	28 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	34 dB
Asuinrakennus (Mustanlampi)	P7	36 dB
Asuinrakennus (Keskitalo)	P8	33 dB
Asuinrakennus (Kääntä)	P9	36 dB
Asuinrakennus x 5 (Jäppiperä)	P10	36 dB
Asuinrakennus (Puistola)	P11	35 dB

Etäisyys lähimpiin altistuviin kohteisiin on voimaloilta niin suuri, että yksikään tulos ei ylitä yöajan ohjearvoa 40 dB. 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 uusia loma-asuinrakennusten ilmaäänieristävyyden arvoja Tanskasta, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8] ja noudattaen YM:n ohjeita [3], [7]. Tuloksuvaaja lasketun hankesuunnitelman osalta lähimmissä reseptoripisteissä on esitetty alla sekä suurennettuna liitteessä 2.



Kuva 4. Pientaajuisen melun laskentatulokset yhdeksässä lähimmässä reseptoripisteessä. Tulokskäyrät asettuvat osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi.

Tämän laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin rakennusten ilmaäänieristävyyden vaatimus olisi pisteessä P6 ja P7 noin 2 - 6 dB taajuusalueella 50 – 200 Hz. Kyseinen ilmaäänieristävyys voidaan saavuttaa jo suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella.

3.4 Alueen melun nykytila

Alueen taustamelu on suurimmaksi osaksi tieliikenteen aiheuttamaa. Tieliikenteen melumallinnus on toteutettu kantatie 58:n liikenteen osalta. 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 7. 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. Ampuramelun kuvaaminen samoilla keskiäänitason arvoilla tuottaisi virheellisiä päätelmiä. [14]

4 MELUVAIKUTUKSET

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 erityisen voimakasta, jolloin tuulivoimalamelun vaikutus on erittäin pieni kohteiden keskiäänitasoon. Esimerkiksi tuulivoimaloiden melumallinnustulos Mustanlammen asuinrakennukselle (P7) on 36 dB ja yöaikainen tiemelun mallinnettu keskiäänitaso 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 tuulivoimalamelun taajuuksia, joiden voimakkuus on kuitenkin heikko, sillä myös pientaajuinen melu vaimenee nk. geometriavaimentumisen vuoksi. Lisäksi tuulivoimalamelun sykintä voi erottua taustakohinan läpi ulkona kuunneltaessa. Uudet voimalat ovat kuitenkin hitaasti pyöriviä siipien kärkivälin merkittävän pituuden vuoksi,

mistä syystä sykinän erottuminen voi kohdistua enemmän vain kovemmillemme tuulennopeuksille. Tällöin etenkin aerodynaaminen melu voi kuulostaa matalataajuiselta lentomelulta ("kuminaa"), jolla on jatkuvasti vaihteleva, mutta yleisesti varsin matala äänitaso.

Tuulivoimapuistohankkeen tuottamasta melusta Mustanlammen asuntoihin on oltu huolissaan erityisesti maastonmuotojen aiheuttamien ilmapirtausten takia. Tuulivoimalan tuottama melu syntyy voimalan napakorkeudella, jolloin maanpinnan ilmapirtaukset eivät vaikuta tuulivoimalan melun etenemiseen. Ympäristömelun leviämiseen vaikuttavat kuitenkin suuresti muut tekijät. Äänen etenemisvaimennukseen vaikuttavat ilmakehän paikallisten ominaisuuksien osalta eniten ilman absorptio, äänen kaareutuminen ja tuuliturbulenssien aiheuttama sironta. Äänen kaareutumiseen vaikuttaa vallitsevat pystysuuntaiset lämpötila- ja tuuliprofiilit. Melumallinnus kuvaa tilanteen ylärajatarkasteluna, jossa jokainen tuulivoimala tuottaa samanaikaisesti maksimaalisen äänipäästön (takuuarvo). Lisäksi mallinnusalgorithmi laskee aina keskiäänitason arvot siten, että tuuli kulkee tuulivoimaloista vastaanottopisteisiin (myötätuuliolosuhde) ja ilman lämpötilaprofiili on epäedullinen äänen vaimenemisen kannalta. Näistä seikoista huolimatta mallinnetulla hankevaihtoehdolla ympäristömeluarvot eivät ylitä Mustanlammen asuinkehteissa. Ero säädettyyn ohjearvoon on 4 dB.

Karjalahden ja Hautaperän asukkaat ovat olleet huolissaan tuulivoimapuiston äänien kulkeutumisesta Hautaperän tekojärven yli. Lähimmillään tekojärvi on yli 4,5 km:n päässä tuulivoimaloista. Tuulivoimaloiden ääni vaimentuu etäisyyden mukaan. Melumallinnus kuvaa tilanteen ylärajatarkasteluna (ks. edellinen kappale). Järven akustinen kovuus on otettu huomioon laskennassa, missä ääni vaimenee hitaammin. Melumallinnuksesta havaitaan, että jo 3,4 km:n päässä (Toukkala) tuulivoimaloiden tuottama keskiäänitaso on laskenut 28 dB:iin. Erityisten olosuhteiden vallitessa (matala taustäänitaso, äänen etenemiselle suotuisa lämpötilaprofiili, kova myötätuuli) tuulipuiston ääni saattaa olla tällöin kuultavissa, mutta missään tapauksessa se ei ylitä valtioneuvoston ohjearvoja tuulivoimaloiden melulle. Ampumaratamelun impulssimaisuus on erittäin voimakasta ja melun leviäminen on poikkeavaa ammuksen yläääninopeuden seurauksena [14]. Siten ampumaradan melu ja sen leviäminen on hyvin erityyppistä kuin tuulivoimaloiden tuottama melu. Tuulivoimaloiden melussa voidaan toisinaan havaita ajallista vaihtelua (sykintää), mutta melu ei täytä impulssimaisuuden tunnusmerkkejä sen hitaan nousunopeuden vuoksi (dB/s).

4.2 Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaudoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä 2-3 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä. Tässä työssä on kuitenkin käytetty normaalia siipimallia, jonka äänipäästö on sahalaudoitettua suurempi.

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoitulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmillä tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätoparametreiksi 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 meluoptimointiajomoodin 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 16 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 16 x 4.5 MW:n mukaisella hankevaihtoehdolla laskettu 40 dB:n keskiäänitaso LAeq ei ylity lähimpien loma-asuinrakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä. Tulokset alittavat Valtioneuvoston tuulivoimamelun yöajan ohjearvot ulkona.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat melko selvästi. Suurin ilmaäänieristävyysvaatimus olisi noin 2-6 dB taajuusvälillä 50 - 200 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on hyödynnetty uusia kevyen loma-asuinrakennuksen rakenteen mukaisia ilmaäänieristävyysmittausarvoja vuodelta 2015.

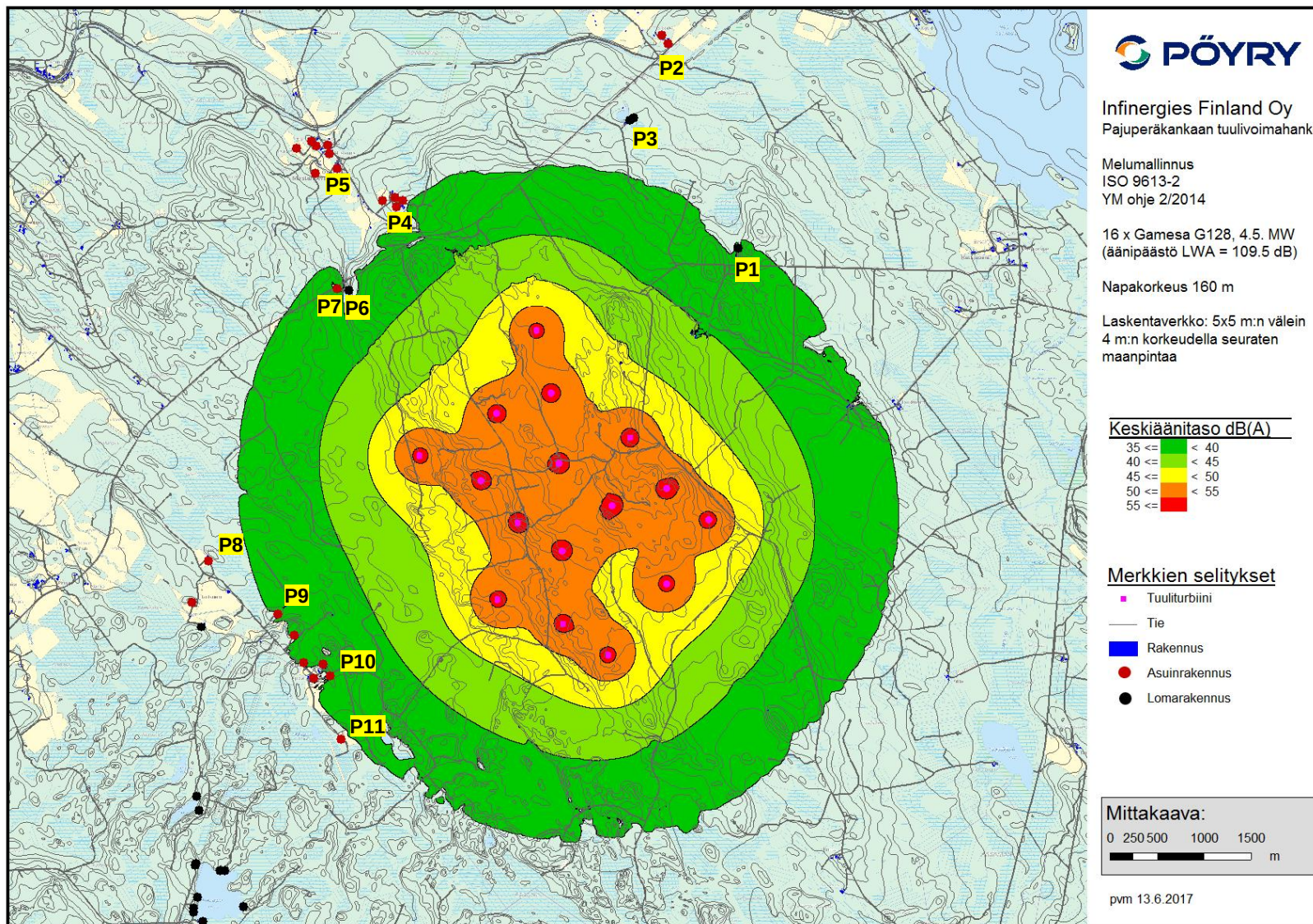
Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan. Useat hankealuetta lähellä olevat kohteet sijaitsevat kantatie 58:n läheisyydessä, jolloin tiemelun vaikutus äänimaisemaan on vallitseva.

VIITTEET

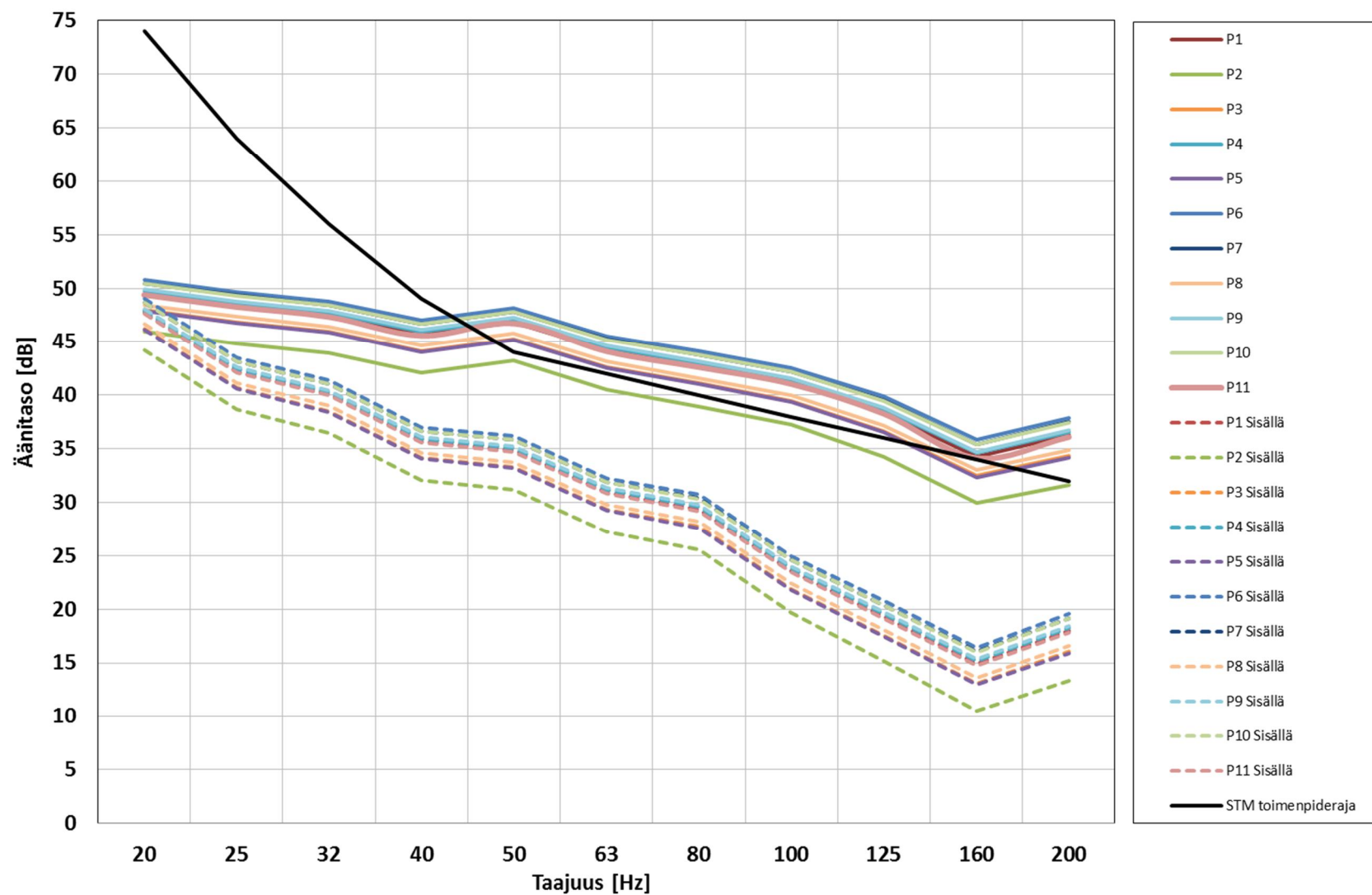
- [1] Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista
- [2] ISO 226:2003. Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, Geneva, 2003.
- [3] Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.
- [4] 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] Sondergaard, Bo. New measurements of low frequency sound insulation. Sweco 2015, Denmark.

- [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.
- [14] Ampumamelun arviointi – Kirjallisuusselvitys, Suomen ympäristö 39/2007, Ympäristöministeriö, Helsinki, 2007.

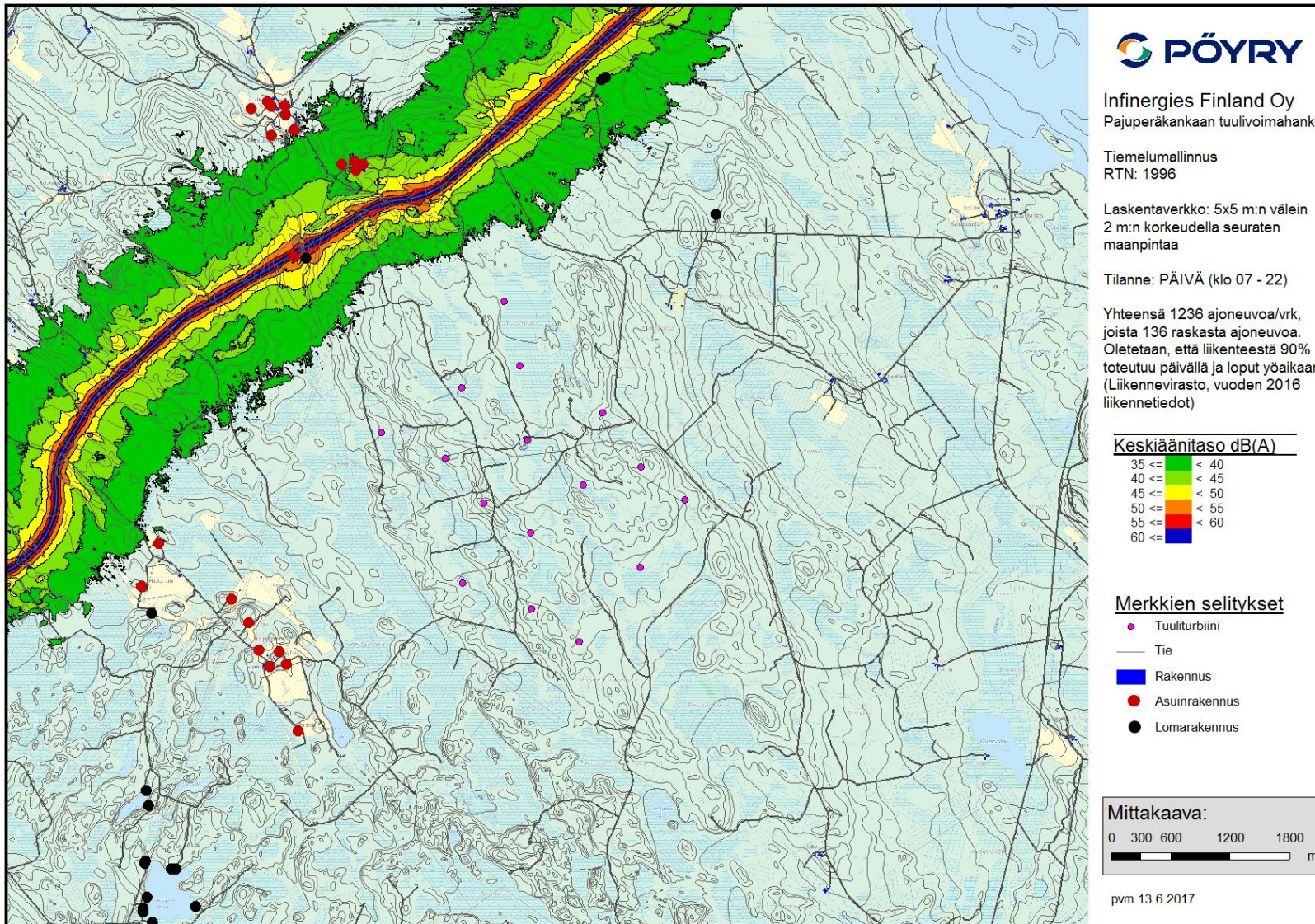
Liite 1. Melumallinnuskartta (ISO 9613-2) sekä melun reseptoripisteet P1-P11



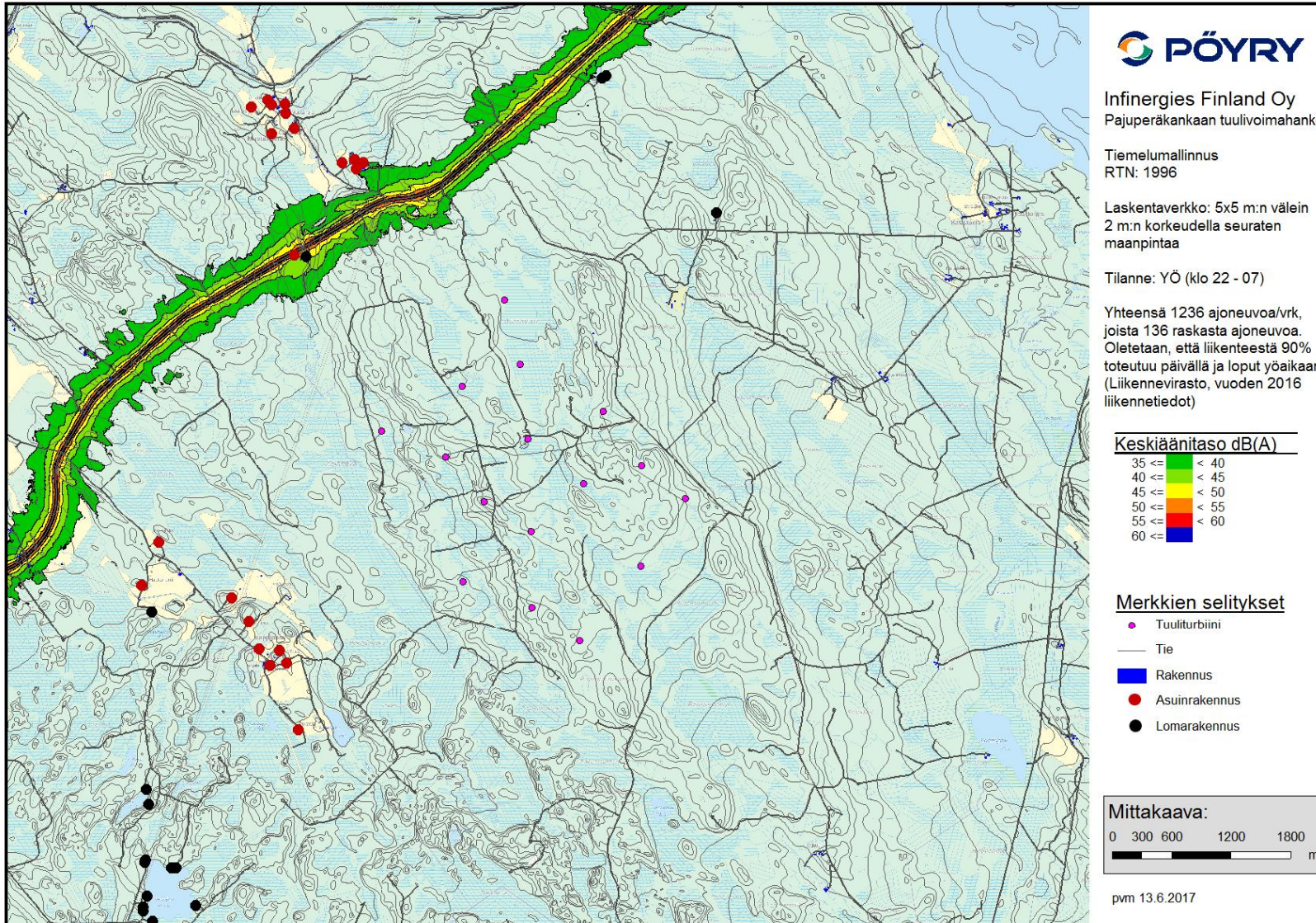
Liite 2. Pientaajuisten melun laskentatulokset



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: 19.6.2017				
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)								
Tuulivoimalan valmistaja: Gamesa				Nimellisteho: 4.5 MW				
Roottorin halkaisija: 128 m				Napakorkeus: 160 m				
Lukumäärä: 16								
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): 109.5 dB(A), 12 m/s napakorkeudella, normaalisiipi								
Luottamuksellisia (NDA): Kyllä, vain viranomaiskäyttöön								
Oktaaveittain [Hz], dB								
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
118	116	113	112	107	104	99	91	82
Melun erityispiirteet								
Kapeakaistaisuus: Ei				Impulssimaisuus: Ei				
Korkeuserokorjaus: 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 absorptioon 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
1.8	6.2	7.4	10	12	13.3	13.4	17.6	19.1	19.4	18.3

LASKENTATULOKSET

Laskentavaihtoehdot: **1 kpl**

Laskentakartat: **1 kpl**

Laskentavyöhykkeet [dB]: **5 kpl: 35, 40, 45, 50 ja 55**

Pientaajuisen melun laskentataulukot: **1 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 (Sweco 2015 mukaan): **Kaikki tulokset alle asumisterveysasetuksen**

Laskennallisesti suurin ilmaäänieristysvaatimus: n. **6 dB, taajuudella 200 Hz**