



TUULIALFA OY

Vaalan tuulivoimapuiston meluselvitys osayleiskaavaa varten

Asiakas	Tuulialfa Oy
Otsikko	Vaalan tuulivoimapuiston meluselvitys osayleiskaavaa varten
Työnumero	101008653-002
Tiedoston nimi	Tuulialfa_Vaala_meluselvitys_OYK_22-10-2019.docx
Järjestelmä	Microsoft Word 14.0
Ulkoinen jakelu	Antti Tanskanen, Tuulialfa Oy
Sisäinen jakelu	Kaava projektikansio
Vastaava yksikkö	Ympäristökonsultointi
Toimipaikka	Vantaa
Revisio	Alkuperäinen, Alustava
Dokumentin pvm	22.10.2019
Laatija/asema/allekirj.	Carlo Di Napoli / Johtava asiantuntija
Tarkistuspvm	22.10.2019
Tarkistanut/asema/allekirj.	Miia Nurminen-Piirainen /

Copyright © Pöyry Finland Oy

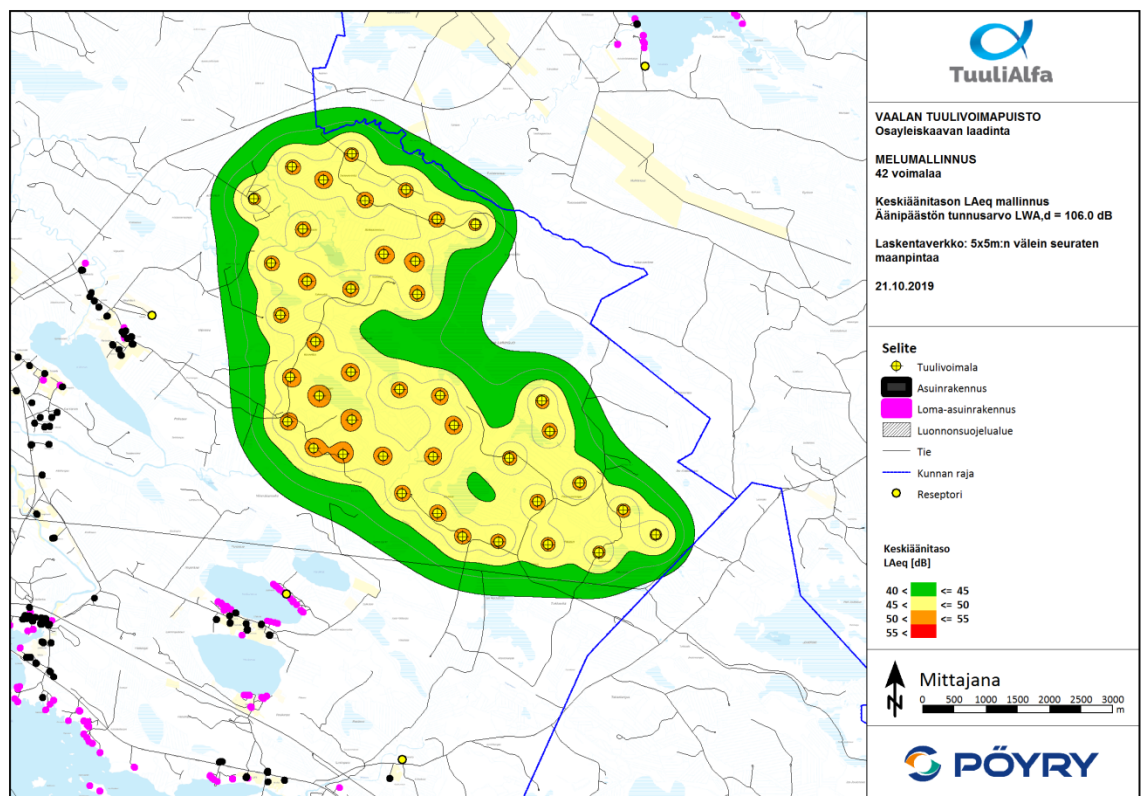
Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

YHTEENVETO

Tuulialfa Oy suunnittelee Vaalan Turkkiselän alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 42 yksikköteholtaan 3,45-8 MW:n tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa tuulivoimamelun leviämisyöhykkeet mallinnettiin tietokoneavusteisesti digitaaliskarttaan. Laskennan parametrisointi on tehty ympäristöministeriön tuulivoimamelun mallinnusohjeitten mukaisesti [3].

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 42 voimalan hankevaihtoehdoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.



Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurin ilmastäneristävyuden vaatimus olisi noin 7 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty uusia suomalaisten pientalojen mukaisia ilmastäneristävyuden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaus Hankkeen tuloksista. Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset vaihtelevat ajallisesti ja paikallisesti tuulisuuden ja sään mukaan.

Meluvaikutusten merkittävyys arvioitiin tässä työssä vähäisesti kielteiseksi, siten että hankkeen aiheuttama kielteinen muutos on havaittavissa, mutta ei juuri aiheuta muutosta ihmisten päivittäisiin toimiin tai ympäröivään luontoon.

SISÄLTÖ

YHTEENVETO

1	JOHDANTO	5
1.1	Ympäristömelu	5
1.2	Tuulivoimamelu	5
2	LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT	7
2.1	Digitaal kartta-aineisto	7
2.2	Mallinnettu tuulivoimalamallit	7
2.3	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	7
2.4	Alueen lyhyt tuulisuusanalyysi	8
2.5	Melumallinnus ja laskentaparametrit	9
2.5.1	Pientaajuisten melun laskenta	11
2.6	Vertailuohjeet	11
2.7	Melutason toimenpiderajat sisätiloissa	12
3	LASKENTATULOKSET	13
3.1	Melun leviäminen	13
3.2	Mallinnustulokset, ulkomelu keskiäänitasolla LAeq	13
3.3	Pientaajuinen melu Leq, 1h rakennusten sisätiloissa	14
4	MELUVAIKUTUKSET	15
4.1	Melun vaikutukset alueen äänimaisemaan	15
4.2	Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	16
4.3	Vaikutusten seuranta	16
	VIITTEET	16

Liitteet

Liite 1	Voimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit
Liite 2	Melumallinnuskartta, 42 voimalaa
Liite 3	Pientaajuisten melulaskennan tulokset, reseptoripisteet LP1-LP6
Liite 4	Lähtötieto- ja tulostaulukko

Lyhenteet

L _{Aeq}	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso [dB]
L _{WA}	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso [dB]
L _{WA,d}	A-taajuuspainotettu äänipäästön tunnusarvo [dB]
L _W	Taajuuspainottamaton äänilähteen äänitehotaso [dB]
L _{W,d}	Taajuuspainottamaton äänipäästön tunnusarvo [dB]

1 JOHDANTO

Tuulialfa Oy suunnittelee Vaalan kunnan alueella sijaitsevalle Turkkiselän alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi enintään yhteensä 42 yksikköteholtaan 3,45-8 MW:n tuulivoimalaitosta.

Tässä raportissa käsitellään melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön. Vertailuarvoina käytetään uuden tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja. Mallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014 [3]. Selvitys on tehty hankkeen osayleiskaavaa varten.

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 äänenerotuskyvyllä 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 logaritmista 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]

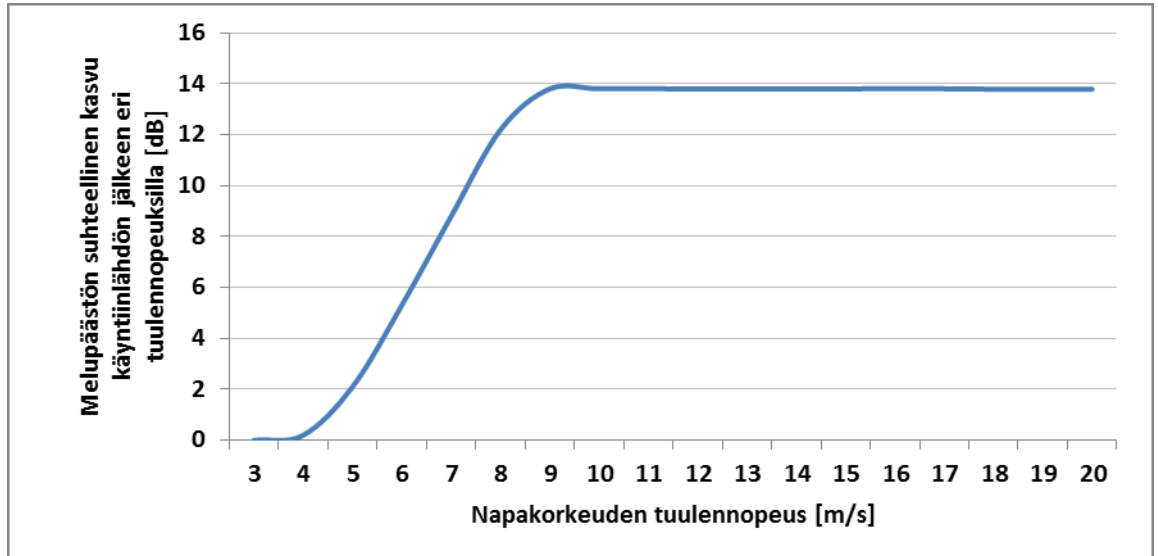
Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen.

Melun ekvivalenttitaso (symboli L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq}) tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitasa. Koska ääni käsitellään logaritmisenä suureena, on hetkellisesti korkeammilla äänitasoilla suhteellisen suuri vaikutus ekvivalenttiseen melutasoon. Tasaisessa teollisuusmelussa hetkellisvaihtelut ovat usein varsin lähellä myös ekvivalenttista arvoa, mikäli toiminnasta ei aiheudu impulssimaisia melutapahtumia.

1.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiääni 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 90 prosenttia kokonaisäänienergiasta [16]) lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi. Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin. Pientaajuisen melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiot, siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisihiot.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Pyörivän siivistön äänitason nousu ylä- ja alatuulen puolilla suurempi kuin sivusta käsin katsottuna samalla etäisyydellä [4]. Lisäksi voimalan lähtöäänipäästö on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulilla ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla (ks. kuva 1).



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

Äänipäästön L_{WA} huipputaso saavutetaan tyypillisesti voimalan nimellistehotasolla, joka tarkoittaa yli 10 m/s tuulennopeutta napakorkeudella voimalamallista ja etenkin tornikorkeudesta riippuen. Tuulennopeuden edelleen kasvaessa tuulivoimalan siipikulmasäätö tasoittaa äänitehotason nousun (ks. kuva 1).

Taustamelu esim. liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänit ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esim. puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitason voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemusperäisesti jopa yli 60 dB:n tasolle. [17]

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut eri vuorokauden aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla. [5] Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12 m/s -13 m/s modernin voimalan napakorkeudella. [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 tuotantototeeseen. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaidoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2-3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän [15].

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 0,5 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten ja teiden paikkatiedot, laajat kallioalueet sekä vesirajat.

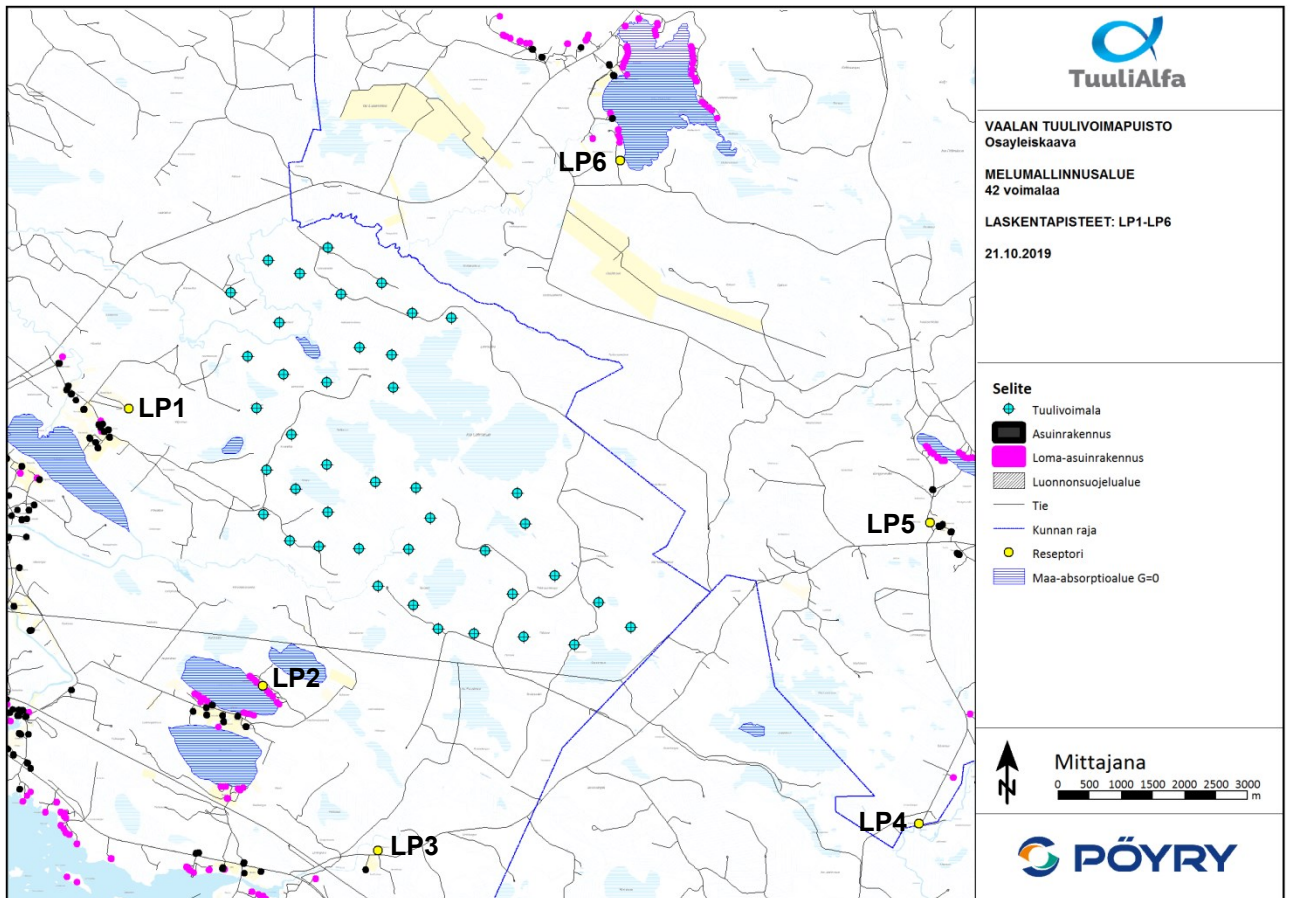
2.2 Mallinnettu tuulivoimalamallit

Mallinnus suoritettiin yhdelle voimalamallille, jonka äänipäästön tunnusarvoksi (engl. declared value) on valittu 106 dB, napakorkeudeksi 190 m ja kokonaiskorkeudeksi 280 m. Äänipäästön taajuusjakauma vastaa voimalan Nordex N149 4,5MW:m voimalan taajuusjakaumaa, jonka tieto on syötetty laskentamallin äänipäästön lähtötiedoiksi 1/3 oktaaveittain taajuusvälillä 20 Hz – 10 000 Hz. Taajuusjakauma oktaavikaistatasolla on esitetty liitteessä 5.

Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä on 42 voimalaa.

2.3 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

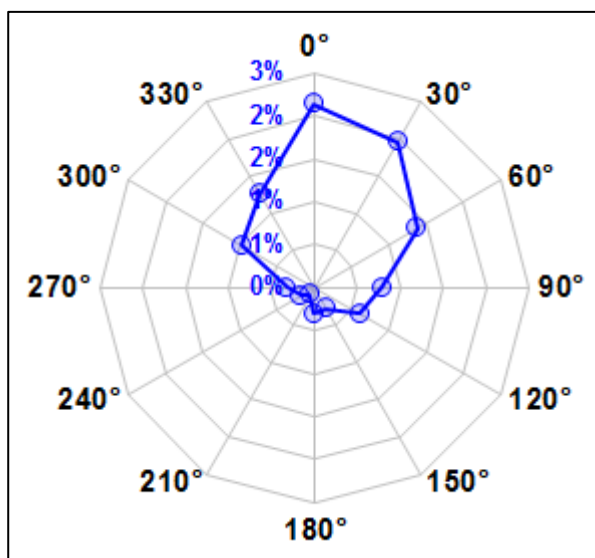
Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden LP1-LP6 eli asuin- tai lomarakennusten sijainnit, joiden kohdalla laskettiin erikseen reseptoripistetulokset. Liitteessä 1 on esitetty kuvan 2 reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa. Loma-asuinrakennus hankealueen sisällä ei kuulu tämän selvityksen piiriin.



Kuva 2. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden LP1-LP6 sijainnit

2.4 Alueen lyhyt tuulisuusanalyysi

Alueen tuulisuutta on tarkasteltu käyttäen apuna Suomen Tuuliatlaksen laskennallisia tuulisuustietoja 200m:n korkeudella alueen keskikorkeudesta mallinnetun melupäästön mukaisille tuulisuuksille eli yli 11 m/s käänteisenä tuuliruusuna.



Kuva 3. Weibull jakauman kautta lasketut vuotuiset myötätuulen tilanteen (% ajasta) yli 11 m/s tuulisuuksille (lähde Suomen Tuuliatlas, www.tuuliatlas.fi)

Kuvassa 3 on laskettu tuulisuusarvoja myötätuulen puolelle vuotuisesti (vaaleansininen käyrä). Tulosten perusteella vallitseva tuulensuunta kaikilla yli 11 m/s tuulisuuksilla on selkeästi lounaasta ja etelästä. Siten myötätuulen puolen tilanteet ovat tuulivoimalan melun suuntaavuuden huomioimisen jälkeen pääsääntöisesti välillä 0°-60° eli alueen pohjois-koillispuolelle. Vastakkaiselle puolelle (alueen etelä ja länsipuolelle) voidaan olettaa, että vastatuuleen syntyvä äänen leviämisen varjoalue vähentää melukuormitusta yli 1 km:n etäisyyksillä [14]. Kaikkiaan jäädään alle 5 %:n esiintyvyyksiin kunkin 30 asteen osasuunnan osalta tuulisimmankin kuun eli tammikuun osalta.

2.5 Melumallinnus ja laskentaparametrit

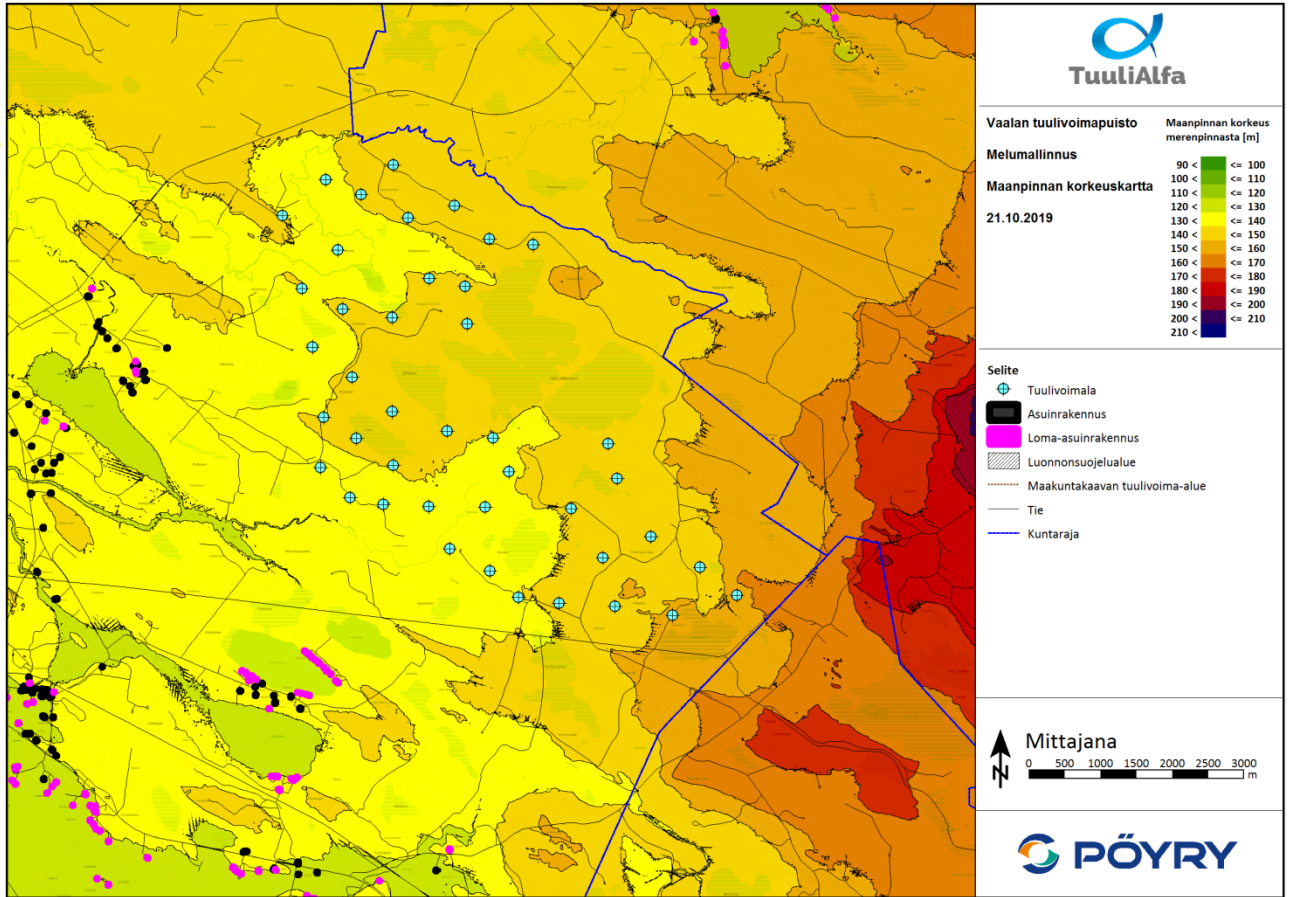
Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulaskentaohjelmistoa SoundPlan v8.0, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina käytettiin ISO 9613-2, jonka parametrisointi on ohjeistettu Ympäristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1 [3].

Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö, äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Rakennusten varjostavaa vaikutusta ei laskennassa huomioida (nk. vapaakenttä-laskenta). Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskentaparametreilla, jotka on esitetty taulukossa 1 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

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

1. Vakioitu maa-alueiden absorptiovakio tuulivoimamelun leviämislaskelmissa on lukuarvoltaan pienempi kuin tieliikenne- ja teollisuusmelulaskennoissa tarkoittaen myös pienempää äänen leviämisvaimentumista.
2. Tuulivoimamelun laskennassa käytetään äänipäästön takuu-/tunnusarvoa $L_{WA}/L_{WA,d}$ joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisätynä äänipäästöarvon epävarmuudella. Tieliikennemelussa se on keskivuorokausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää äänipäästöissä mm. laitteiden aikakorjauksia, joita ei tuulivoimamelulaskennassa voi hyödyntää.

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 (ks. kuva 4).



Kuva 4. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 1. Melumallinnuksen laskentaparametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu, YM OH 2/2014 kpl 4.1 [3]
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2 [3] Pientaajuisen melun etenemisvaimennus: YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 [1] sekä suomalaisten pientalojen ilmaäänieristys [8]
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2018), topografian pystyresoluutiona on 0.5m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkkolaskennan kautta. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.8)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 15 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 prosenttia (YM OH 2/2014 kpl 4.2.4)
Tuulennopeus	12,45 m/s 190m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.2
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 20 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)

Lähtötieto	Parametrit
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.5 kuva 4. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten digitaaliskartan maanpintaa (YM OH 2/2014 kpl 4.1.2)
Maanpinnan akustinen kovuus	0,4 (maa-alueet), 0 (vesialueet sekä laajat kallioalueet) (YM OH 2/2014 kpl 4.1.5)
Laskentavyöhykkeet, LAeq	40 dB, 45 dB ja 50 dB

2.5.1 Pientaajuisten melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukkolaskentana ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisten melun leviämismuuttuminen laskettiin käyttäen voimalan painottamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavikaistatietoja L_W taajuusvälillä 20-200Hz. [3]

Pientaajuisten melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmastieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8]. Pientalojen ilmastieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin 90 % persenttiarvona DL_{90} . Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. YM:n ohjeen mukainen taajuusalue on 20-200Hz.[3]

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

2.6 Vertailuohjeet

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

Taulukko 2. 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 mittauksilokseen 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 leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjearvoon nähden.

2.7 Melutason toimenpiderajat sisätiloissa

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

Taulukko 3. 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 4. Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusväliillä 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

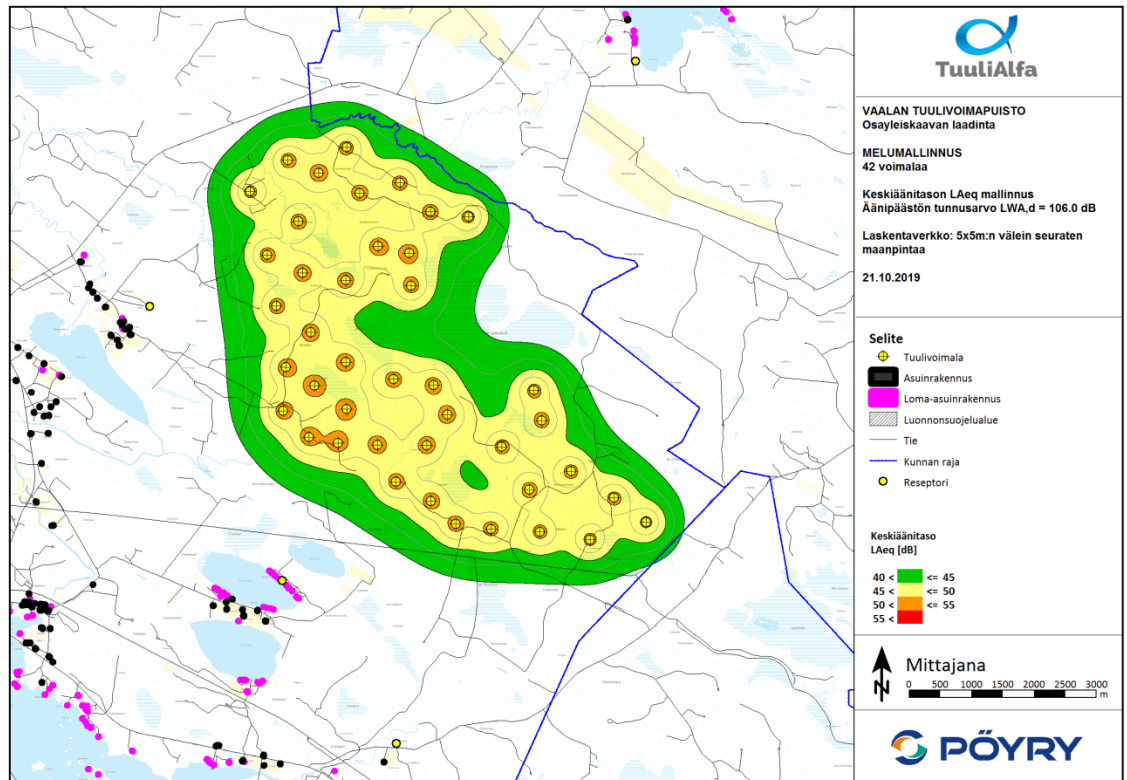
3 LASKENTATULOKSET

3.1 Melun leviäminen

Digitaaliselle topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty alla olevassa melukartassa sekä suurempana kuvana liitteessä 2. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 3.3 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 4.

3.2 Mallinnustulokset, ulkomelu keskiäänitasolla LAeq

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 40 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq meluvyöhykkeineen hankevaihtoehdolle 42 voimalaa. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n välein siten, että vihreän alueen raja vastaa LAeq 40 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 45 dB:n tasoa.



Kuva 5. Melumallinnuskartta hankevaihtoehdossa 42 voimalaa

Melun leviämislaskennan perusteella (ulkomelu) 40 dB:n melukäyrä jää selvästi etäälle lähimmistä asuin- ja loma-asuinrakennuksista. Reseptoripistelaskennan perusteella (ks. taulukko 5), suurin keskiäänitason LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä LP1 on noin 34 dB, joka on 6 dB alle yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkona.

Taulukko 5. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptoripisteissä LP1-LP6

Reseptoripiste	42 voimalaa, LAeq tulos
LP 1	33,9 dB
LP 2	33,1 dB
LP 3	27,3 dB
LP 4	19,0 dB
LP 5	21,1 dB
LP 6	24,2 dB

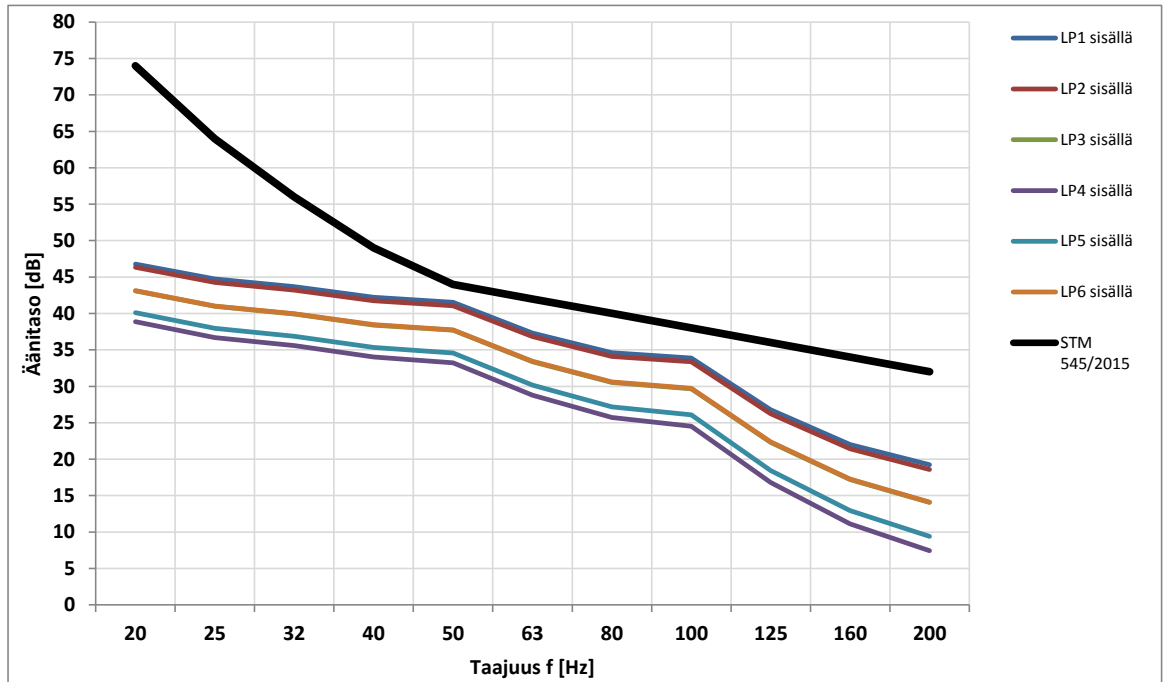
3.3
Pientaajuinen melu Leq,1h rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen (kpl 4.1.9) mukaisesti käyttäen uuden suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja DL_{90} , jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia [8]. Vertailu DSO 1284 mukaisiin ilmastieristävyyden arvoihin on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 6. Laskennassa käytetty pientalojen DL_{90} :n mukainen ilmastieristävyys [dB]. Vertailun vuoksi on jälkimmäisissä sarakkeissa annettu DSO 1284:n ääniasetuksen mukaiset arvot (Tanska) [7] [dB].

Kaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
DL_{90} [dB]	6	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14
DSO 1284	6,6	8,4	10,8	11,4	13	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2	21,5

Pientaajuisen melun laskentatulokset kuvaajassa lähimmissä reseptoripisteissä on esitetty alla sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 3.



Kuva 6. Pientaajuisten melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä LP1-LP6.

Tuloskäyrät asettuvat osin lähes päällekkäin laskentatulosten samankaltaisuuksien vuoksi. Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennuksen julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL_{90} . Suurin rakennuksen ilmaäänieristävyyden vaatimus pisteessä LP1 olisi noin 7 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella (ks. liite 4).

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.

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 äänipäästön maksimiääntä yhtäaikaisesti. Lisäksi mallinnusalgoritmi laskee aina keskiäänitason arvot siten, että tuuli kulkee tuulivoimaloista vastaanottopisteisiin myötätuuliolosuhteena ja ilman lämpötilaprofiili on epäedullinen äänen vaimenemisen kannalta.

Melun erottuminen riippuu hyvin pitkälti säätilasta sekä muun taustamelun tasosta. Melun erottumista lisääviä säatekijöitä ovat mm. stabiili ilta- ja yöajan alailmakehä ja vastaavasti vähentäviä tekijöitä mm. puusto- ja liikennemelukohina.[5] Melu havaitaan paremmin myötätuuliolosuhteissa ja heikommin (tai ei lainkaan) vastatuuliolosuhteissa etäisyydestä riippuen. 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. äänen geometriavaimentumisen vuoksi. Nykyaikaisilla tuulivoimaloilla on pitkät lavat, jolloin ne pyörivät hitaammin kuin vanhemmat lyhyempisiipiset voimalat.

Laskennan ylärajamallinnusta korostavista seikoista huolimatta mallinnetulla hankevaihtoehdolla melun ohjearvot eivät ylity.

4.2 Haitallisten vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaidoituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 3-5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä [15]. Tämän selvityksen kaikissa voimaloissa on lähtökohtaisesti siiven jättöreunan sahalaidoitus.

Tuulivoimalaitoksia on lisäksi mahdollista ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esimerkiksi roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmillä tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Näitä meluoptimointiajomoodeja on yleensä eritasoisia riippuen tarvittavasta vaimennustarpeesta. Säätöparametreiksi 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 tuulivoimamelun ohjearvoihin.

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] Bolin, K. The Influence of Background Sounds on Loudness and Annoyance of Wind Turbine Noise. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol 98 (2012) pages 741-748.
- [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.
- [14] E.Barlas, W.J. Zhu, W.Z.Shen, O. Kaya, P. Moriarty. Consistent modelling of wind turbine noise propagation from source to receiver. Acoustical Society of America. Journal, 142, 3297 (2017).
- [15] Arce León, C. Trailing Edge Serrations, Effect of Their Flap Angle on Flow and Acoustics. 7th International Conference on Wind Turbine Noise, Rotterdam, 2nd to 5th May 2017.
- [16] Gupta, M. Madsen, K. Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.
- [17] Halstead, D. Tam, N. A study of background noise levels measured during far-field receptor testing of wind turbine facilities. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lissabon, June 12-14, 2019.

Liite 1. Voimaloiden ja reseptoripisteiden LP1-LP6 koordinaatit

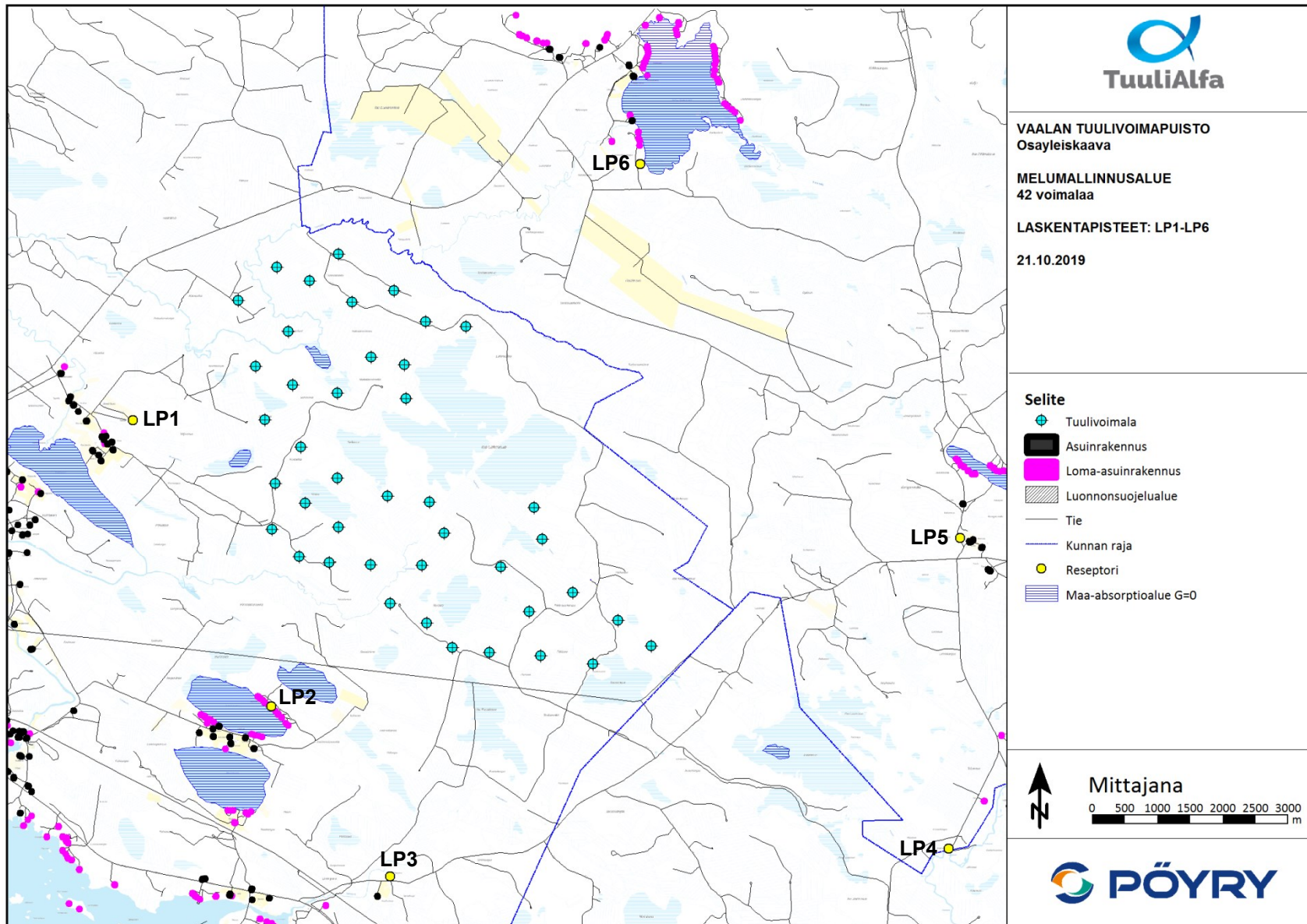
Tuulivoimaloiden koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa. Z-koordinaatti kuvaa maanpinnan korkeutta. Hankevaihtoehto 42 voimalaa.

Tuulivoimala nro	x	y	z	Napakorkeus
1	514713,0	7160221,0	139,31	190m
2	514322,0	7160594,0	145,16	190m
3	513760,0	7160896,0	140,81	190m
4	515280,0	7160145,0	140,23	190m
5	516065,0	7160095,0	138,33	190m
6	516865,0	7159975,0	138,47	190m
7	515893,0	7160771,0	144,10	190m
8	517250,0	7160639,0	141,39	190m
9	517760,0	7160250,0	144,15	190m
10	516561,0	7161067,0	143,78	190m
11	515455,0	7161460,0	141,21	190m
12	514251,0	7161482,0	145,46	190m
13	514587,0	7161973,0	140,86	190m
15	516095,0	7161880,0	140,76	190m
16	515968,0	7162365,0	139,64	190m
20	514920,0	7165135,0	151,19	190m
21	514309,0	7165216,0	149,04	190m
22	513180,0	7165515,0	136,33	190m
23	512525,0	7165835,0	138,09	190m
24	512030,0	7166046,0	143,69	190m
25	512970,0	7166250,0	139,01	190m
26	513824,0	7165685,0	139,87	190m
27	511955,0	7162030,0	141,96	190m
28	512368,0	7161612,0	141,57	190m
29	512831,0	7161519,0	136,34	190m
30	513463,0	7161490,0	133,93	190m
31	512000,0	7162735,0	142,66	190m
32	512460,0	7162435,0	140,18	190m
33	512970,0	7162065,0	145,49	190m
34	513720,0	7162538,0	144,45	190m
35	514360,0	7162448,0	136,40	190m
36	512957,0	7162816,0	143,35	190m
37	512396,0	7163292,0	143,73	190m

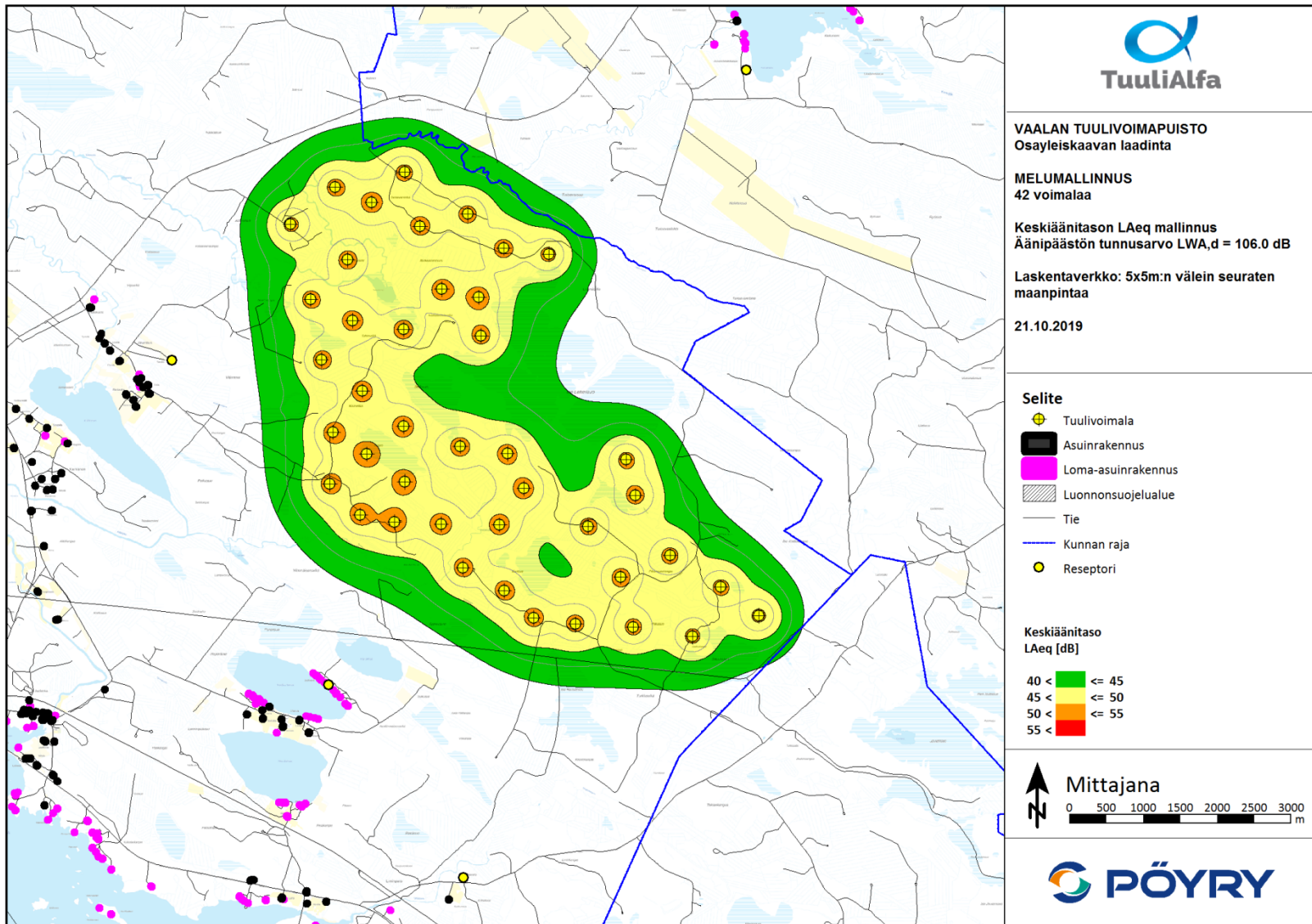
Tuulivoimala nro	x	y	z	Napakorkeus
38	511847,0	7163708,0	136,11	190m
39	512266,0	7164240,0	133,39	190m
40	511697,0	7164525,0	145,63	190m
41	512955,0	7164121,0	145,04	190m
42	514006,0	7164037,0	135,96	190m
43	513472,0	7164666,0	151,7	190m
44	513976,0	7164554,0	145,13	190m
45	511430,0	7165541,0	148,25	190m
46	512201,0	7165062,0	141,14	190m

Reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN. Z-koordinaatti kuvaa maanpinnan korkeutta.

Reseptoripisteen nro	x	y	z	Laskentakorkeus maanpinnalta
LP1	509819,64	7163702,07	134,54	4m
LP2	511943,09	7159315,88	136,57	4m
LP3	513763,63	7156713,11	134,33	4m
LP4	522317,97	7157143,68	167,64	4m
LP5	522491,82	7161895,24	213,19	4m
LP6	517594,89	7167626,35	157,80	4m



Liite 2. Melumallinnuskartta, 42 voimalaa

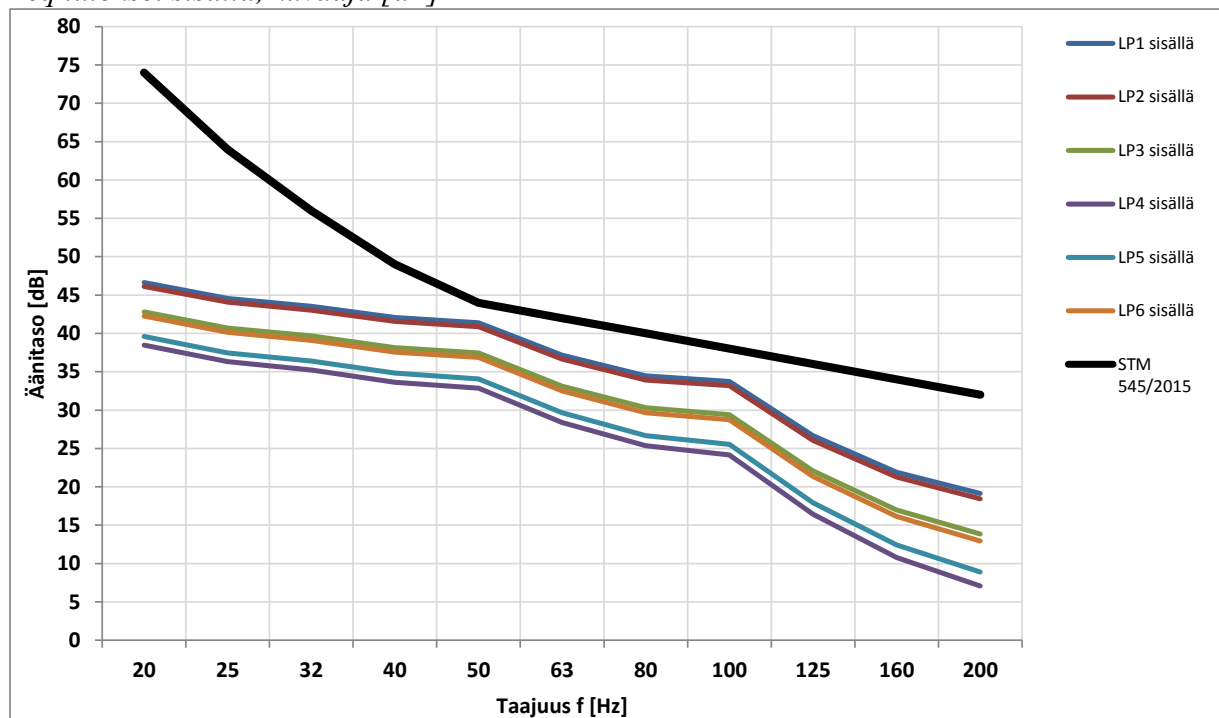


Liite 3. Pientaajuisen melun laskentatulokset reseptoripisteissä LP1-LP6
Pientaajuisen melun yksityiskohtaiset laskentatulokset ulkona Leq [dB]

Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP1	52,6	50,6	50,5	49,1	49,4	46,2	44,5	44,8	38,7	34,9	33,1
LP2	52,1	50,1	50,0	48,6	48,9	45,6	43,9	44,2	38,1	34,3	32,4
LP3	48,8	46,7	46,7	45,1	45,4	42,1	40,3	40,4	34,1	30,0	27,9
LP4	44,5	42,3	42,2	40,6	40,9	37,4	35,4	35,2	28,4	23,8	21,1
LP5	45,6	43,5	43,4	41,8	42,1	38,6	36,7	36,6	29,9	25,4	22,9
LP6	48,3	46,1	46,1	44,6	44,8	41,5	39,7	39,7	33,3	29,2	26,9

Pientaajuisen melun yksityiskohtaiset laskentatulokset sisällä

Reseptori nro	Taajuus [Hz]										
	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
LP1	46,6	44,6	43,5	42,1	41,4	37,2	34,5	33,8	26,7	21,9	19,1
LP2	46,1	44,1	43,0	41,6	40,9	36,6	33,9	33,2	26,1	21,3	18,4
LP3	42,8	40,7	39,7	38,1	37,4	33,1	30,3	29,4	22,1	17,0	13,9
LP4	38,5	36,3	35,2	33,6	32,9	28,4	25,4	24,2	16,4	10,8	7,1
LP5	39,6	37,5	36,4	34,8	34,1	29,6	26,7	25,6	17,9	12,4	8,9
LP6	42,3	40,1	39,1	37,6	36,8	32,5	29,7	28,7	21,3	16,2	12,9

Leq tulokset sisällä, kuvaaja [dB]


Liite 4. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT									
Mallinnusraportin numero/tunniste:					Raportin hyväksyntäpäivämäärä: 22.10.2019				
Laatija: DI Carlo Di Napoli, Pöyry Finland Oy					Hyväksyjä: Miia Nurminen-Piirainen, Pöyry Finland Oy				
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT									
Mallinnusohjelma ja versio: SoundPlan v.8.0					Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)									
Tuulivoimalan valmistaja: Nordex N149 taajuudet					Nimellisteho: 4,5 MW (taajuudet)				
Roottorin halkaisija: 180m					Napakorkeus: 190m				
Lukumäärä: 42 kpl					Tornityyppi: Ei tiedossa, mahdollisesti haruksilla				
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB									
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT									
Melupäästötiedot (tunnusarvo LWA,d):									
Luottamuksellisia: Kyllä, vain viranomaiskäyttöön. Viranomaiselle voidaan pyydettyä toimittaa myös 1/3 oktaavikaistatiedot									
Oktaaveittain [Hz]									
LWA [dB]	31.5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
106 dB	78 dB	88 dB	94 dB	98 dB	100 dB	101 dB	98 dB	91 dB	83 dB
Melun erityispiirteet									
Kapeakaistaisuus: Ei			Impulssimaisuus: Ei			Korkeuserokorjaus: Ei			
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT									
Laskentakorkeus: 4 m			Suhteellinen kosteus: 70%			Lämpötila: 15 °C			
Tuulensuunta: Myötätuuli joka suuntaan									
Maastomallin lähde: MML, 2018			Maanpinnan 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			
Pientaajuisten melulaskennan julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL ₉₀ asuin- ja loma-asuinrakennuksille [8]:									

1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz dB										
20 Hz	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz
6 dB	6 dB	7 dB	7 dB	8 dB	9 dB	10 dB	11 dB	12 dB	13 dB	14 dB
LASKENTATULOKSET										
Laskentavaihtoehdot: 1 kpl										
Laskentakartat: 1 kpl					Laskentavyöhykkeet [dB]: 3 kpl: 40 dB, 45 dB, 50 dB					
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 1 kpl					Reseptoripisteet: 6 kpl, LS1-LS6					
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										