



CPC FINLAND OY

Huso-Pöylän tuulivoimapuiston melu- ja välkemallinnus

101016213-001A

Tekijä
Meluselvitys: Carlo Di Napoli
Välkeanalyysi: Elina Heinilä
Osasto
Sustainability & Climate change (Di Napoli)
Wind and Solar and New Energy Systems (Heinilä)
gsm
+358 (0)40 5857 674 (Di Napoli)
+358 (0)50 3566 905 (Heinilä)
E-mail
carlo.dinapoli@afry.com
elina.heinila@afry.com

pvm
22/10/2021

Projektinumero
101016213-001A

Raporttiversio
Päivitys A: 22.10.2021

Raportin tila
FINAL

Asiakas

CPC Finland Oy
Erik Trast
General Manager

Huso-Pöylän tuulivoimapuiston melu- ja välkemmaallinnus

Sisällys

1	Johdanto	7
2	Melumallinnus	7
2.1	Ympäristömelu	7
2.2	Tuulivoimamelu	7
2.3	Vertailuohjeavot	9
2.4	Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa	9
2.5	Lähtötiedot ja arviointimenetelmät	10
2.6	Digitaalikartta-aineisto	10
2.7	Mallinnetut tuulivoimalamallit	10
2.8	Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit	10
2.9	Melumallinnuksen laskentaparametrit	11
2.10	Pientaajuisen melun laskenta	13
2.11	Mallinnustulokset	13
2.12	Ulkomelumallinnus, 8 voimalaa	14
2.13	Vertailu kaavoitusajan tilanteeseen	15
2.14	Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa	16
2.15	Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen	16
2.16	Vaikutusten seuranta	17
3	Välkemallinnus	17
3.1	Välke	17
3.1.1	Sovellettavat raja- ja ohjeavot	18
3.2	Arviointimenetelmät ja arvioinnin epävarmuudet	19
3.2.1	Arviointimenetelmät	19
3.2.2	Arvioinnin epävarmuudet	20
3.3	Vaikutusten arviointi	21
3.4	Puuston vaikutuksen huomioiminen	24
3.5	Välkkeen rajoittaminen	26
4	Lähteet	27

Liitteet

Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN koordinaatistossa

Liite 2. Melumallinnuskartta, 8 voimalaa

Liite 3. Melumallinnuskartta, vertailukartta

Liite 4. Pientaajuisen melun numeeriset tulokset ulkona ja sisätiloissa

Liite 5. Koostetaulukko, melulaskennan parametrit ja laskentatulokset

Kuvat ja taulukot

Kuva 1. Esimerkkikuva äänipäästön kasvusta napakorkeuden tuulennopeuden mukaan. Äänitason nousu tasoittuu n. 10 m/s voimalan napakorkeudella mitatun tuulennopeuden jälkeen.	8
Taulukko 1. Tuulivoimamelun ohjearvot, LAeq.....	9
Taulukko 2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).....	9
Taulukko 3. Pientaajuisten sisämelun tunnin keskiäänitason Leq,1h toimenpiderajat taajuusvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07.....	10
Kuva 2. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sijainnit	11
Kuva 3. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.	12
Taulukko 4. Laskennan parametrit.....	12
Kuva 4. Melumallinnuskartta, 8 voimalaa.....	14
Taulukko 5. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptoripisteissä R1-R14.	14
Kuva 5. Vertailukuva kaavoitusajan tilanteeseen nähden.	15
Kuva 6. Pientaajuisten melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14.....	16
(a) (b) (c)	17
Kuva 7. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta fT ja ääneksen erottuvuudesta A _T . (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta fm ja modulaatiosyvyydestä Dm. (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta Ron ja tasoerosta DL (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinän sanktiomenettelyä.	17
Kuva 8. Havainnollistus välkkeestä. Tuulivoimala voi aiheuttaa lähiympäristöönsä varjon vilkuntaa, kun auringon valo paistaa tuulivoimalan takaa ja osuu käynnissä olevan tuulivoimalan pyöriviin lapoihin.....	18
Taulukko 6. WindPRO-ohjelmiston SHADOW-mallinnuksessa sovelletut laskentaparametrit.	19
Kuva 9. Välkkeen teoreettinen määrä tunteina vuodessa (auringonpaistehavaintoja ei ole huomioitu) Huso-Pöylän 8 voimalan toteutusvaihtoehdolla. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m.	21
Kuva 10. Välkkeen realistinen määrä tunteina vuodessa (auringonpaistehavainnot otettu huomioon) Huso-Pöylän 8 voimalan toteutusvaihtoehdolla. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m.	22
Taulukko 7. Mallinnusten mukaiset välkemäärät reseptoripisteittäin eri tarkasteluissa. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija	

162 m. Reseptoripisteiden koordinaatit on esitetty ETRS-TM35FIN koordinaatistossa.
Tapauksissa, joissa sovellettava raja-arvo ylittyy, teksti on lihavoitu. 23

Kuva 11. Välkkeen teoreettinen määrä tunteina vuodessa (aurionpaistehavaintoja ei ole
huomioitu) kun puuston vähentävä vaikutus on huomioitu. Mallinnus on tehty
tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m. 24

Kuva 12. Välkkeen realistinen määrä tunteina vuodessa (aurionpaistehavainnot otettu
huomioon) kun puuston vähentävä vaikutus on huomioitu. Mallinnus on tehty
tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m. 25

Taulukko 8. Mallinnusten mukaiset välkemäärät reseptoripisteittäin välkkeen teoreettiselle
maksimimäärälle ja realistisille määrälle puuston vähentävä vaikutus huomioiden.
Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija
162 m. Reseptoripisteiden koordinaatit on esitetty ETRS-TM35FIN koordinaatistossa.
Tapauksissa, joissa sovellettava raja-arvo ylittyy, teksti on lihavoitu. 26

Yhteenveto

CPC Finland Oy suunnittelee Paimion ja Salon kunnan alueilla sijaitsevalle Huso-Pöylän alueelle tuulivoimapuistoa, joka käsittäisi yhteensä 8 yksikköteholtaan 5,6 MW:n tuulivoimalaitosta. Tässä raportissa käsitellään melun leviämistä alueen ympäristöön äänen etenemislaskentaa hyödyntäen sekä lapojen aiheuttamaa varjon välkettä. Melulaskennan vertailuarvoina käytetään tuulivoimameluasetuksen 1107/2015 ohjearvoja ja melumallinnusohjeena käytetään ympäristöministeriön ohjetta YM OH 2/2014. Suomessa ei ole raja-arvoja koskien tuulivoimaloista aiheutuvaa välkevaikutusta tai olemassa olevia suosituksia sen mallintamisesta. Ympäristöhallinnon ohjeen (Ympäristöministeriö 2016) mukaan Suomessa välkevaikutusten arvioinnissa on suositeltavaa käyttää apuna muiden maiden suosituksia.

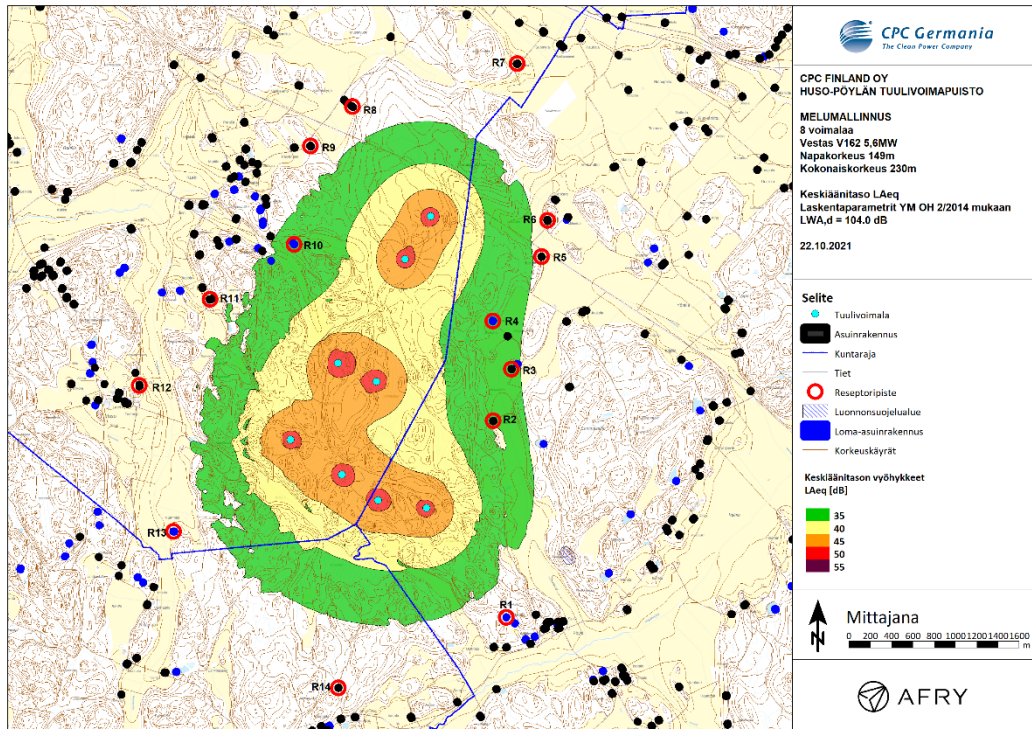
Selvitys tehtiin hankkeen kaavan poikkeamishakemusta varten.

Meluselvitys

ISO 9613-2 melumallinnuksella toteutetun ylärajalaskennan mukaan 8 voimalan hankkevaihtoehdoilla lasketut ulkomelutasot eivät ylitä VNa 1107/2015 säädettyjä tuulivoimamelun keskiäänitason LAeq ohjearvoja lähimpien asuin- tai lomarakennuksen piha-alueilla hankealueen ympärillä.

Pientaajuisen melun erillislaskennan perusteella sisätilan toimenpiderajat alittuvat. Suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus olisi noin 4 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Pientaajuisen melun laskennassa on nyt hyödynnetty uusia suomalaisten pientalojen mukaisia ilmaäänieristävyyden tilastollisia arvoja vuoden 2017 mittaus Hankkeen tuloksista.

Rakentamisen jälkeen meluvaikutuksia voidaan seurata mittauksin, joiden avulla voidaan luotettavasti todeta melun tasot ja luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin tasoihin ja tuulivoimamelun ohjearvoihin.



Välkemallinnus

Välkemallinnuksen mukaan hankealueen läheisyydessä välke on huomattavaa tarkastellulla sijoitussuunnitelmalla, voimalatyypillä ja napakorkeudella. Teoreettisessa maksimitilanteessa välkeraja ylittyy 17 reseptoripisteessä sekä 5 asuin- ja 6 lomarakennuksessa, joita ei tässä selvityksessä ollut määritelty reseptoripisteiksi. Realistisessa tilanteessa vuosittainen 8 tunnin välkesuositus ylittyy 13 reseptoripisteessä sekä 1 asuin- ja 3 lomarakennuksessa, jota ei tässä selvityksessä ollut määritelty reseptoripisteiksi.

Hankkeesta syntyvän välkkeen vaikutukset lähialueen asutuskohteisiin arvioidaan huomattavaksi mallinnusepävarmuuksien puitteissa. Toimia välkevaikutuksen vähentämiseksi suositellaan. Välkkeenestojärjestelmän avulla Huso-Pöylän välkevaikutukset voidaan rajoittaa niin, että ne pysyvät suositusten puitteissa. Varjon vilkuntaa voidaan tarvittaessa ehkäistä pysäyttämällä välkettä aiheuttavat tuulivoimalat kriittiseen aikaan.

Lähin tuulivoimahanke on noin 7 kilometrin päässä Huso-Pöylästä, joten välkkeen osalta hankkeella ei ole etäisyydestä johtuen yhteisvaikutuksia muiden hankkeiden kanssa.



1 Johdanto

CPC Finland Oy suunnittelee tuulipuistoa Paimion ja Salon kunnan alueilla sijaitsevalle Huso-Pöylän alueelle. Tässä raportissa käsitellään 8 voimalanhankevaihtoehtoon aiheuttaman melun laskennallista leviämistä alueen ympäristöön sekä tuulivoimapuiston varjon välkevaikutusta valituissa reseptoripisteissä. Raportti on valmisteltu kaavan poikkeamishakemusta varten.

2 Melumallinnus

2.1 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 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 logaritmistä 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. (ISO 226:2003)

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, minkä symboli L_{eq} ja A-taajuuspainotettuna L_{Aeq} , tarkoittaa samanarvoista jatkuvaa äänitasoa kuin vastaavan äänienergian omaava vaihteleva äänitaso.

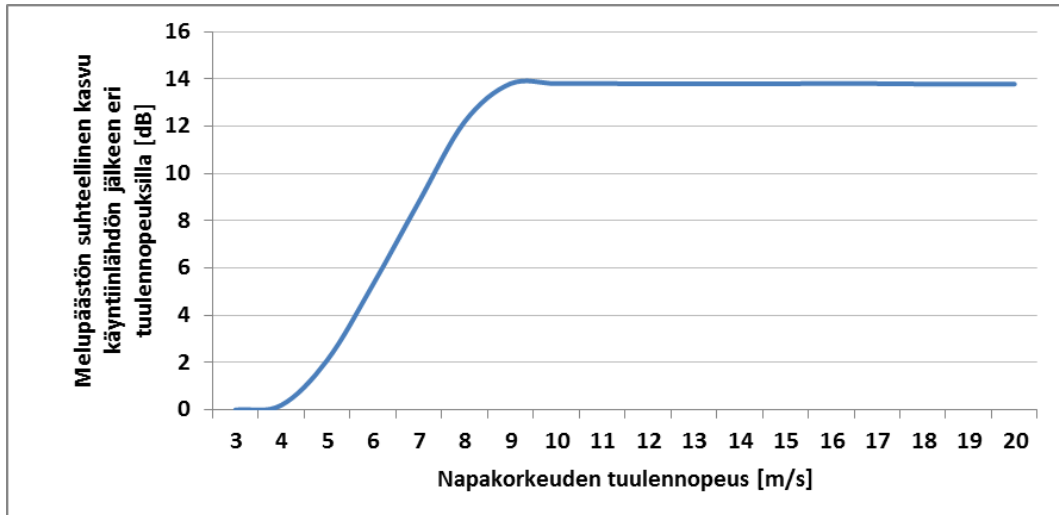
2.2 Tuulivoimamelu

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmasta sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien aiheuttamasta melusta johon kuuluvat muun muassa vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät. Tuulivoimaloiden aerodynaaminen melu on hallitsevin äänilähde, joka kattaa noin 90 prosenttia kokonaisäänienergiasta lapojen suuren vaikutuspinta-alan vuoksi (Gupta, M. Madsen, K., 2019). Tuulivoimamelu on A-taajuusjakaumaltaan painottunut tyypillisesti 200–1000 Hz:n väliin.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuoella suhteessa voimalan torniin. Katsottaessa aerodynaamisen melun suuntaavuutta ylhäältä käsin, on siivistön äänitaso sivutuulen puolelta noin 4–6 dB alhaisempi kuin tuulen ylä- ja alapuolilla samalla etäisyydellä (Oerlemans, S. Schepers, J.G., 2009).



Vaihtuvanopeuksisen tuulivoimalan äänipäästö on suoraan verrannollinen tuulennopeuteen siten, että alhaisilla tuulilla eli hitaalla roottorin pyörimisnopeudella ja lähellä käyntiäntähtönopeutta, lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin voimalan nimellisteholla, jossa roottori saavuttaa suurimman kierrosnopeuden (ks. kuva 1).



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

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

Taustamelu esim. liikennemelu ja teollisuusmelu sekä tuulen tuottama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänät ovat ajallisesti ja tasoltaan vaihtelevia. Tuulikohina esim. puustossa on taajuuskaistaltaan laajakaistaista ja tuulensuunnasta, puulajeista, vuodenajasta ja tuulennopeudesta riippuva. Puustokohinan äänitaso mittauskorkeudella 1.5m voi nousta kuitenkin tuulennopeuden mukaan kokemuseräisesti jopa yli 60 dB:n tasolle (Halstead, D. Tam, N., 2019).

Ilmakehän pystysuuntaisen stabiilisuuden ja ilmavirran turbulenssin vaihtelut eri vuorokauden aikoina voivat vaikuttaa tuulisuuden tasoon eri korkeuksilla (Bolin, K, 2012.). Ilmakehän neutraalin stabiilisuuden vallitessa 8 m/s tuulennopeus 10 metrin korkeudella vastaa noin 12,1 m/s modernin voimalan napakorkeudella 149 m (G.P. van den Berg, 2006).

Moderneissa tuulivoimalaitoksissa melun lähtöäänitasa 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. Modernit voimalamallit sisältävät usein myös siiven jättöreunan sahalaudoituksen, joka vähentää melupäästöä nimellisteholla tällä hetkellä noin 2-3 dB ja tulevaisuudessa vieläkin enemmän serraatioiden tuotekehityksen johdosta (Arce León, C., 2017).

2.3 Vertailuohjeavot

Valtioneuvosto asetus 1107/2015 tuulivoimamelulle tuli voimaan 1.9.2015. Oheisessa taulukossa on esitetty uuden asetuksen mukaiset keskiäänitason ohjeavot LAeq tuulivoimamelulle päivällä ja yöllä.

Taulukko 1. Tuulivoimamelun ohjeavot, LAeq

Tuulivoimamelun ohjeavot	LAeq päiväajalle (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 saatua mittaukseen lisätään 5 dB ennen sen vertaamista asetuksen 3 §:ssä säädettyihin arvoihin.

Tuulivoimarakentamisen ulkomelutason ohjeavot 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 ohjeavon mukaisena. Vastaavasti kunkin vuorokauden yöajan osalta 9 tunnin (klo 22–7) keskimääräisen ulkomelutason (LAeq) tulee pysyä annetun yöajan ohjeavon mukaisena. (Ympäristöministeriö, 2016).

Melumallinnuksessa ei erotella päivä- tai yöajan tilanteita, vaan melun leviämislaskennan tulosvertailu tehdään vain yöajan alempaan 40 dB:n ohjeavoon nähden.

2.4 Äänitason toimenpiderajat sisätiloissa

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

Taulukko 2. Melutason toimenpiderajat sisätiloissa (STM 545/2015).

Huoneisto ja huonetila	Päivällä klo 07–22	Yöllä klo 22–07
Asuinhuoneistot, palvelutalot, vanhainkodit, lasten päivähoitopaikat ja vastaavat tilat		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB (25 dB)
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB
Kokoontumis- ja opetushuoneistot		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35 dB	-
muut kokoontumistilat	40 dB	-
Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)		
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 $L_{Aeq,1h}$ (klo 22–7) mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Taulukko 3. Pientaajuisten sisämelun tunnin keskiäänitason $L_{eq,1h}$ toimenpiderajat taajuvälillä 20-200Hz nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa yöaikaan klo 22-07.

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

2.5 Lähtötiedot ja arviointimenetelmät

Laskennan lähtötiedot on koottu tilaajan lähettämästä aineistosta, uusimmasta Maanmittauslaitoksen digitaaliskartta-aineistosta, sekä kirjallisuudesta.

2.6 Digitaaliskartta-aineisto

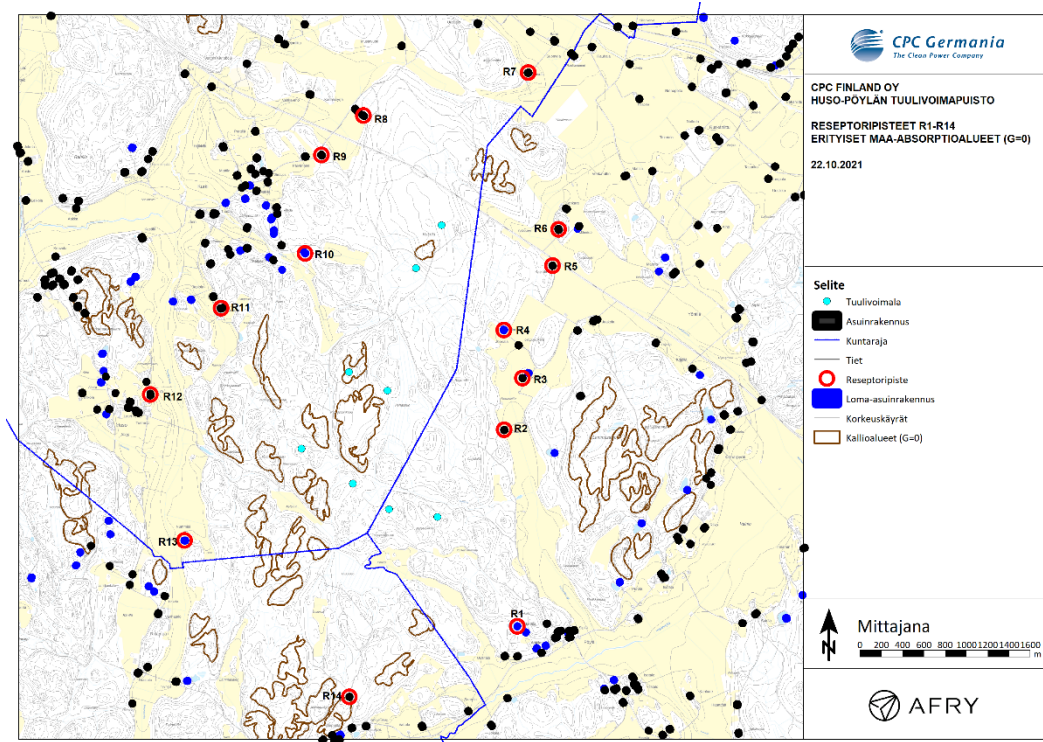
Melumallinnus on suoritettu digitaaliskartalle, jonka topografian korkeusväli on enintään 0,5 m. Kartassa on kuvattu topografian ja tuulivoimaloiden paikkatiedon lisäksi rakennusten paikkatiedot sekä niiden käyttötarkoitus siten kuin se on esitetty Maanmittauslaitoksen aineistossa (ladattu kesäkuussa 2020). Lisäksi kartassa esitetään teiden paikkatiedot sekä vesirajat, joissa käytetään akustisesti kovan maanpinnan absorptioarvoja. Maa-alueille akustinen kovuuskerroin on ohjeen mukaisesti 0,4 ja vesialueille 0.

2.7 Mallinnetut tuulivoimalamallit

Mallinnus suoritettiin yhdelle voimalamallille Vestas V162 5,6MW, jonka äänipäästön takuuarvoksi on esitetty 104,0 dB, napakorkeudeksi 149 m ja kokonaiskorkeudeksi 230 m. Takuuarvo perustuu voimalamallin tyyppisertifiointiin (Danish Energy Agency, IECRE, 2021). Mallinnuksen äänipäästön lähtötietoina on käytetty voimalamallin taajuusjakaamaa 1/3 oktaaveittain taajuvälillä 6,3 Hz – 10 000 Hz.

2.8 Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden sijainnit

Alla olevassa kuvassa on esitetty mallinnettujen tuulivoimaloiden sekä lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sekä asuin- tai lomarakennusten sijainnit. Reseptoripisteiden kohdalla laskettiin erikseen tulokset melumallinnuskartan lisäksi. Liitteessä 1 on esitetty reseptorisijainteja vastaavat koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa sekä alla oleva kuva myös suurennettuna. Liitteen taulukossa voimaloiden numerointi on poikkeava, sillä WT 3 voimala on poistettu suunnitelmasta osayleiskaavan viimeistelyvaiheessa. Melumallinnuksessa voimaloiden kokonaislukumäärä on 8 voimalaa.



Kuva 2. Tuulivoimaloiden ja lähimpien reseptoripisteiden R1-R14 sijainnit

2.9 Melumallinnuksen laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon havainnollistettiin käyttäen tietokoneavusteista melulas-kentaohjelmistoa SoundPlan v8.1, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digi-taaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi vastaanottopisteessä raytracing -menetelmällä. Mallinnusalgoritmina käytettiin ISO 9613-2, jonka parametrusointi on ohjeistettu Ympä-ristöministeriön melumallinnusohjeessa kappaleessa 4.1.

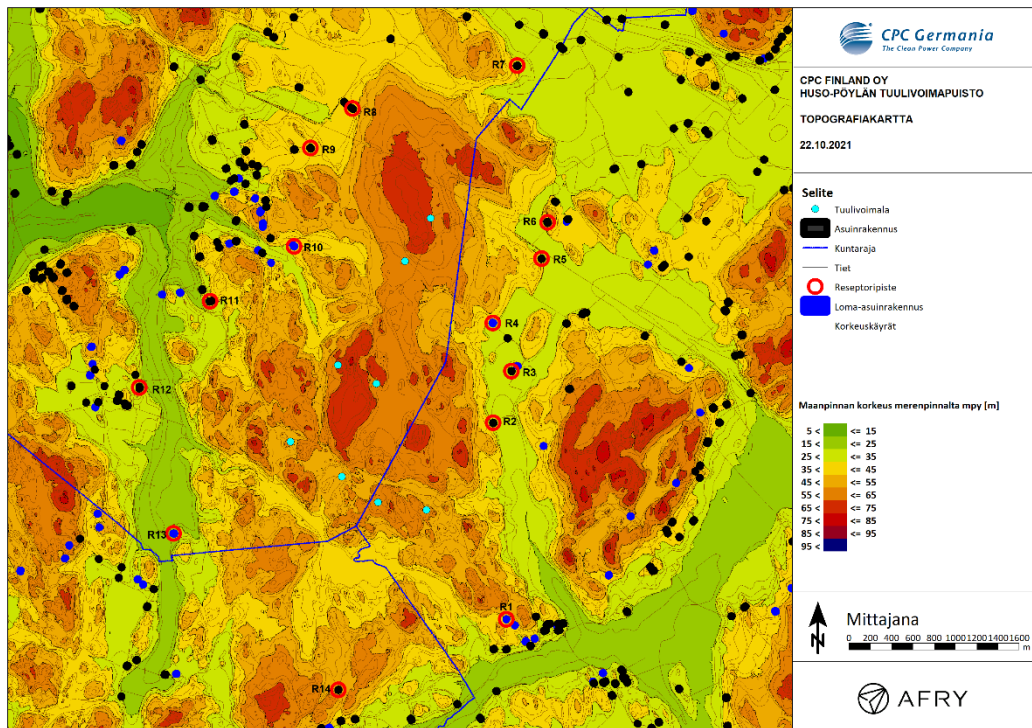
Mallissa otetaan huomioon kunkin tuulivoimalan äänipäästö 1/3 oktaavikaistan resoluu-tiolla, äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot sekä maanpin-nan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Rakennusten aiheuttamaa äänen var-jostusvaikutusta ei laskennassa huomioida eli melun leviäminen lasketaan nk. vapaa-kenttään. Melumallinnus piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein vakioituilla laskenta-parametreilla, jotka on esitetty taulukossa 4 ja jotka poikkeavat esim. tieliikennemelun vastaavista.

Kaikkiaan tuulivoimamelun laskennan parametrit ovat konservatiivisempia kuin teolli-suus- tai tieliikennemelussa yleisesti käytetyt melun leviämislaskennan parametrit: (Ympäristöministeriö, 2007).

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 LWA/LWA,d joka vastaa voimalan tuottamaa suurinta äänipäästöä lisättynä ää-nipäästöarvon epävarmuudella. Tieliikennemelussa se on vuotuinen keskivuoro-kausiliikenne KVL ilman epävarmuuksia. Teollisuusmelussa voidaan hyödyntää

äänipäästöissä mm. laitteiden toiminta-aikojen aikakorjauksia, joita ei tuulivoimamelulaskennassa voi hyödyntää.

Ohjeen mukaan yli 60 m korkeuserot tuulivoimalan ja altistuvan kohteen maanpinnan korkeuden välillä 3 km säteellä voimalasta katsotaan sellaiseksi, että sillä olisi vaikutusta laskentaparametreihin (+2 dB lisäys äänipäästöön). Tässä tapauksessa lisäystä ei tehdä, sillä 60 m korkeuserovaatimus ei täyty yhdenkään tuulivoimalan ja reseptoripisteen välillä 3km:iin asti (ks. alla oleva kuva).



Kuva 3. Maaston topografian korkeusvaihtelu hankealueella ja sen ympäristössä.

Melumallinnuksessa käytetyt laskentaparametrit on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 4. Laskennan parametrit

Lähtötieto	Parametrit
Laskentalogiikka	ISO 9613-2 ylärajatarkastelu (YM OH 2/2014 kpl 4.1)
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Teollisuusmelun laskentamalli ISO 9613-2. Pientaajuisen melun etenemisvaimennus, YM OH 2/2014 kpl 4.1.9 sekä suomalaisten pientalojen äänitasoeron 90% persentiili (Keränen et al., 2017)
Topografiakartta	Maanmittauslaitos, laserkeilausaineisto (© MML, 2019), topografian pystyresoluutiona on 0.5m. Laskentaohjelmassa muodostetaan maanpinta erillisen kolmioverkko-laskennan 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 4.1.4)

Lähtötieto	Parametrit
Tuulennopeus	n.12,1 m/s 149m:n korkeudella (napakorkeus), myötätuuli joka suuntaan, joka vastaa 8 m/s 10m:n referenssikorkeudella (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Äänilähde	Pistelähde (YM OH 2/2014 kpl 4.1.4)
Äänipäästön tunnusarvo	ks. kpl 2.7
Mallinnuksen äänipäästö	1/3 oktaaveittain 6.3 Hz – 10 000 Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.1)
Topografiakorjaus	Ei korjausta, ks. kappale 2.9 kuva 3. (YM OH 2/2014 kpl 4.1.6)
Laskentaverkko	Laskentapiste viisi kertaa viiden metrin (5x5m) välein laskentaverkolla neljän metrin (4m) korkeudella seuraten digitaalkartan 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	35dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB ja 55 dB

2.10 Pientaajuisen melun laskenta

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu lasketaan erillisenä taulukkolaskentana ohjeen mukaisilla laskentaparametreilla. Pientaajuisen melun leviämismuutuminen laskettiin käyttäen voimalan painottamattomia äänipäästön tunnusarvon 1/3 oktaavikaistatietoja LW taajuusvälillä 20-200Hz (YM OH 2/2014 kpl 4.1.9)

Pientaajuisen melun leviämislaskennassa on lisäksi hyödynnetty uusinta suomalaista tutkimustietoa pientalojen ilmaäänieristävyyden arvoista, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017). Pientalojen ilmaäänieristävyyden tutkimuksen tulokset on julkaistu julkisivurakenteiden äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatin 90 % persentiiliarvona DL90 sekä DL84, joista tässä laskennassa hyödynnetään korkeampaa arvoa DL90 (käytännössä näistä heikompi äänieristystä). Suomessa voimassa olevien asetusten perusteella laskentaa ei voi ulottaa infraäänitaajuuksille asti vertailuarvon puuttuessa. YM:n ohjeen mukainen taajuusalue on 20-200Hz.

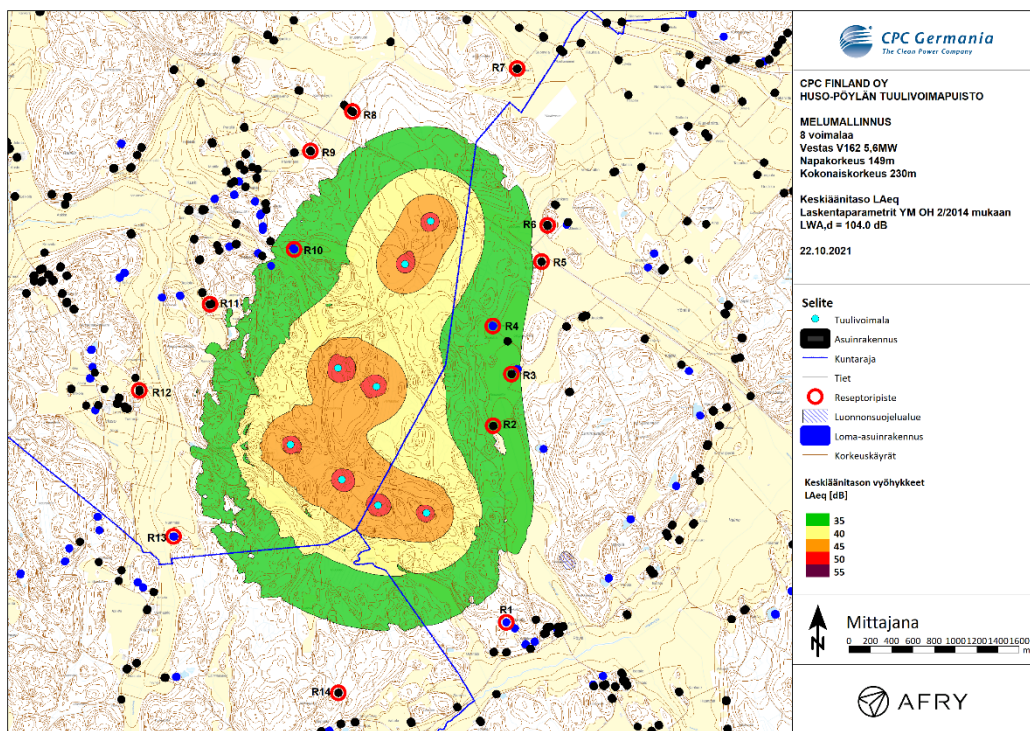
Lähtökohtaisesti nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa ekvivalenttitulosten 30 dB yöaikaan tai erityistapauksissa 25 dB yöaikaan oletetaan alittuvan, mikäli melumallinnuksen tulos ulkona sekä pientaajuisen melun tulokset alittavat VNa 1107 sekä STM:n asumisterveysasetuksen toimenpiderajat. Tätä tukevat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

2.11 Mallinnustulokset

Digitaaliselle topografiakartalle laskettu melun leviäminen on esitetty alla olevassa melukartassa sekä suurempana kuvana liitteessä 3. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmille altistuville kohteille on esitetty kaaviokuvan avulla kappaleessa 2.13 sekä yksityiskohtaisemmin liitteessä 4.

2.12 Ulkomelumallinnus, 8 voimalaa

Melumallinnuksen LAeq keskiäänitason tulokset on laskettu 35 dB:n vyöhykkeelle asti. Alla olevassa kuvassa on esitetty melun leviämiskartta keskiäänitasolla LAeq melu-vyöhykkeineen hankevaihtoehdolle 8 voimalaa. Meluvyöhykkeet on esitetty 5 dB:n väleillä siten, että vaaleanvihreän alueen raja vastaa LAeq 35 dB:n tasoa ja keltaisen alueen raja 40 dB:n tasoa.



Kuva 4. Melumallinnuskartta, 8 voimalaa

Melun leviämislaskennan perusteella 40 dB:n melukäyrä ulkona ei ulotu lähimpiin asuin- ja loma-asuinrakennuksiin asti. Reseptoristelaskennan perusteella (ks. taulukko 5), suurin keskiäänitason LAeq tulos laskennan mukaan reseptoripisteessä R4, jonka käyttötarkoitukseksi on merkitty loma-asuinrakennus, on 36,9 dB, joka alittaa yöajan alimman ohjearvorajan 40 dB ulkona.

Alla olevassa taulukossa on esitetty vielä yksittäisten reseptoripisteiden laskentatulokset ulkomelun osalta.

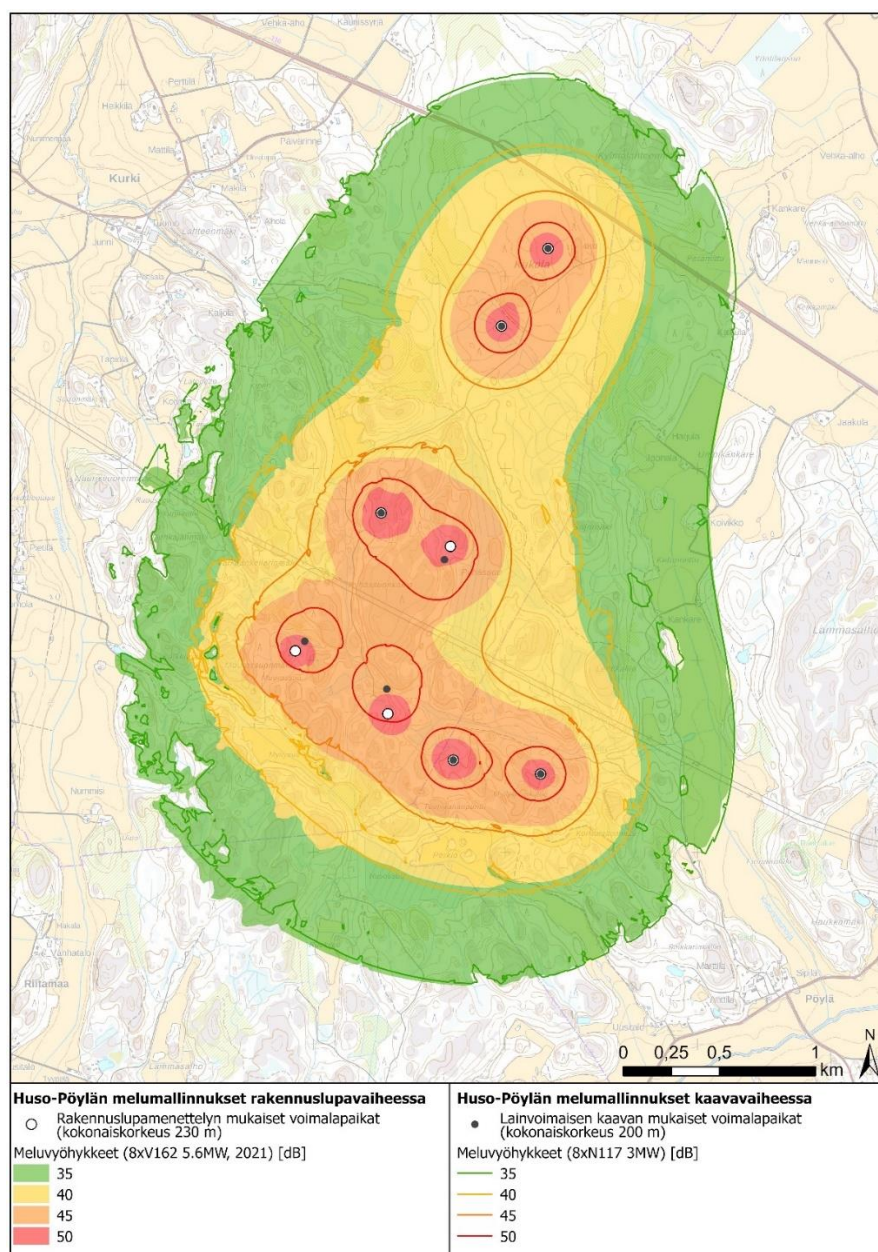
Taulukko 5. Melumallinnuksen tulokset lähimpien altistuvien kohteiden edessä ulkona reseptoripisteissä R1-R14.

Reseptoripiste			Reseptoripiste		
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset Keskiäänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus	Tulokset Keskiäänitaso LAeq
R1	loma-asuinrakennus	31,5	R8	asuinrakennus	32,4
R2	asuinrakennus	36,4	R9	asuinrakennus	32,5
R3	asuinrakennus	35,5	R10	loma-asuinrakennus	36,3
R4	loma-asuinrakennus	36,9	R11	asuinrakennus	34,0

Reseptoripiste			Tulokset	Reseptoripiste			Tulokset
Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus		Keskiaänitaso LAeq	Nimi	Rakennuksen käyttötarkoitus		Keskiaänitaso LAeq
R5	asuinrakennus		34,2	R12	asuinrakennus		31,9
R6	asuinrakennus		33,8	R13	loma-asuinrakennus		32,6
R7	asuinrakennus		28,8	R14	asuinrakennus		30,8

2.13 Vertailu kaavoitusajan tilanteeseen

Alla on esitetty mallinnusten vertailukuva kaavoitusajan tilanteeseen nähden.

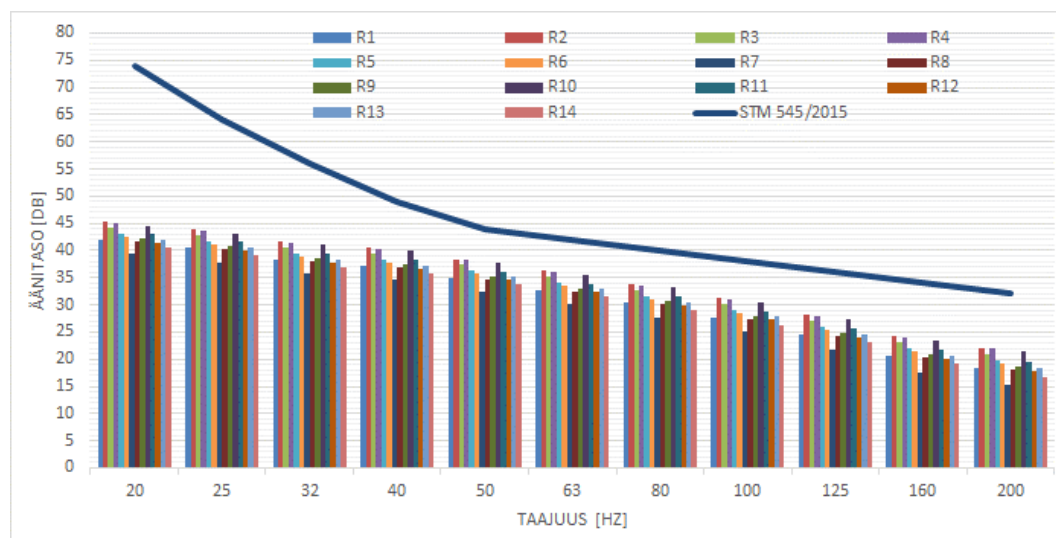


Kuva 5. Vertailukuva kaavoitusajan tilanteeseen nähden.

Vertailu on tehty aina 35 dB:iin asti ja kuvasta nähdään että pääosin tilanne pysyy joko samana tai hieman paranee etenkin korkeamman äänitason vyöhykkeissä. Syy muutokseen on voimalamallin äänipäästön taajuusjakaumissa, napakorkeuden eroissa sekä sijoittelun eroavaisuuksissa.

2.14 Pientaajuinen melu rakennusten sisätiloissa

Tuulivoimalaitosten pientaajuinen melu laskettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja taajuusvälillä 20-200Hz. Laskenta suoritettiin YM ohjeen laskentaohjeen mukaisesti käyttäen suomalaistutkimuksen antamia pientalojen julkisivurakenteiden äänitasoeron estimaattiarvoja DL90, jotka ovat aiempaa DSO 1284 ohjetta alhaisempia (Keränen et al., 2017).



Kuva 6. Pientaajuisen melun laskentatulokset lähimmissä reseptoripisteissä R1-R14

Laskennan mukaan sisätilan toimenpiderajat alittuvat huolimatta laskennassa käytetystä varsin konservatiivisesta rakennusten julkisivun äänitasoeron vähimmäisarvosta DL90. Ulkomelutulosten perusteella voidaan todeta että suurin ilmaäänieristävyyden vaatimus olisi noin 4 dB taajuusalueella 100 Hz, joka voidaan saavuttaa suhteellisen kevyellä rakennuksen vaipan rakenteella. Esim. äänitasoeron estimaatti DL90 tällä taajuudella on 11 dB.

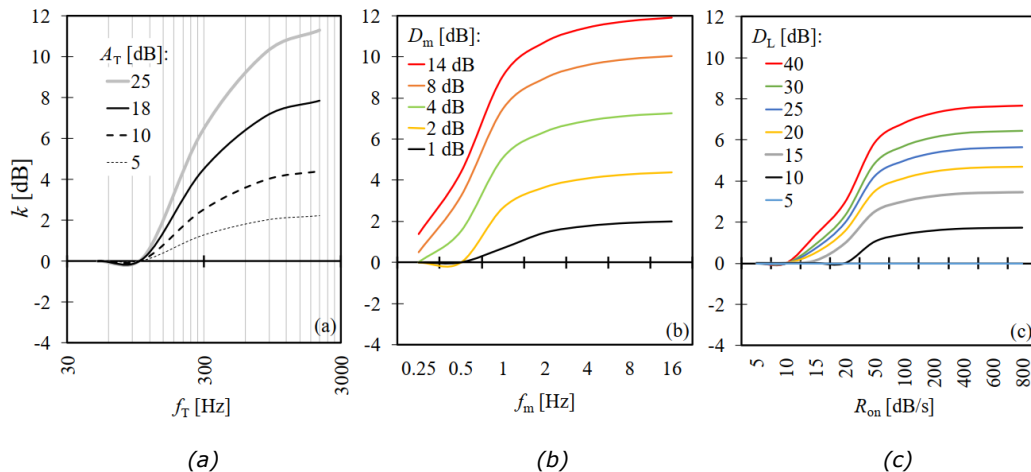
2.15 Vaikutusten ehkäiseminen ja lieventäminen

Meluvaikutuksien laajuuteen voidaan vaikuttaa tuulivoimalamallin sekä siipityypin valinnalla. Uusimmat ja tulevaisuuden tuulivoimaloiden siipimallit sisältävät mm. jättöreunan sahalaoidituksen, jolla voidaan vähentää nimellistehon taattua melupäästöä n. 3-5 dB voimalan tuottamaa sähkötehoa vähentämättä (Arce León, 2017).

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 meluoptimointiajomoodin käytölle tässä hankkeessa ei kuitenkaan ole.

2.16 Vaikutusten seuranta

Rakentamisen jälkeisiä meluvaikutuksia voidaan tarvittaessa seurata mittauksin, joista ohjeistetaan myös ympäristöministeriön oppaissa YM OH 3-4/2014. Ohjeen julkaisemisen jälkeen on kuitenkin saatu runsaasti uutta tietoa koskien mm. sanktiomenettelyjä esim. Anojanssi -tutkimushankkeesta (Keränen et al., 2019). Mahdollisen valvonnan yhteydessä tehtävien melumittaustulosten analyyseissa suositellaan hyödynnettävän ko. tuloksia (ks. kuvat 6 (a)-(c) alla).



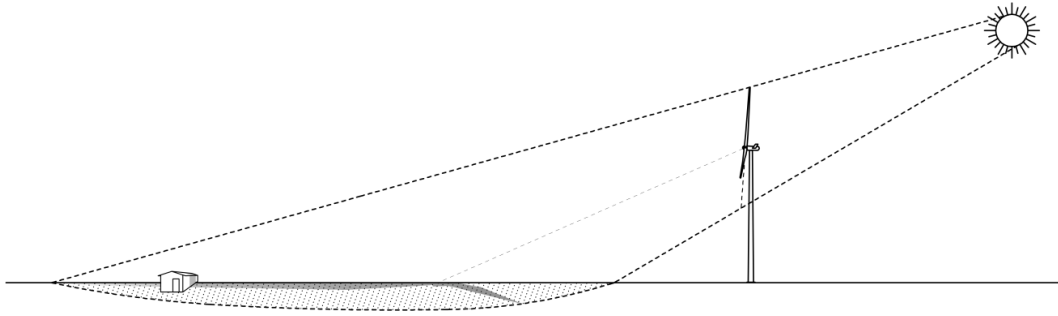
Kuva 7. (a) Kapeakaistamelun sanktion k riippuvuus ääneksen taajuudesta f_T ja ääneksen erottuvuudesta A_T . (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta f_m ja modulaatiosyvyydestä D_m . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta R_{on} ja taasoerosta D_L (Keränen et al., 2019). Suomen lainsäädäntö ei kuitenkaan tunne sykinän sanktiomenettelyä.

YM ohjeen 4/2014 mukaan suoritettujen mittaustulosten arvoja voidaan vertailla mallinnuksen tuloksiin ilman mittaustulosten epävarmuustarkastelua (Ympäristöministeriö, 2014). On kuitenkin huomioitava, että mittaustulosten suora vertailu tuulivoimamelun ohjearvoihin on tehtävä YM:n ohjeen 1/1995 mukaisesti huomioimalla mittauksen epävarmuus (Ympäristöministeriö, 1995, kpl 6.2).

3 Välkemallinnus

3.1 Välke

Tuulivoimala voi aiheuttaa lähiympäristöönsä välkettä, kun auringon valo osuu käynnissä olevan tuulivoimalan pyöriviin lapoihin. Tällöin lapojen pyöriminen aiheuttaa liikuvan varjon, joka voi ulottua jopa 1–3 kilometrin päähän. Vilkkun kanta ja kesto riippuvat siitä, missä kulmassa auringon valo osuu lapoihin, lapojen pituudesta ja paksuudesta, tornin korkeudesta, maaston muodoista, ajankohdasta sekä näkyvyyttä vähentävistä tekijöistä kuten kasvillisuudesta ja pilvisyydestä. Tuulivoimapuistojen lähiympäristöön leviävä varjon vilkunta tapahtuu usein juuri auringonnousun jälkeen tai auringonlaskua ennen, jolloin voimaloiden varjot ylettyvät pisimmälle. Muulloin varjot jäävät lyhyiksi voimaloiden läheisyyteen. Tuulivoimalan aiheuttama välke saattaa aiheuttaa häiriötä esimerkiksi voimaloiden läheisyydessä asuville ihmisille. Ilmiötä on havainnollistettu seuraavassa kuvassa (Kuva 7).



Kuva 8. Havainnollistus välkkeestä. Tuulivoimala voi aiheuttaa lähiympäristöönsä varjon vilkun-
 taa, kun auringon valo paistaa tuulivoimalan takaa ja osuu käynnissä olevan tuulivoimalan pyöri-
 viin lapoihin.

3.1.1 Sovellettavat raja- ja ohjearvot

Suomessa ei ole raja-arvoja koskien tuulivoimaloista aiheutuvaa välkevaikutusta tai ole-
 massa olevia suosituksia sen mallintamisesta. Ympäristöhallinnon ohjeen (Ympäristömi-
 nisteriö 2016) mukaan Suomessa välkevaikutusten arvioinnissa on suositeltavaa käyt-
 tää apuna muiden maiden suosituksia. Samassa oppaassa mainitaan asutuskohteiden
 lisäksi muut häiriintyvät kohteet, mutta näidenkään välkemääriä ei käsitellä tarkemmin,
 vaan viitataan muiden maiden ohjeistuksiin. Välkevaikutusten arvioinnin taustaksi esi-
 tellään seuraavassa Saksassa, Ruotsissa ja Tanskassa käytössä olevia raja-arvoja, oh-
 jeita ja suosituksia.

Ohjeistus Saksassa

Saksassa on annettu yksityiskohtaiset ohjeet välkevaikutuksen raja-arvoista ja mallin-
 nuksesta (WEA-Shcattenwurf-Hinweise 2002). Saksan ohjeistuksessa annetaan kolme
 erilaista raja-arvoa suurimmalle sallitulle tuulipuistosta syntyvälle välkevaikutukselle:

- korkeintaan 30 tuntia vuodessa niin sanotussa teoreettisessa maksimitilan-
 teessa
- korkeintaan 30 minuuttia päivässä niin sanotussa teoreettisessa maksimitilan-
 teessa
- mikäli voimalan automaattinen säätely on käytössä, niin sanottu realistinen väl-
 kevaikutus tulee rajoittaa korkeintaan kahdeksaan tuntiin vuodessa.

Ohjeistus Ruotsissa

Ruotsissa ei ole virallisia raja-arvoja välkevaikutukselle, vaan ainoastaan suositukset
 (Vindlov 2015), jotka perustuvat Saksassa olevaan ohjeistukseen. Ruotsin suositusten
 mukaan niin sanotussa teoreettisessa maksimitilanteessa välkevaikutusta saa syntyä
 korkeintaan 30 tuntia vuodessa. Niin sanottu realistinen välkevaikutus saa suositusten
 mukaan olla asutuskohteissa korkeintaan 8 tuntia vuodessa ja 30 minuuttia päivässä.
 Viimeaikaisten oikeuden päätösten mukaan Ruotsissa 8 tunnin vuosittainen realistisen
 välkevaikutuksen ohje-arvo on muodostunut oikeuden päätöksissä sitovaksi.

Ohjeistus Tanskassa

Tanskassa on suositus (Danish Government), että niin sanotussa realistisessa tilan-
 teessa välkevaikutusta saa syntyä korkeintaan 10 tuntia vuodessa.

3.2 Arviointimenetelmät ja arvioinnin epävarmuudet

3.2.1 Arviointimenetelmät

Tuulivoimapuiston aiheuttaman välkkeen vaikutuksia arvioitiin laskennallisin menetelmin käyttäen tähän tarkoitukseen kehitettyä windPRO 3.4 -ohjelmiston SHADOW-mallinnusmoduulia. Tuulivoimapuistoa ja sovellettuja tuulivoimaloita koskevat parametrit olivat:

- 8 voimalan sijoitussuunnitelma (Liite 1)
- Tuulivoimaloiden napakorkeus on 149 metriä ja roottorin halkaisija on 162 metriä (voimaloiden kokonaiskorkeus tällöin 230 metriä)

Laskentamalli huomioi hankealueen sijainnin (auringonpaistekulma ja päivittäinen valoisa aika), tuulivoimaloiden sijoitussuunnitelman, voimaloiden aiheuttaman välkkeen yhteisvaikutuksen, tuulivoimaloiden mittasuhteet (napakorkeus, roottorin halkaisija ja lapaprofiili), maaston korkeuskäyrät sekä valitut laskentaparametrit (Taulukko 6).

Taulukko 6. WindPRO-ohjelmiston SHADOW-mallinnuksessa sovelletut laskentaparametrit.

Laskennan aikaresoluutio	1 minuutti
Laskentasäde tuulivoimalan ympärillä	Etäisyys, jolla vähintään 20 prosenttia auringosta on tuulivoimalan lavan peittämä huomioidulla minimikulmalla. Laskentasäde tarkasteltavilla Huso-Pöylän voimaloilla on 1902 metriä .
Auringon korkeus merenpinnasta – huomioitu minimikulma	3 astetta (Mikäli auringonpaistekulma on alle 3 astetta, auringon valon oletetaan siroavan ilmakehässä niin paljon, ettei se aiheuta havaittavia varjoja.)
Maaston korkeusvaihteluiden vaikutus näkemiseen	Huomioitu Välkettä ei voi mallinnuksessa aiheutua havaintopisteeseen, mikäli maaston korkeusvaihtelut estäisivät näköyhteyden tuulivoimalaan.
Puuston vaikutus näkemiseen	Mallinnus on tehty sekä ilman puustoa , että puusto huomioiden
Havaintokorkeus	1.5 metriä

Määritellyillä laskentaparametreilla sekä oletuksella, että voimalan roottorin oletetaan pyörivän jatkuvasti ja olevan kohtisuorassa auringonsäteitä vastaan, saadaan arvio aiheutuvasta välkkeen teoreettisesta maksimimäärästä.

Laskentamenetelmä ei automaattisesti huomioi välkkeeseen vaikuttavia ylimääräisiä tekijöitä, kuten pilvisyyttä. Jotta saataisiin parempi kuva odotettavissa olevasta välkkeen todellisesta määrästä, on laskettu myös realistinen arvio välkkeen määrästä. Realistinen arvio ottaa huomioon paikallisen tuulijakauman sekä auringonpaistehavainnot (verrannollinen alueen leveyspiiriin ja pilvisyyshavaintoihin). Tuulennopeusjakaumasta saadaan laskettua osuus ajasta, jolloin voimala ei pyöri, koska tuulennopeus on joko liian alhainen tai liian korkea suhteessa voimalatyyppin käyntiväliin. Paikallinen

tuulensuuntajakauma sen sijaan vaikuttaa roottorin suuntaukseen ja edelleen mallinnuksen laskentasäteeseen valittujen laskentaparametrien mukaisesti (Taulukko 6). Tuulijakauma on saatu hankekehittäjän suorittamista paikanpäällisistä tuulimittauksista, jotka on korjattu edustamaan pitkän aikavälin olosuhteita. Mallinnuksessa käytetyt auringonpaistetilastot on saatu Jokioisten sääaseman auringonpaistehavainnoista (kuukausitason keskiarvot) vuosilta 1981–2010.

Tulosten havainnollistamista varten määritettiin niin kutsuttuja reseptoripisteitä (lähellä tuulivoimaloita sijaitsevia loma- tai asuinrakennuksia), joille laskettiin yksityiskohtaisemmat tulokset. Reseptoripisteiden oletettiin olevan ”kasvihuonetyyppisiä”, jolloin joka suunnasta tuleva välke otetaan huomioon. Reseptoripisteiden leveys on 2 m, korkeus 2 m ja korkeus maanpinnasta 1.5 m. Reseptoripisteitä valittiin hankealueen ympäriltä 27 kappaletta (nimetty A-AB).

Välkemallinnuksen tuloksena saadaan välkkeen esiintymisen määrä ja ajankohta tarkastellulle tuulivoimapuiston sijoitus suunnitelmalle. Mallinnuksen tulokset saadaan karttakuvina sekä reseptoripistekohtaisina numeerisina arvoina.

3.2.2 Arvioinnin epävarmuudet

Välkkeen teoreettista maksimimäärää mallinnettaessa lapojen oletetaan pyörivän jatkuvasti ja roottorin olevan kohtisuorassa aurinkoon nähden aiheuttaen maksimaalisen varjon. Todellisuudessa tuulivoimaloilla on tuulennopeudesta riippuvainen käyntiväli, jolloin liian alhaisilla tai korkeilla tuulennopeuksilla lavat eivät pyöri. Lisäksi roottorin suuntaus määräytyy todellisuudessa havaitun tuulensuunnan perusteella, eikä varjon muodostuminen ole näin ollen aina taattua (lavan on havaitusajasta nähden peitettävä auringosta yli 20 prosenttia, jotta havaittava varjo syntyy). Teoreettinen maksimimäärä edustaa siis selkeästi konservatiivista arviota tuulivoimaloiden aiheuttamasta vilkunnan määrästä.

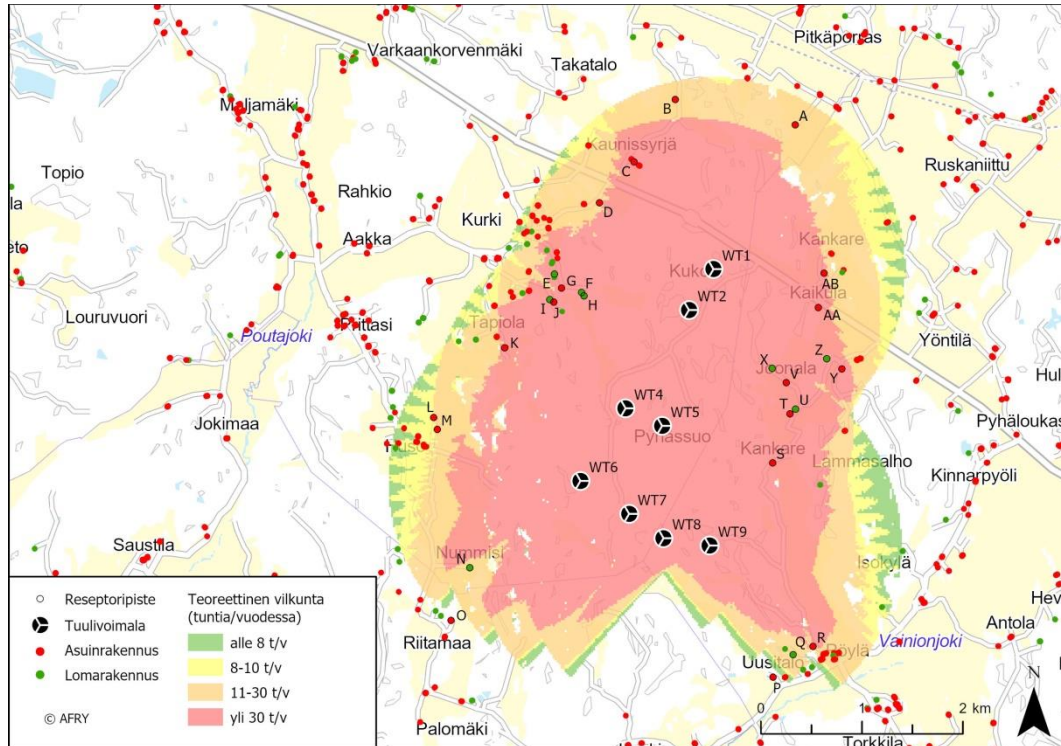
Auringonpaistehavaintojen käyttö lisää hieman epävarmuutta, sillä hankealueen etäisyys Jokioisten sääasemalle on noin 59 kilometriä. Jokioisten sääasema on kuitenkin lähin auringonpaistemittauksia tekevä sääasema, jonka auringonpaisteolosuhteet ovat verrannollisia Salon olosuhteisiin.

Huso-Pöylän tuulipuiston välkevaikutuksia on arvioitu tässä dokumentissa lisäksi puuston välkettä vähentävä vaikutus huomioiden. Puuston vaikutus on huomioitu lisäämällä puuston korkeusaineisto välkemallinnukseen windPRO 3.4 -ohjelmistossa. Puuston korkeusaineisto perustuu CORINE Land Cover 2018 -aineistoon¹. Mallinnusta varten eri metsäluokille asetettiin seuraavat korkeudet: sekametsä 13 metriä ja havumetsä 15 metriä. Puuston mallinnukseen ja vaikutusten arviointiin liittyy epävarmuuksia. Mallinnuksen tuloksiin vaikuttaa käytettävien tausta-aineistojen tarkkuus ja mallintamisessa on tehtävä yleistä liittyen puuston tiheyteen ja korkeuteen. Lisäksi puusto muuntuu jatkuvasti ja nopeallakin aikataululla: metsänkasvu, hakkuut ja myrskytuhot vaikuttavat puustoon ja edelleen välkevaikutusalueiden laajuuteen. Välkevaikutuksia tulee tämän vuoksi aina arvioida myös niin, että puuston välkettä vähentävää vaikutusta ei huomioida.

¹ https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Maan-kaytto_ja_maanpeiteaineistojen_tuottaminen_CORINE_Land_Cover_2018_hankkeessa_ja_Copernicus_Land_aineistojen_validointi_Suomessa (linkki tarkastettu 3.2.2021)

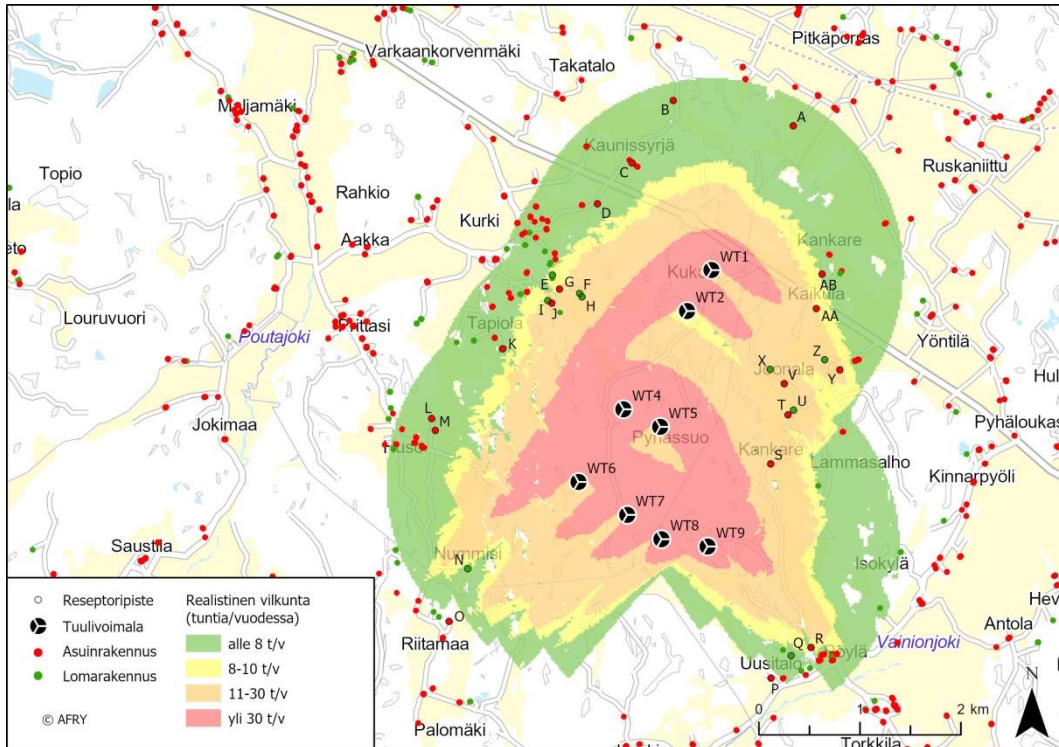
3.3 Vaikutusten arviointi

Mallinnuksen tuloksena saatu välkkeen vuosittainen teoreettinen maksimimäärä ja realistinen määrä tarkastellulle Huso-Pöylän tuulipuistolle on esitetty seuraavissa kuvissa. Kuvista nähdään, että välkkeen määrä on suurta tuulivoimaloiden välittömässä läheisyydessä olevilla alueilla, mutta se vähenee voimakkaasti etäisyyden kasvaessa.



Kuva 9. Välkkeen teoreettinen määrä tunteina vuodessa (aurionpaistehavaintoja ei ole huomioitu) Huso-Pöylän 8 voimalan toteutusvaihtoehdolla. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m.

Yllä olevasta kuvasta nähdään, että mallinnusparametrien puitteissa välke ulottuu ympäristössä oleviin asuin- ja lomarakennuksiin. Välkkeen määrä ylittää muiden maiden sovellettuja vuosittaisia ja päivittäisiä teoreettisia raja-arvoja yhteensä 17 reseptoripisteessä, sekä 5 asuinrakennuksessa ja 7 lomarakennuksessa, joita ei tässä selvityksessä ollut määritetty reseptoripisteiksi. Eniten välkettä kohdistuu reseptoripisteeseen H (95 tuntia ja 12 minuuttia vuodessa). Reseptoripistekohtaiset tulokset on esitetty myöhemmin.



Kuva 10. Välkkeen realistinen määrä tunteina vuodessa (aurionpaistehavainnot otettu huomioon) Huso-Pöylän 8 voimalan toteutusvaihtoehdolla. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m.

Kuten yllä olevasta kuvasta nähdään, myös realistisessa mallinnuksessa käytettyjen parametrien puitteissa valke ulottuu ympäristössä oleviin asuin- ja lomarakennuksiin. Välkkeen määrä ylittää muiden maiden sovellettuja vuosittaisia raja-arvoja yhteensä 13 reseptoripisteessä sekä 2 lomarakennuksessa, joita ei tässä selvityksessä ollut määritetty reseptoripisteiksi. Eniten välkettä kohdistuu reseptoripisteeseen X (19 tuntia ja 26 minuuttia vuodessa). Reseptoripistekohtaiset tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 7. Mallinnusten mukaiset välkemäärät reseptoripisteittäin eri tarkasteluissa. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m. Reseptoripisteiden koordinaatit on esitetty ETRS-TM35FIN koordinaatistossa. Tapauksissa, joissa sovelletta raja-arvo ylittyy, teksti on lihavoitu.

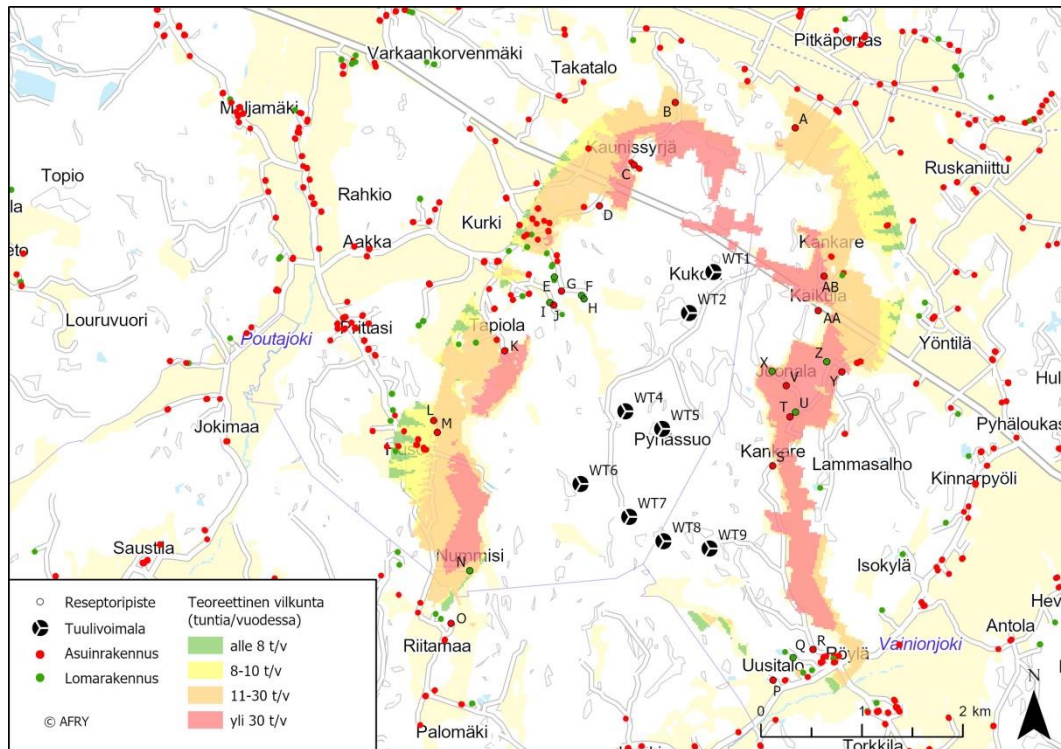
Reseptoripiste	Itä-koordinaatti (m)	Pohjois-koordinaatti (m)	Teoreettinen maksimitilanne		Realistinen maksimitilanne (h/a)
			(h/a)	(h/d)	
A	271033	6704576	19:41	0:25	2:07
B	269845	6704827	21:24	0:24	2:05
C	269437	6704209	43:13	0:30	5:00
D	269094	6703804	29:30	0:29	4:39
E	268648	6703098	50:38	0:47	7:49
F	268988	6702978	91:28	0:57	14:36
G	268718	6702959	58:32	0:52	9:36
H	268941	6702882	95:12	0:59	15:40
I	268602	6702845	68:07	0:53	10:58
J	268642	6702820	71:50	0:55	11:48
K	268155	6702367	39:50	0:28	6:34
L	267452	6701677	9:25	0:24	1:42
M	267488	6701559	17:43	0:25	3:46
N	267810	6700189	21:08	0:24	6:16
O	267624	6699667	0:00	0:00	0:00
P	270813	6699105	0:00	0:00	0:00
Q	271012	6699328	21:55	0:24	6:13
R	271209	6699409	15:09	0:25	4:16
S	270810	6701227	81:28	0:57	16:22
T	270981	6701713	71:31	0:50	12:57
U	271036	6701760	68:51	0:47	13:27
V	270944	6702022	80:24	0:43	17:16
X	270804	6702164	87:13	0:43	19:26
Y	271495	6702158	45:07	0:25	11:53
Z	271345	6702259	51:11	0:29	13:24
AA	271262	6702766	41:45	0:35	10:21
AB	271319	6703107	32:30	0:34	7:06

Yllä olevassa taulukossa on esitetty sekä välkkeen teoreettinen kokonaiskesto aika tunteina vuodessa ja vuorokaudessa että realistinen kokonaiskesto aika tunteina vuodessa. Realistisessa kokonaiskestossa on huomioitu auringonpaistetilastot ja tuulensuuntaja-kauma.

Tarkastellulla sijoitusvaihtoehdolla ja voimalamitoilla reseptoripisteisiin kohdistuva välke ylittää aiemmin esiteltyjä muiden maiden raja-arvoja ja suosituksia 17 reseptoripisteessä teoreettisen ja 13 reseptoripisteessä realistisen arvon suhteen. Lisäksi muiden maiden raja-arvot ja suositukset ylittyvät teoreettisten rajojen suhteen 5 asuin- ja 7 lomarakennuksessa ja realististen arvojen suhteen 2 lomarakennuksessa hankealueen lähistöllä. Välkemallinnuksen tulosten perusteella välke on hankealueen läheisyydessä huomattavaa tarkastellulla sijoitus suunnitelmalla, roottorin halkaisijalla ja napakorkeudella mallinnusepävarmuuksien puitteissa.

3.4 Puuston vaikutuksen huomioiminen

Mallinnuksen tuloksena saadut kartat välkkeen teoreettiselle maksimimäärälle ja realistisille määrälle puuston vähentävä vaikutus huomioiden, on esitetty seuraavissa kuvissa. Mallinnuksessa on käytetty 8 voimalan sijoitus suunnitelmaa ja tuulivoimaloita, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m. Reseptoripistekohtaiset tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa.



Kuva 11. Välkkeen teoreettinen määrä tunteina vuodessa (aurionpaistehavaintoja ei ole huomioitu) kun puuston vähentävä vaikutus on huomioitu. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m.



napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m.

Taulukko 8. Mallinnusten mukaiset väkemmäärät reseptoripisteittäin väkkeen teoreettiselle maksimimäärälle ja realistisille määrälle puuston vähentävä vaikutus huomioiden. Mallinnus on tehty tuulivoimaloilla, joiden napakorkeus on 149 m ja roottorin halkaisija 162 m. Reseptoripisteiden koordinaatit on esitetty ETRS-TM35FIN koordinaatistossa. Tapauksissa, joissa sovellettava raja-arvo ylittyy, teksti on lihavoitu.

Reseptori-piste	Itä-koordi-naatti	Pohjois-koor-dinaatti	Teoreettinen maksimitilanne		Realistinen maksimitilanne
	(m)	(m)	(h/a)	(h/d)	(h/a)
A	271033	6704576	19:41	0:25	2:07
B	269845	6704827	21:24	0:24	2:05
C	269437	6704209	0:00	0:00	0:00
D	269094	6703804	0:00	0:00	0:00
E	268648	6703098	0:00	0:00	0:00
F	268988	6702978	0:00	0:00	0:00
G	268718	6702959	0:00	0:00	0:00
H	268941	6702882	0:00	0:00	0:00
I	268602	6702845	0:00	0:00	0:00
J	268642	6702820	0:00	0:00	0:00
K	268155	6702367	31:59	0:28	4:34
L	267452	6701677	9:25	0:24	1:42
M	267488	6701559	17:43	0:25	3:46
N	267810	6700189	21:08	0:24	6:16
O	267624	6699667	0:00	0:00	0:00
P	270813	6699105	0:00	0:00	0:00
Q	271012	6699328	0:00	0:00	0:00
R	271209	6699409	0:00	0:00	0:00
S	270810	6701227	0:00	0:00	0:00
T	270981	6701713	71:31	0:50	12:57
U	271036	6701760	68:51	0:47	13:27
V	270944	6702022	80:24	0:43	17:16
X	270804	6702164	87:13	0:43	19:26
Y	271495	6702158	38:18	0:25	10:33
Z	271345	6702259	51:11	0:29	13:24
AA	271262	6702766	0:00	0:00	0:00
AB	271319	6703107	32:30	0:34	7:06

3.5 Väkkeen rajoittaminen

Tässä väkkeselvityksessä esitettyjen tulosten perusteella Huso-Pöylän läheisyydessä oleviin asuin- ja lomarakennuksiin kohdistuva väke ylittää Suomessa sovellettavaksi suositeltavia muiden maiden suositusarvoja.

Väkkeen rajoittaminen on teknisesti mahdollista, sillä voimaloiden sijoitusuunnitelman ja voimaloiden mittojen perusteella voidaan laskea ajat, jolloin väke on mahdollista tiettyssä kohteessa. Väkevaikutuksia on mahdollista vähentää muun muassa pysäyttämällä vilkuntaa aiheuttavat voimat vilkunnan syntymisen kannalta kriittiseen aikaan. On kuitenkin huomioitava, että väkettä ei synny pilvisellä säällä tai jos kohteen ja voimalan välillä on suojaavaa puustoa.

Lisäksi osalla voimalavalmistajista on tarjolla välkkeen havaitsemisjärjestelmiä, jotka havaitsevat tietyn raja-arvon ylittävän välkkeen ja pysäyttävät voimalat tarvittaessa. Esimerkiksi voimalavalmistaja Vestas esittelee kotisivuillaan kyseistä järjestelmää².

4 Lähteet

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.

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.

Danish Energy Agency. Technical certification and servicing of wind turbines. <https://cas.ens.dk/certification/list-wind-turbine-certificates/>

Danish Government 2015. Miljöministeriet Naturstyrelsen. Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller.

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).

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.

Gupta, M. Madsen, K. Advancements in continuous learning for tonality free turbine design. Conference Proceedings. 8th International Conference on Wind Turbine Noise, Lisbon, June 12-14, 2019.

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, Lisbon, June 12-14, 2019.

IECRE - IEC System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Renewable Energy Applications. IECRE.WE.TC.21.0091-R1, EnVentus V162. 20.8.2021, DNV Renewables Certification.

ISO 226:2003. Acoustics -- Normal equal-loudness-level contours. International Organization for Standardization, Geneva, 2003.

Keränen, Hakala, Hongisto. Pientalojen äänieristävyys ympäristömelua vastaan taajuuksilla 5 – 5000 Hz – infraäänitutkimus. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Turku 2017. Akustiikkapäivät 2017, materiaali

Keränen, Hakala, Hongisto, Radun, Rajala, Maula, Saarinen, Virjonen. Anojanssi -projektin tulokset: Ympäristömelun häiritsevyys. Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä, Turku 2019. Akustiikkapäivät 2019, s. 276-279.

² https://www.vestas.com/en/products/options_and_solutions#!shadow-detection-system (linkki tarkastettu 8.2.2021)

Melutta -hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön raportteja 20/2007. Ympäristöministeriö, Helsinki, 2007.

Naturvårdsverket. 2010. Ljud från vindkraftverk; reviderad utgåva av rapport 6241 [Sound from wind power turbines; revised issue of report 6241]. Report no. 5933, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden. (In Swedish)

Oerlemans, S. Schepers, J.G. "Prediction of wind turbine noise directivity and swish", Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark, (2009)

Statutory order of noise from wind turbines. Danish ministry of environment. Denmark, 2012.

STM asetus 545/2015, Sosiaali- ja terveysministeriön asetusasunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki, 2015.

Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista

Vindlov 2015. Skuggor, reflexer och ljud. [<http://www.vindlov.se/sv/steg-for-steg/stora-anlaggningar/inledande-skede/halsa-och-sakerhet/skuggor-reflexer-och-ljud/>] (haettu 30.11.2018)

Yhteenveto tuulivoimaloiden melupäästön takuuarvon käyttämisestä meluselvityksissä liittyvästä kyselystä. YM muistio 14.9.2016 YM9/5511/2016. Ympäristöministeriön, Helsinki.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 2/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 3/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita OH 4/2014. Ympäristöministeriö, Helsinki 2014.

Ympäristöhallinnon ohjeita 5/2016. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöministeriö, Helsinki 2016.

WEA-Shcattenwurf-Hinweise 2002. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windnergianlagen.



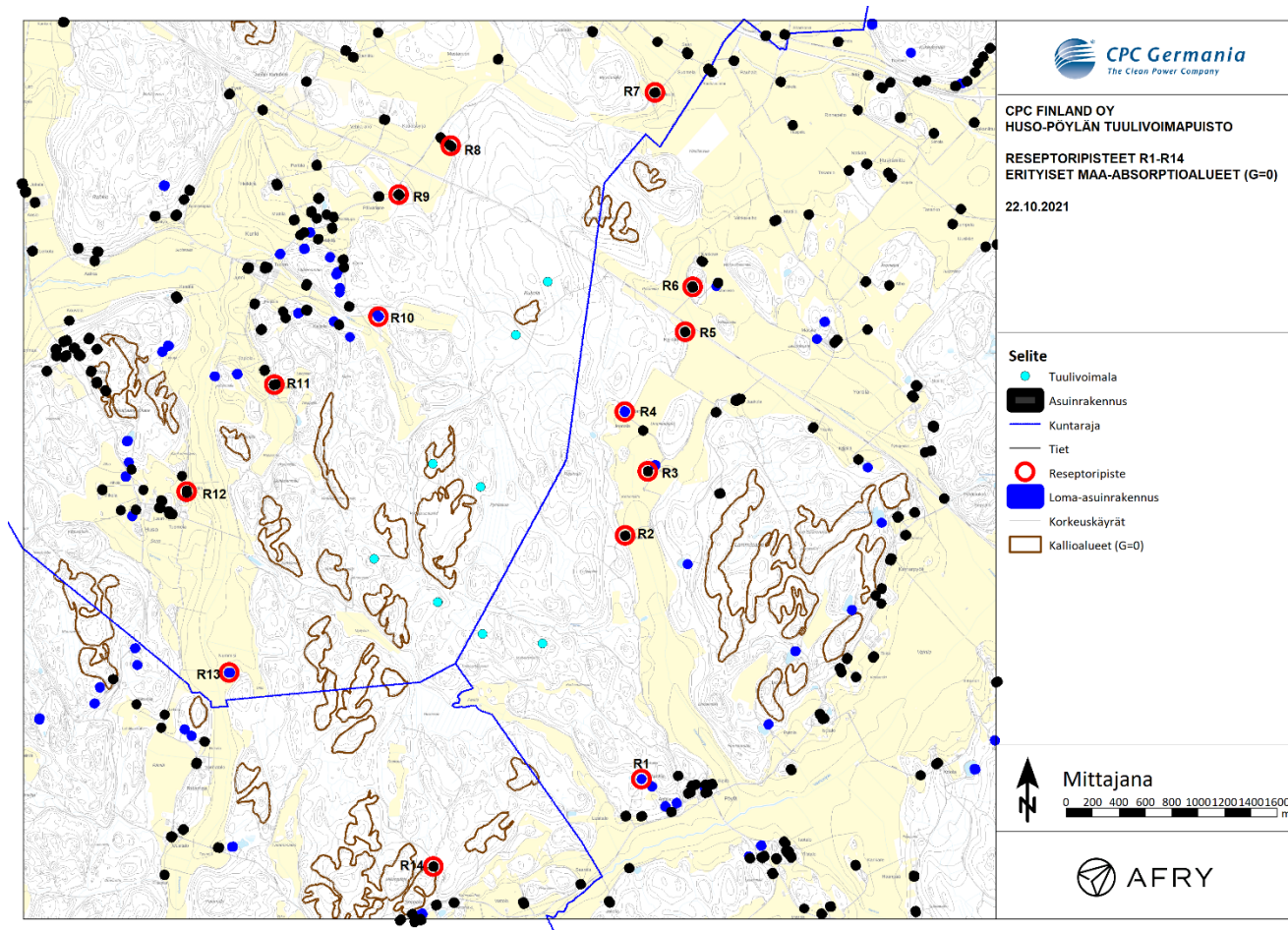
Liite 1. Tuulivoimaloiden ja reseptoripisteiden koordinaatit ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistossa.

*Voimaloiden koordinaatit yhteensä 8 voimalalle. WT3 poistettu suunnitelmasta osayleiskaa-
van viimeistelyvaiheessa.*

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Napakorkeus
WT1	270223,0	6703146,0	64,95	149m
WT2	269980,0	6702742,0	57,68	149m
WT4	269353,0	6701768,0	67,70	149m
WT5	269714,2	6701594,3	62,16	149m
WT6	268906,0	6701049,3	52,43	149m
WT7	269387,8	6700722,4	51,51	149m
WT8	269728,7	6700481,2	57,95	149m
WT9	270183,7	6700408,4	59,77	149m

Reseptoripisteiden R1-R14 koordinaatit melun leviämislaskennassa

No	x-koordinaatti	y-koordinaatti	z-koordinaatti	Laskentakorkeus
R1	270932,29	6699384,30	43,08	4m
R2	270809,11	6701225,55	33,39	4m
R3	270979,67	6701712,07	35,44	4m
R4	270804,55	6702163,35	37,08	4m
R5	271262,20	6702766,11	37,28	4m
R6	271319,97	6703107,49	41,69	4m
R7	271034,50	6704576,03	36,98	4m
R8	269487,13	6704172,90	39,31	4m
R9	269095,32	6703803,23	40,96	4m
R10	268940,97	6702882,31	38,80	4m
R11	268153,78	6702367,51	36,99	4m
R12	267489,09	6701557,70	31,40	4m
R13	267810,19	6700189,96	27,04	4m
R14	269355,25	6698722,78	52,18	4m



Voimaloiden ja reseptoripisteiden R1-R14 sekä erityisten maa-absorptioalueiden (laajat kallioalueet, G=0) sijainnit mallinnuskartalla

CPC FINLAND OY
HUSO-PÖYLÄN TUULIVOIMAPUISTO

MELUMALLINNUS

8 voimalaa
Vestas V162 5,6MW
Napakorkeus 149m
Kokonaiskorkeus 230m

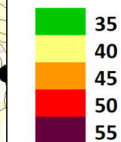
Keskiäänitaso LAeq
Laskentaparametrit YM OH 2/2014 mukaan
LWA,d = 104.0 dB

22.10.2021

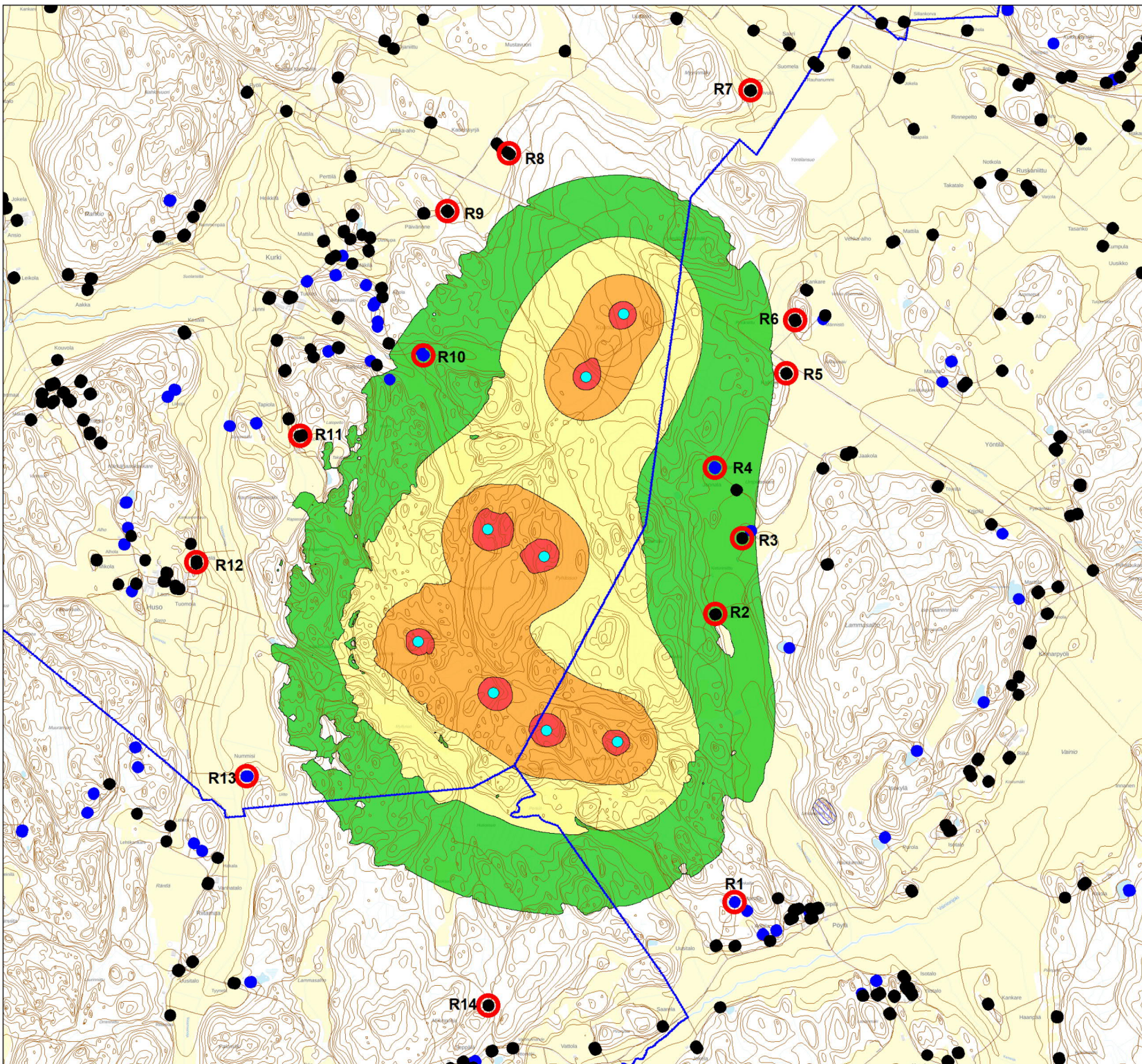
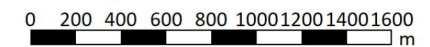
Selite

-  Tuulivoimala
-  Asuinrakennus
-  Kuntaraja
-  Tiet
-  Reseptoripiste
-  Luonnonsuojelualue
-  Loma-asuinrakennus
-  Korkeuskäyrät

Keskiäänitason vyöhykkeet
LAeq [dB]



Mittajana



Liite 4. Pientaajuisen melun tulokset

Pientaajuisen melulaskennan tulokset ulkona, Leq, 8 x V162 5,6MW [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	47,8	46,4	45,2	44,1	43,0	41,7	40,3	38,7	36,5	33,5	32,3
R2	51,2	49,8	48,6	47,5	46,4	45,2	43,8	42,2	40,1	37,2	36,1
R3	50,2	48,8	47,6	46,4	45,3	44,1	42,7	41,1	39,0	36,0	34,9
R4	51,1	49,7	48,5	47,3	46,2	45,0	43,6	42,1	39,9	37,1	35,9
R5	49,1	47,7	46,5	45,4	44,3	43,0	41,6	40,0	37,8	34,9	33,7
R6	48,6	47,2	46,0	44,8	43,7	42,5	41,1	39,5	37,3	34,4	33,2
R7	45,3	43,9	42,6	41,5	40,4	39,1	37,7	36,0	33,7	30,6	29,3
R8	47,6	46,2	44,9	43,8	42,7	41,5	40,0	38,4	36,2	33,3	32,0
R9	48,1	46,7	45,5	44,4	43,3	42,0	40,6	39,0	36,8	33,8	32,6
R10	50,6	49,2	48,0	46,9	45,8	44,5	43,1	41,6	39,4	36,5	35,4
R11	48,9	47,5	46,3	45,2	44,1	42,9	41,4	39,8	37,7	34,7	33,5
R12	47,5	46,1	44,9	43,7	42,6	41,4	39,9	38,3	36,1	33,1	31,8
R13	47,9	46,5	45,3	44,2	43,1	41,9	40,4	38,8	36,6	33,6	32,4
R14	46,6	45,2	44,0	42,8	41,7	40,5	39,0	37,4	35,1	32,1	30,8

Pientaajuisen melulaskennan tulokset sisällä DL90 äänitasoeron jälkeen, Leq, 8 x V162 5,6MW [dB]

	Taajuus [Hz]										
Reseptori	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
R1	41,8	40,4	38,2	37,1	35,0	32,7	30,3	27,7	24,5	20,5	18,3
R2	45,2	43,8	41,6	40,5	38,4	36,2	33,8	31,2	28,1	24,2	22,1
R3	44,2	42,8	40,6	39,4	37,3	35,1	32,7	30,1	27,0	23,0	20,9
R4	45,1	43,7	41,5	40,3	38,2	36,0	33,6	31,1	27,9	24,1	21,9
R5	43,1	41,7	39,5	38,4	36,3	34,0	31,6	29,0	25,8	21,9	19,7
R6	42,6	41,2	39,0	37,8	35,7	33,5	31,1	28,5	25,3	21,4	19,2
R7	39,3	37,9	35,6	34,5	32,4	30,1	27,7	25,0	21,7	17,6	15,3
R8	41,6	40,2	37,9	36,8	34,7	32,5	30,0	27,4	24,2	20,3	18,0
R9	42,1	40,7	38,5	37,4	35,3	33,0	30,6	28,0	24,8	20,8	18,6
R10	44,6	43,2	41,0	39,9	37,8	35,5	33,1	30,6	27,4	23,5	21,4
R11	42,9	41,5	39,3	38,2	36,1	33,9	31,4	28,8	25,7	21,7	19,5
R12	41,5	40,1	37,9	36,7	34,6	32,4	29,9	27,3	24,1	20,1	17,8
R13	41,9	40,5	38,3	37,2	35,1	32,9	30,4	27,8	24,6	20,6	18,4
R14	40,6	39,2	37,0	35,8	33,7	31,5	29,0	26,4	23,1	19,1	16,8

Liite 5. Laskennan parametrit ja laskentatulokset

RAPORTIN JA RAPORTOIJAN TIEDOT										
Mallinnusraportin numero/tunniste: 101016213-001A										
Laatijat: DI Carlo Di Napoli (melumallinnus) FM Elina Heinilä (välkemallinnus)										
MALLINNUSOHJELMAN TIEDOT										
Mallinnusohjelma: SoundPlan v.8.1						Mallinnusmenetelmä: ISO 9613-2				
TUULIVOIMALAN (TUULIVOIMALOIDEN TIEDOT)										
Tuulivoimalan valmistaja ja malli: Vestas V162						Nimellisteho: 5,6MW				
Roottorin halkaisija: 162m						Napakorkeus: 149m				
Lukumäärä: 8 kpl						Siipityyppi: Serraatiot				
Mahdollisuudet vaikuttaa tuulivoimalan melupäästöön (alentavasti) käytön aikana: Kyllä, noin 0 dB...-8 dB										
AKUSTISET TIEDOT/LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT										
Melupäästötiedot (Melutakuu, LWA,d): 104 dB										
Taajuusjakauma										
Luottamuksellisia, vain viranomaiskäyttöön. Viranomaiselle voidaan pyydettyessä toimittaa myös 1/3 oktaavikaistatiedot.										
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, 06/2020						Maanpinnan pystyresoluutio: 0.5 m / laserkeilausaineisto				
Maan- ja vedenpinnan absorption ja heijastuksen huomioiminen, käytetyt kertoimet										
Vesialueet:			Maa-alueet:				Muut alueet (mitkä?)			
0			0.4				Laajat kallioalueet: 0			
PIENTAAJUISEN MELULASKENNAN ÄÄNIERISTYSARVOT										
Julkisivurakenteen tuottaman äänitasoeron vähimmäisarvon estimaatti DL90 asuin- ja loma-asuinrakennuksille 1/3 Oktaaveittain [Hz], 20-200Hz dB										
Taajuus [Hz]										
20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
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]: 5 kpl: 35dB, 40dB, 45dB, 50dB ja 55dB				
Pientaajuisen melun laskentataulukot: 1 kpl						Reseptoripisteet: 14 kpl, R1-R14				

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