

Erillisselvitys

Pöyry Finland Oy
PL 93 (Tekniikantie 4 A)
02151 Espoo
Kotipaikka Espoo
Y-tunnus 0625905-6
Puh. 010 3311
Faksi 010 33 24981
www.poyry.fi

Päiväys 5.4.2012

Viite 16WWE1127.B723M.SLU
Sivu 1 (10)
Yhteyshö Carlo Di Napoli
Tehokkuus- ja mittauspalvelut
Puh. 010 33 24587
Faksi 010 33 24239
carlo.dinapoli@poyry.com

Metsähallituksen Iin Myllykankaan tuulivoimahankkeen YVA:n ja osayleiskaavan melumallinnus

Sisältö	1	Yleistä
	2	Tuulivoimalaitosten melu
	3	laskennan lähtötiedot
	3.1	Digitaalikartta-aineisto
	3.2	Mallinnetut tuulivoimalatyypit
	3.3	Melumallinnus ja laskentaparametrit
	3.4	Alueen lyhyt tuulisuusanalyysi
	3.5	Sovellettavat vertailuohjeet
	4	Laskentatulokset
	4.1	VE1
	4.2	VE2
	4.3	Pientaajuinen melu
	4.4	Laskennan epävarmuus
	4.5	Melun kokemiseen vaikuttavia tekijöitä
	4.6	Melutorjunta
		Kirjallisuusviitteet

Liitteet

Liite 1	Laskentakartta-alue ja reseptoripisteet R1-R9
Liite 2	Melumallinnuskuva – VE1
Liite 3	Melumallinnuskuva – VE2
Liite 4	Alueen tuulisuuden frekvenssiarvoja, stabiili ilmakedä, 8- 12 m/s

Lyhenteet

L_{Aeq}	A-taajuuspainotettu ekvivalenttinen äänitaso
L_{WA}	A-taajuuspainotettu äänilähteen äänitehotaso
L_{AFmax}	A-taajuuspainotettu äänenpaineen maksimitaso mittauksen aikana F-aikapainotuksella
L_{AFmin}	A-taajuuspainotettu äänenpaineen minimitaso mittauksen aikana F-aikapainotuksella
K_I	Impulssimaisen äänen haitallisuuskorjaus L_{Aeq} -tasoon ohjeen NT ACOU 112 mukaan

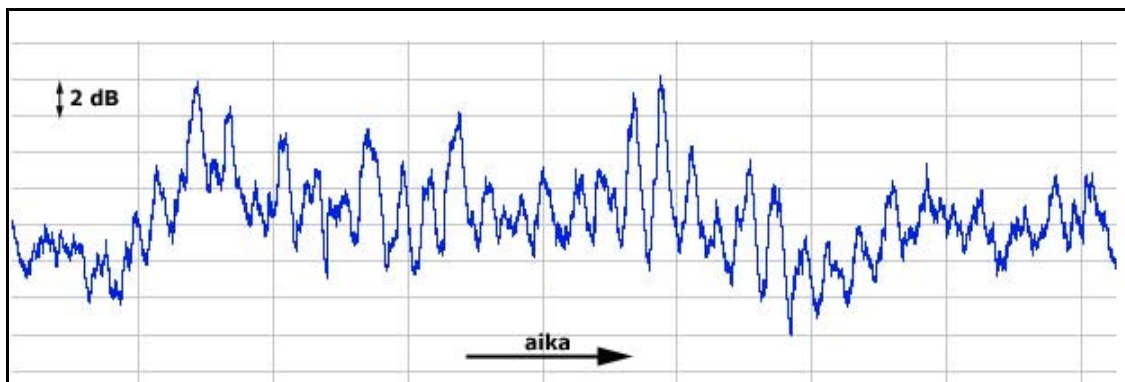
1 YLEISTÄ

Metsähallitus kaavailee tuulivoimapuistohanketta Iin Myllykankaan alueelle. Tässä selvityksessä arvioidaan tuulivoimalahankkeen meluvaikutukset laskennallisesti kahdelle hankevaihtoehdolle.

2 TUULIVOIMALAITOSTEN MELU

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta (noin 100 - 2000 Hz) lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmista sähköntuotanto-koneiston yksittäisten osien meluista (mm. vaihteisto, generaattori sekä jäähdytys-järjestelmät). Aerodynaaminen melu on hallitsevin lapojen suuren vaikutuspinta-alan ja jaksollisen ns. amplitudimoduloituneen äänen vuoksi, jossa äänen voimakkuus vaihtelee ajallisesti lapojen pyörimistaajuuden mukaan (n. 1 Hz) (kuva 1).

Amplitudimodulaatio (myöhemmin ”AM”) voidaan havaita sekä aerodynaamiselle virtausmelulle että myös koneiston kapeakaistaisille komponenteille. Yleisesti tuulivoimalan melun taajuusjakauma on painottunut pientaajuisten melun alueelle 50-300 Hz. A-taajuuspainotus suodattaa tehokkaasti pientaajuisia melua laskennallisesta äänestä ja on siten huono indikaattori melun todellisen pientaajuisten osuuden ja sen ajallisen vaihtelun mittarina./1/



Kuva 1. Kolmen 1.5MW:n tuulivoimalaitoksen yöajan käyntiääntä nauhoitettuna 800m:n päästä laitoksista. Kuvassa näkyy amplitudimodulaation vaihtelua.

Aerodynaaminen melu kuullaan usein kohinamaisena äänenä, jossa on jaksollinen rytm. Likainen lavanpinta lisää rosoisuutta, mistä seuraa turbulenssin ja siten myös äänitason nousua. Pientaajuisten melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiöt, siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisen ilmiöt (ilmamassan impedanssi etäisyyden kasvaessa). Aerodynaaminen melu voi myös aiheuttaa viheltävää ääntä esim. siipivaurioiden yhteydessä.

Modernit kolmilapaiset tuulivoimalaitokset ovat nykyisin ylävirtalaitoksia, joissa siivistö sijaitsee tuulen etupuolella suhteessa voimalan torniin. Pyörivän siivistön äänitaso on ylä- ja alatuulen puolilla suurempi kuin sivusta käsin katsottuna samalla etäisyydellä /2/. Lisäksi voimalan lähtöäänitaso on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulilla ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso

on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla (esim. kuva 2). Maksimi äänitehotaso (L_w) saavutetaan nimellistehon tuulinopeuksilla (yleisesti nopeus napakorkeudella > 9 m/s) ennen siipikulmasäädön käynnistymistä, mikä yleensä tasoittaa äänitehotason nousun tuulen nopeuden edelleen kasvaessa. Kärkinopeus on moderneissa voimaloissa maksimissaan noin 85 m/s. Tulovirtauksen turbulenssi sekä viereisten tuulivoimalaitosten virtausvana voivat lisätä aerodynaamista melua epäedullisen tulovirtauksen kohtauskulman vuoksi.

Ajoittain esiintyvä melun jaksollisuus on tässä selvityksessä huomioitu melun leviämislaskennassa käyttäen subjektiivista haitallisuuskorjausta $K_L/3/$ Se on määriteltä todellisten mittauskokemuksen perusteella yhteispohjoismaisen impulssimeluohjeen Nordtest NT ACOU 112 perusteella yhdelle amplitudipulssille. Yhdelle turbiinille voidaan havaita tyypillisesti noin $+ 5$ dB:n nousu alimmalta tasolta ylimmälle./4/ Siten logaritmisen peruslaskennan mukaan kahden turbiinin tapauksessa amplitudimodulaatio voi olla $+ 3$ dB yhden turbiinin lähtöarvosta ja 3 turbiinin tapauksessa $+ 5$ dB. Mittausten perusteella tasovaihtelun on havaittu olevan suurimmillaan noin 9-10 dB ulkona. /5/

Toinen mahdollisuus määrittää amplitudimodulaatio (AM) on käyttää siihen sovellettua psykoakustista estimointimenetelmää, jossa huomioidaan modulaation suuruus, $L(Z)$ äänitaso sekä modulaation taajuus (= siiven pyörimisnopeus) /6/. Tällöin arvioidaan vain AM:n voimakkuus *vacil* –asteikolla.

Taustamelu ja tuulen aiheuttama aallokko- ja puustokohina peittävät tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäänet ovat ajallisesti vaihtelevia. Niiden voimakkuus on sitä parempi, mitä lähempänä peittoäänen taajuusjakauma on vastaavaa tuuliturbiinin äänijakaumaa /7/. Yleisesti luonnollisten äänien taajuusjakauma on painottunut ylempiin taajuuksiin ja tuulivoimalan melu alempiin. Lisäksi tuulivoimamelun mahdollinen amplitudimodulaatio voi heikentää taustamelun peittovaikutusta ja siten kuulua myös taustakohinan läpi. Näin erityisesti tilanteissa, joissa alailmakehän stabiilisuus kasvaa, joka osaltaan vähentää kasvillisuuden ja aallokon kohinaa tuulisuuden vähentyessä matalilla korkeuksilla. Tällöin kuitenkin voimalan napakorkeudella tuulisuus voi samanaikaisesti lisääntyä ja voimalan äänitehotaso kasvaa /4/.

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

3 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Laskennan lähtötiedot on koottu asiakkaan lähettämästä datasta, digitaaliaineistosta, kirjallisuudesta sekä Pöyryn omasta aineistosta.

3.1 Digitaalikartta-aineisto

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on 2,5 m. Kartassa on kuvattu tuulivoimaloiden lisäksi maaston muodot, rakennusten ja teiden paikkatiedot sekä vesiraja. Mallinnetut reseptoripisteet (yksittäislaskentapisteet) ja digitaaliaineiston perusesitys on esitetty liitteessä 1.

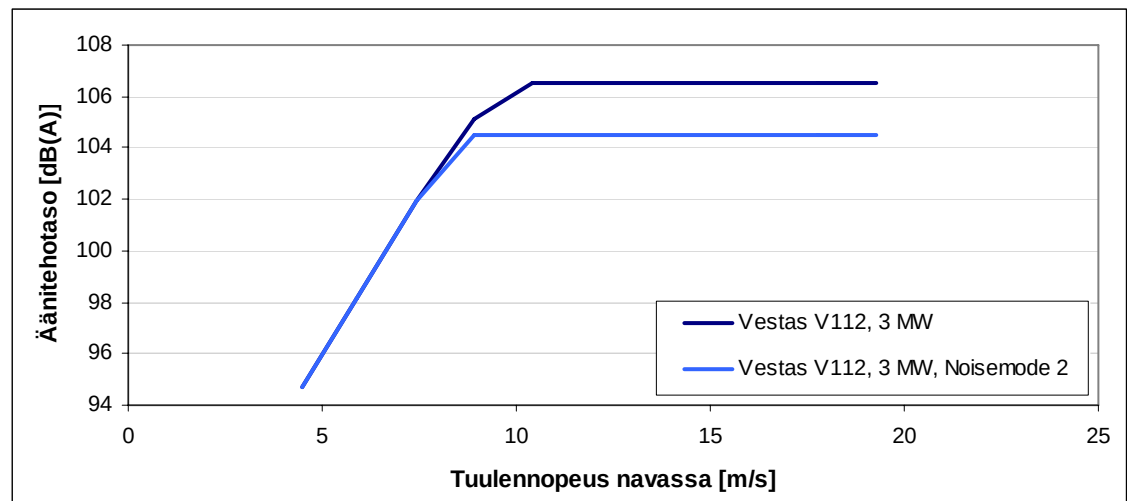
3.2 Mallinnetut tuulivoimalatyypit

Melumallinnuksessa on käytetty yhtä 3 MW tuulivoimalatyyppiä (Vestas V112) vaihtoehdossa 1 (VE1, 10 x 3 MW) ja vaihtoehdossa 2 (VE2, 19 x 3MW). Tuulivoimalan äänispektri terssikaistalla on saatu käyttäen useiden valmistajien keskimääräistä arvoa, takuutodistuksia sekä arvoja kirjallisuudesta./8/ Laskennan äänitehotasossa ei ole käytetty +5 dB:n melun häiritsevyyskorjausta esim. koskien melun amplitudimodulaatiota tai kapeakaistasuutta. Alla on annettu DAL32 mallinnuksessa käytettyä oktaavikaistan painottamatonta spektriarvoa sekä A-taajuuspainotettua kokonaisarvoa 95% nimellisteholla.

Taulukko 1. Mallinnettujen tuulivoimalaitosten äänitehotasot, L_w

	Oktaavikaistat, Hz									
Voimalatyyppi	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	YHT
3 MW	116.0	113.1	110.4	106.2	104.0	102.6	96.2	84.5	82.1	106.5

Alla kuvassa on esitetty lisäksi äänitehotason muutos laitevalmistajan tuotespesifikaatiosta tuulennopeuden funktiona, kun tuulennopeus mitataan voimalan navan korkeudelta ja ilmakehän stabiilisuusarvolla $m = 0,16$ (neutraali stabiilisuus). Kuvasta voi huomata äänitehotason huomattavan nousun (noin 3 dB / (m/s)) alhaisilla tuulennopeuksilla sekä sen tasoittumisen kovemmilla nopeuksilla.



Kuva 2. Laitevalmistajan äänitehasoja taattuna (Vestas) ilmakehän stabiilisuusarvolla $m = 0.16$

3.3 Melumallinnus ja laskentaparametrit

Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteisia melulaskentaohjelmistoa CadnaA 4.1, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immissio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing –menetelmällä. Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämisvaimentuminen, maaston korkeuserot, rakennukset ja muut heijastavat pinnat sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Melulähteitä voidaan määritellä piste, viiva tai pintalähteiksi. Melumallin leviämiskartta piirtää

keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein valituilla lähtöarvoparametreilla. Laskentaparametrit on esitetty taulukossa 2.

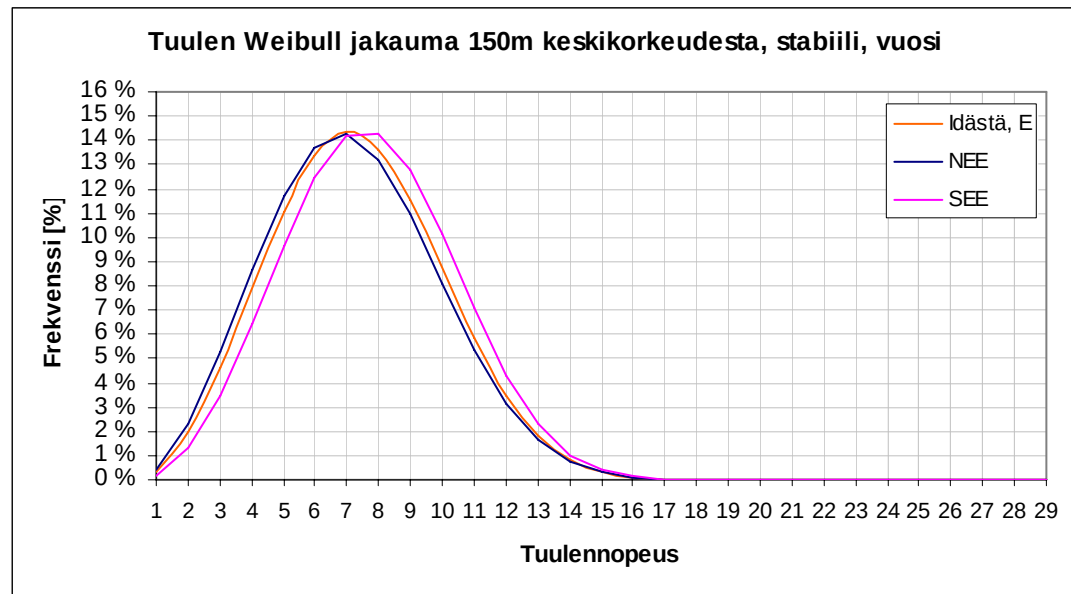
Taulukko 2. Laskentamallien parametrit

Lähtötieto	
Mallinnusalgoritmit	Peruslaskennat: Tuulisuusjakaumakorjattu pohjoismainen teollisuuslaskentamalli, DAL32 Pientaajuinen melulaskenta: Mukautettu ruotsalainen tuulivoimalaitosmelun numeerinen laskentamalli (Pöyry Finland Oy / 2011)
Sääolosuhteet	Ilman lämpötila 10 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 %.
Laskentaverkko	Laskentapistet 5 x 5 metrin välein laskentaverkolla 2 metrin korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan kovuus	DAL 32: 0 kaikille alueille, kova maanpinta
Objektien heijastuvuus	Reseptorilaskennat: arvolla 0 (ei heijastusta)
Jaksollisuus, amplitudimodulaatio	Ei huomioitu

Pohjoismainen malli sekä ruotsalainen yleinen ja yksinkertaistettu tuulivoimaloiden laskentamalli antavat kohtalaisen tarkkoja tuloksia keskimäärin noin kilometriin asti. Tulosten tarkkuus voi heiketä yöajan tilanteessa, jossa vallitsee stabiili ilmakehä ja tuulen nopeusero tai lämpötilaprofiili siiven eri vaihe-korkeuksien ja referenssikorkeuden (10m) välillä kasvaa. /4/

3.4 Alueen lyhyt tuulisuusanalyysi

Mylykankaan alueen tuulisuustiedot on tässä selvityksessä saatu Suomen Tuuliatlakselta (www.tuuliatlas.fi) käyttäen 150m:n korkeutta keskikorkeudesta. Liitteen 4 kuvassa on esitetty stabiilin ilmakehän frekvenssiarvoja tuulennopeuksille vuotuisesti. Taatun äänitehotason tuulisuuksille (>10 m/s) on päätuulensuunta aineiston perusteella 210 astetta (etelä-lounas). Kovempia koillisen ja kaakon puoleisia vuotuisia tuulia on aineiston perusteella kuitenkin vain noin 13% kokonaisajasta keskimäärin (10 m/s – 25 m/s).



Kuva 3. Alueen weibull –jakauma Tuuliatlaksen tietojen perusteella

3.5 Sovellettavat vertailuohjearvot

Ympäristöministeriö on esittänyt Tuulivoiman suunnittelua koskevassa dokumentissa (SY 19/2011) tuulivoimapuistoja koskeviksi suositushjearvoiksi 45 dB(A) klo 07-22 ja 40 dB(A) klo 22-07. Näistä jälkimmäinen on määräävä vertailuarvo tyypillisesti yöajan korkeamman tuulisuuden vuoksi (mm. usein esiintyvä stabiili ilmakehä). Lisäksi ohjeessa annetaan Leq, 1h ohjearvorajat pientaajuisten melun ohjearvoista sisätiloissa terssikaistoittain taajuuksilla 16-160 Hz. Yleisiä ilmaänen eristävyysarvoja rakennuksille ei ole ohjeessa kuitenkaan erikseen lueteltu. Ohjeessa todetaan myös seuraavasti: ”Mikäli tuulivoimalan äänen spektri sisältää melulle häiriintyvässä kohteessa tonaalisia tai kapeakaistaisia taajuuskomponentteja tai ääni on impulssimaista tai selvästi amplitudimoduloitua (äänen voimakkuus vaihtelee ajallisesti), lisätään laskenta- tai mittaustulokseen 5 dB ennen suunnitteluohjearvoon vertaamista.”

4 LASKENTATULOKSET

Laskentatulokset ovat esitetty värikarttamuodossa sekä yksittäislaskentapisteidien tuloksina lähimmäksi katsotun asuinkehteen piha-alueen reunalla voimaloille päin. Laskenta ei huomioi taustamelun määrää. Melumallinnuskartat ovat esitetty liitteissä 2-3. Laskenta on suoritettu kahdelle hankevaihtoehdolle VE1 ja VE2, joista ensimmäisessä on 10 x 3 MW tuulivoimalaa ja toisessa 19 x 3 MW tuulivoimalaa. Laskentatulokset kuvastavat sitä tilannetta, kun äänitehotaso voimaloissa on taatun maksimin mukainen ilman ilmakehän voimakasta refraktiovaikutusta (esim. hyvin stabiili ilmakehä tai inversio), jolloin melutaso voi hetkellisesti olla keskimääräistä suurempi.

4.1 VE1

Vaihtoehto VE1:ssä (10 x 3 MW) reseptoripisteiden laskentatulosten perusteella lähimmän asuinkehteen piha-alueella melutaso on mallinnetun tilanteen mukaisella

tuulennopeudella 37 dB(A). Alueen keskituulennopeudella (n. 7 m/s napakorkeudella) melutaso olisi laskennan mukaan noin 32 dB(A). Tulokset viittaavat siihen, että Ympäristöministeriön suositus suunnittelun ohjearvosta 40 dB(A) alittuu lähimmässäkin asuinkohteessa, joka sijaitsee 1550 metrin päässä lähimmästä suunnitellusta voimalasta. Voimalatoimittajan tuotespesifikaatioista ei kuitenkaan käy ilmi melun mahdollista amplitudimodulaatiota eikä melun mahdollista kapeakaistaisuutta, jotka voivat lisätä melun koettua häiritsevyyttä. Alueen tuulisuusjakauman perusteella melun leviäminen kohdistuisi enemmän alueen ei-asuttuun koillisnurkkaan (myötätuuliolosuhde). Melumallinnuksen mukaan 40 dB(A):n vyöhyke leviää lähimmästä suunnitellusta tuulivoimalasta noin kilometrin etäisyydelle kun äänitehotaso on käytetty takuun mukaista arvoa.

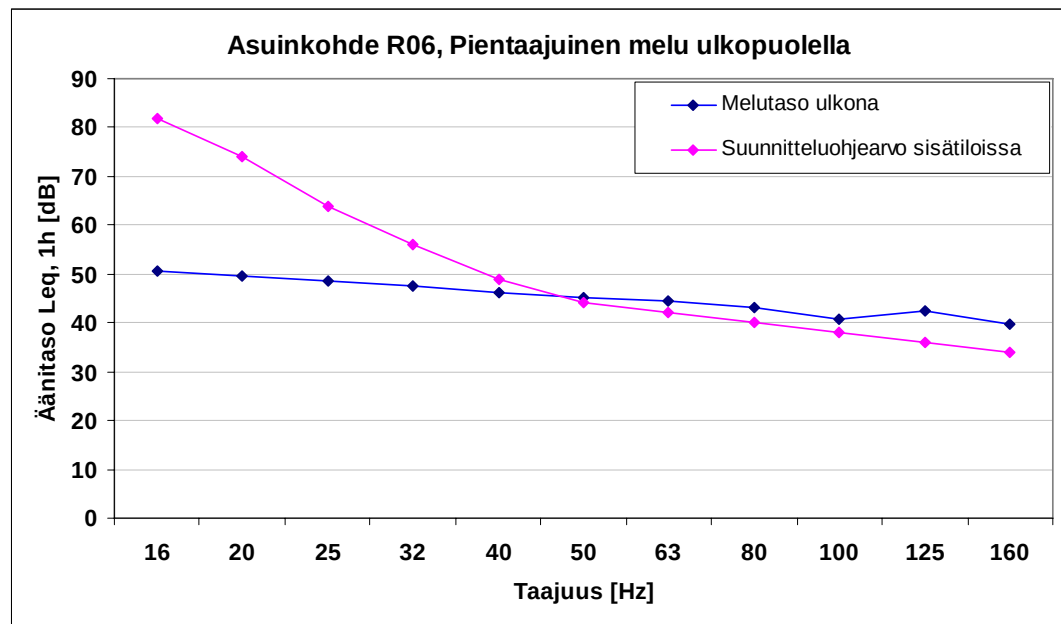
4.2 VE2

Vaihtoehto VE2:ssä (19 x 3 MW) reseptoripisteiden laskentatulosten perusteella lähimmän asuinkohteen piha-alueella melutaso on mallinnetun tilanteen mukaisella tuulennopeudella 38 dB(A). Alueen keskituulennopeudella (n. 7 m/s napakorkeudella) melutaso olisi laskennan mukaan noin 33 dB(A). Melutaso siis kasvaa 1 dB VE1 hankevaihtoehdosta, mutta pysyy alle asuinkohteiden suunnitteluohjearvorajan 40 dB(A). Syynä varsin pienelle A-painotetun melutason kasvulle johtuu muiden voimaloiden suhteellisen suuresta etäisyydestä (> 2500m) ja siten sekä äänen geometrisesta vaimentumisesta sekä ilmamassan impedanssista.

4.3 Pientaajuinen melu

Tuulivoimalaitosten pientaajuisen melun laskenta suoritettiin käyttäen painottamattomia äänitehotason 1/3 oktaavikaistatietoja. Laskenta suoritettiin Pöyryn kehittämällä ohjelmalla, joka antaa varsin samansuuntaisia tuloksia DAL32 mallin kanssa dB(A) kokonaisäänenpainetasolla. Voimalan äänitehotason taajuuskaistajakauma 1/3 oktaaveittain pientaajuisella alueella on muodostettu kattavan kirjallisuusanalyysin perusteella /8/, mutta laskenta on siten vain suuntaa-antava.

Laskentatuloksia verrataan Ympäristöministeriön tuulivoimatyöryhmän raportin YMrä 19/2011 pientaajuisen melun suunnittelun $L_{eq,1h}$ ohjearvoihin sisätiloissa. Laskenta on kuitenkin suoritettu lähimmän asuinkohteen ulkopuolelle (R6). Laskennan perusteella äänieritysvaatimus olisi noin 6 dB taajuusalueella 125 Hz, jonka katsotaan olevan verrattain alhainen suhteessa talviasuttavan kohteen tyypilliseen äänieristävyyteen tällä taajuusalueella. Siten voidaan katsoa, että pientaajuinen melu voi olla erotettavissa ulkona melutason kannalta suotuisessa säässä (kuuloaistimuksen yläpuolella), mutta ei enää sisätiloissa.



Kuva 4. Pientaajuisen melun laskennallinen määrä lähimmän asuinalueen edessä ulkona.

4.4 Laskennan epävarmuus

Melulaskenta sisältää useita epävarmuuksia, jotka liittyvät erityisesti emissiolähteen epävarmuuteen sekä sään ja amplitudimodulaation arvioinnin epävarmuuksiin.

Lisäksi äänitehotason määrittämis- ja mittausstandardi IEC 61400-11 sisältää epävarmuuksia. Esim. se ei huomioi lainkaan usean turbiinin synkronisuustilanteiden amplitudimodulaatiota kauempana laitoksista eikä myöskään pientaajuisesta melusta (< 50 Hz) tai infraääniä. Säätekijöiden epävarmuuden vaikutus on suuri pitkissä etäisyyksissä.

Arvioimme keskimääräiseksi kokonaisepävarmuudeksi noin ± 5 dB 1000 metrissä IEC standardin tuulisuusluokassa 8 m/s 10 m:n korkeudella. Tästä perusmallin osuus on noin ± 3 dB. Tässä on kuitenkin huomioitava, että alueen vuotuinen tuulijakauma todennäköisesti vähentää meluvaikutusta alueen etelä ja lounaispuolella (erityisesti yli 1500m:n etäisyyksillä, esim. -5...-10 dB) ja vastaavasti korostaa koillis-, itä- ja pohjoispuolen alueen meluvaikutusta. Siten epävarmuuden voidaan katsoa olevan mahdollisesti suurempi negatiivisesti alueen etelä- ja lounaispuolella, mutta vastaavasti yhtä suuri tai suurempi positiivisesti alueen koillis-, itä- ja pohjoispuolella (esim. +4 - +6 dB).

4.5 Melun kokemiseen vaikuttavia tekijöitä

Tuulivoimamelun häiritsevyyttä on tutkittu mm. Ruotsissa ja Hollannissa annosvastesuhteen avulla (melumallinnus-kyselytutkimus). Tutkimusten perusteella on todettu, että tuulivoimamelun häiritsevyys tai kiusallisuus alkaa lisääntyä 35 dB(A):n jälkeen (LAeq mittari) ja vastaajista 20-25% kokee tuulivoimamelun häiritseväksi 40 dB(A):n tasolla. Kielteiseen kokemukseen vaikuttivat mm. koettu melun häiritsevyys, tuulivoimaloiden näkyvyys, vastaajan ikä, yleinen asenne voimaloita kohtaan, yksityisyyden häiritseminen sekä hankkeisiin osallistuminen.

Tutkimuksissa havaittiin merkittävä ero häiritsevyystuloksissa, jos vastaaja oli taloudellisesti riippuvainen tuulivoimahankkeesta. Tällöin pienentyi häiritsevyys usein hyvin pieneksi, mutta se ei kuitenkaan estänyt äänen kuuluvuutta (melun todellinen leviäminen). Suomessa ei ole tehty vastaavan laajuisia kyselytutkimuksia hankkeiden vähyydestä johtuen. Melun häiritsevyysvaikutukset ihmisten terveyteen ovat merkittävimpiä univaikeuksien kautta /9/.

Myllykankaan laskentatulosten perusteella voidaan todeta että tuulivoimapuisto voidaan kuulla myötätuuliolosuhteissa ja erityisesti stabiilin ilmakehän aikana, jolloin kasvillisuuden peittovaikutus on pienimmillään. Tuuliatlaksen vuotuisen stabiilin ilmakehän tuulisuusjakauman perusteella pohjoisen ja kaakon välisiä ja yli 10 m/s napakorkeuden tuulisuuksia (taattu melun äänitehotaso) on noin 4.4% kokonaisajasta (vastaa vuotuisesti noin 400 tuntia). Jakauman luvut kasvavat pienemmillä tuulennopeuksilla (9 m/s on esim. 7.4%). Koska VE2 tapauksessa suurimmalla puistovaihtoehdolla ollaan yli 35 dB(A):n vyöhykkeellä, voi näissä tilanteissa melun kokeminen muodostua kielteiseksi asuinkohteiden ulkopuolella. Tasoltaan melun voidaan kuitenkin katsoa olevan sellainen, että sisätiloihin asti sen ei pitäisi kuulua (ovet ja ikkunat suljettuina), ellei voimaloista kantaudu voimakkaita ja pientaajuisten melulaskennan ylittäviä tonaalisuuspiikkejä. On todennäköistä että VE tapauksessa kielteiseen kokemukseen vaikuttavat tekijät ovat pienempiä johtuen suuremmista etäisyyksistä lähimpiin voimaloihin sekä voimaloiden pienemmästä kokonaismäärästä.

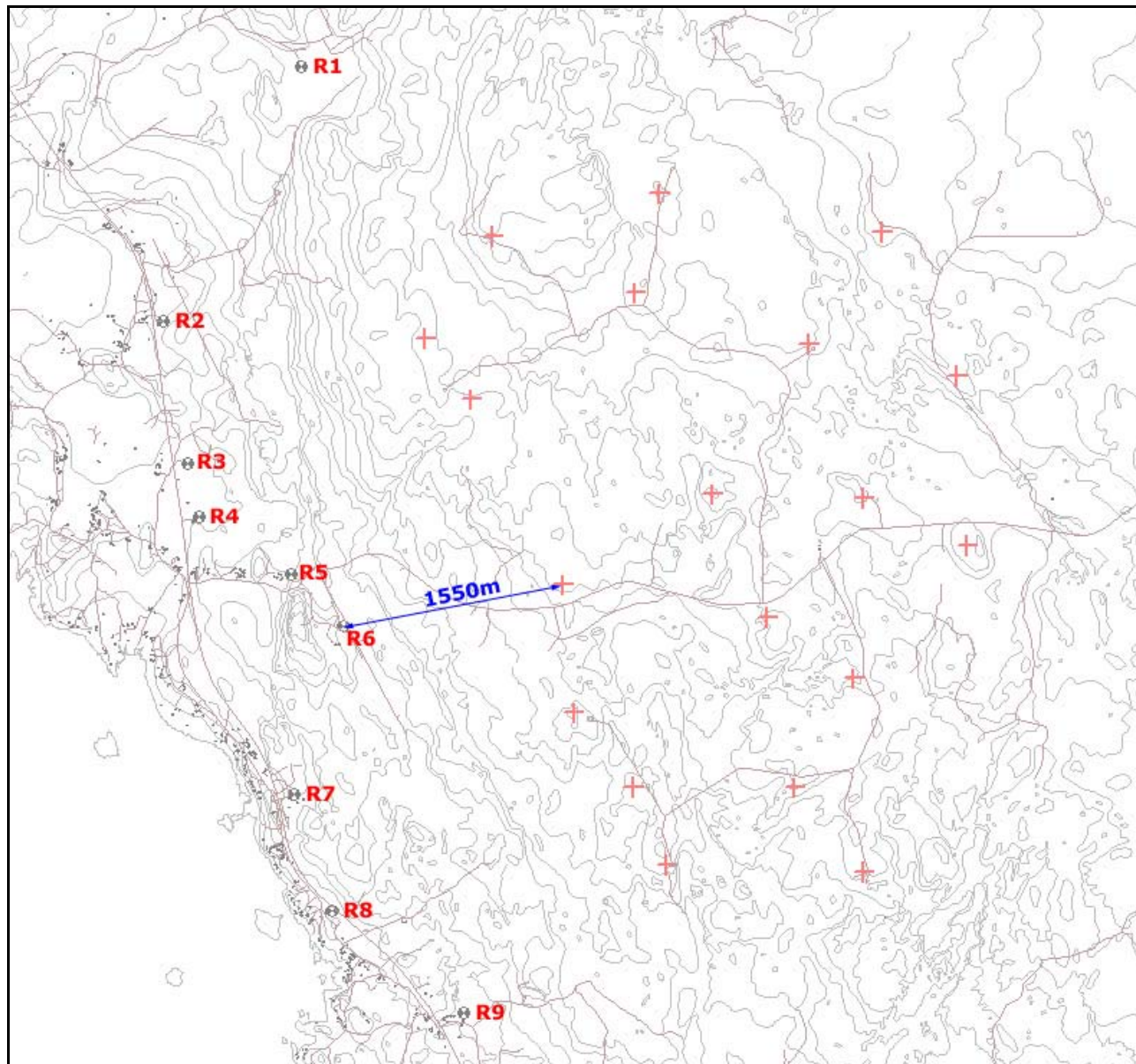
4.6 Melutorjunta

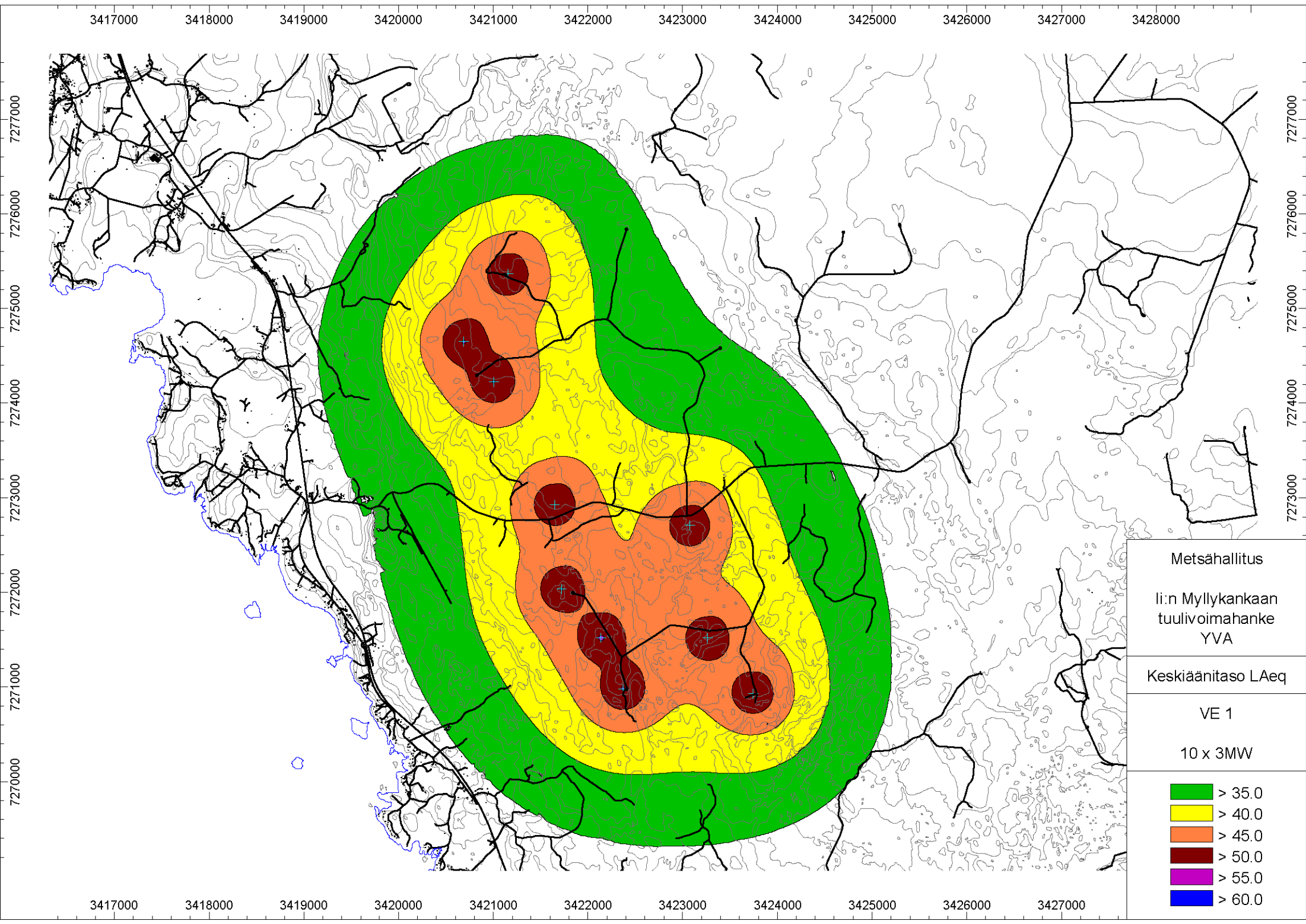
Tuulivoimalaitoksia on mahdollisuus ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esim. roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Säästöparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, tuulensuunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa vastaavasti voimalan äänitehotasoa. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida laitoksille suorittaa käynnin aikana, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Esimerkiksi tässä selvityksessä käytetyn laitevalmistajan meluoptimointiajo (ks. kuva 2) vähentää äänitasoa korkeimman taatun äänitason osalta 2 dB. Laskentatulosten perusteella tämän selvityksen hankevaihtoehtojen osalta ei katsottu tarpeelliseksi suorittaa laskentaa meluoptimointiajolla.

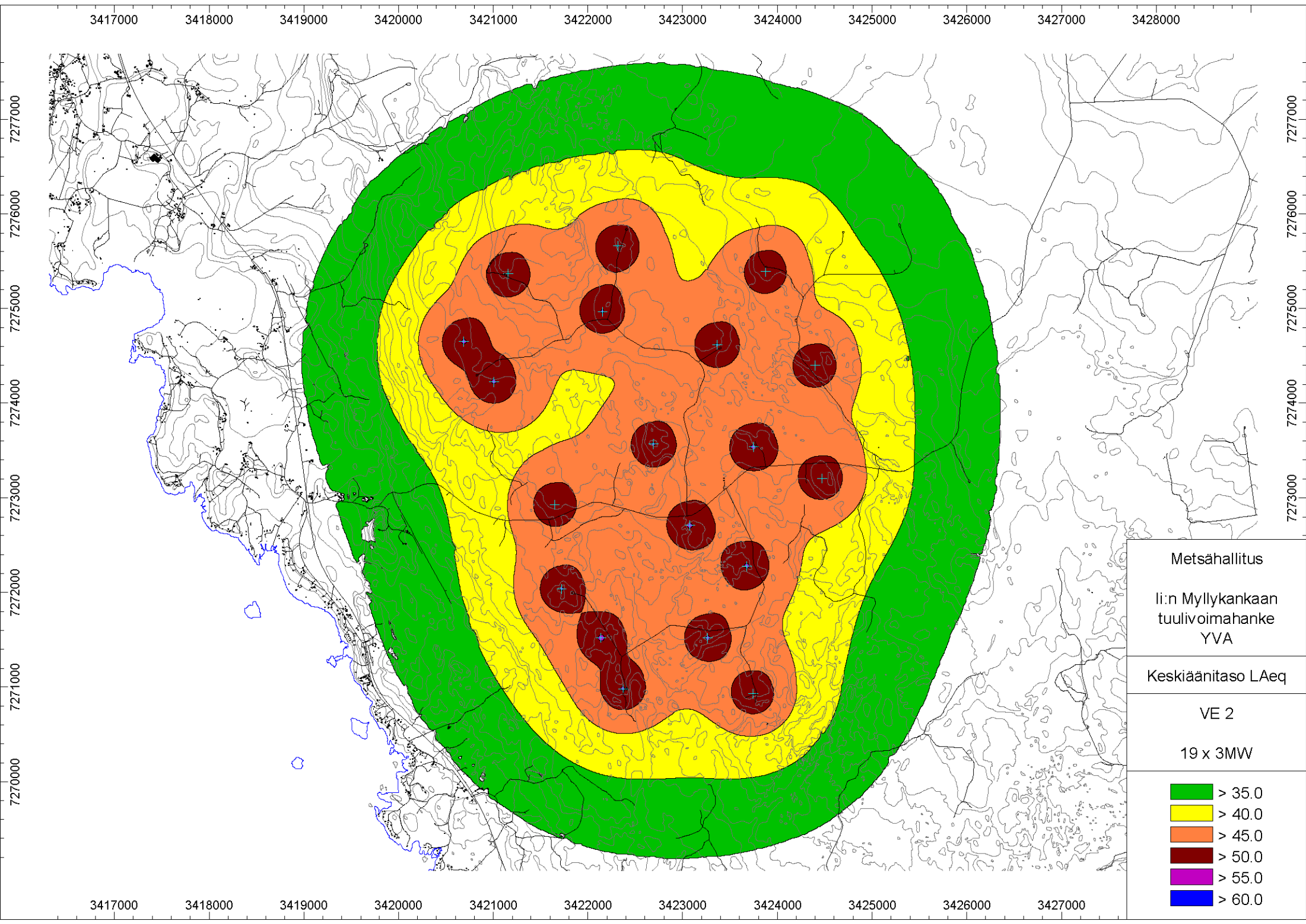
KIRJALLISUUSVIITTEET

- /1/ Noise Annoyance of Wind Turbines. VTT Research Report VTT-R-00951-11, 2011
- /2/ Oerlemans, S. Schepers, J.G. "Prediction of wind turbine noise directivity and swish", *Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise*, Aalborg, Denmark, (2009)
- /3/ Acoustics: Prominence of Impulsive Sounds and for Adjustment of L_{Aeq} . Nordtest Method NT ACOU 112, Nordtest, Finland (2002)
- /4/ 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, Netherlands (2007)
- /5/ van den Berg, G.P. "Perspectives on wind turbine noise", The Newsletter of The Acoustical Society of America, 19(3), 2–3, (2009).
- /6/ Lenchine, V. Amplitude modulation in wind turbine noise. Proceedings of Acoustics 2009, Adelaide, Australia
- /7/ Nelson, D.A. Perceived loudness of wind turbine noise in the presence of ambient sound
- /8/ Moller, C. Pedersen, C.S. Low frequency noise from large wind turbines. Acoustical Society of America Vol 129, No 6, June 2010
- /9/ Night Noise Guidelines for Europe, WHO 2009

Liite 1. Melumallinnusalue sekä reseptoripisteet R1-R9







Metsähallitus	
li:n Myllykankaan tuulivoimahanke YVA	
Keskiäänitaso LAeq	
VE 2	
19 x 3MW	
	> 35.0
	> 40.0
	> 45.0
	> 50.0
	> 55.0
	> 60.0

Liite 4. Tuulen frekvenssi, vuosi, stabiili

