

METSÄHALLITUS LAATUMAA

Kivivaara-Peuravaara, tuulivoimapuiston meluselvitys

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

Sisältö

1	JOHDANTO	3
2	ARVIONTIMENETELMÄT JA ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT	3
3	ÄÄNIAALLON MITTAUSYKSIKÖT JA YMPÄRISTÖMELU	4
4	TUULIVOIMALAITOSTEN MELU	5
5	HANKKEEN AIHEUTTAMAT MELUVAIKUTUKSET	7
6	MALLINNETUT TUULIVOIMALATYYPIT	7
7	MELUMALLINNUS JA LASKENTAPARAMETRIT	8
8	ALUEEN LYHYT TUULISUUSANALYYSI	9
9	SOVELLETTAVAT VERTAILUOHJEARVOT	9
10	MELUMALLINNUSTULOKSET, VE1	10
11	MELUMALLINNUSTULOKSET, VE2	12
12	MELUMALLINNUSTULOKSET, VE3	13
13	PIENTAAJUINEN MELU	15
14	VAIHTOEHTOJEN VE0, VE1, VE2 JA VE3 VERTAILU	17
15	RAKENTAMISEN AIKAISET MELUVAIKUTUKSET	17
16	MELUN VAIKUTUKSET ALUEEN ÄÄNIMAISEMAAN	18
17	HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN	18

18 VAIKUTUSTEN SEURANTA

18

19 LÄHTEET

18

Liitteet

Liite 1 Melumallinnukset

Ellei kuvatekstissä ole toisin mainittu, kartta-aineiston kopiointilupnumero on 770/KTJ/11 ja julkaisulupnumero 48/MLL/12.

Pöyry Finland Oy

DI Carlo Di Napoli

Tutkijantie 2 A

FI-90590 OULU

Finland

Kotipaikka Vantaa, Finland

Y-tunnus 0625905-6

Tel. +358 10 33 33280

Fax +358 10 33 28250

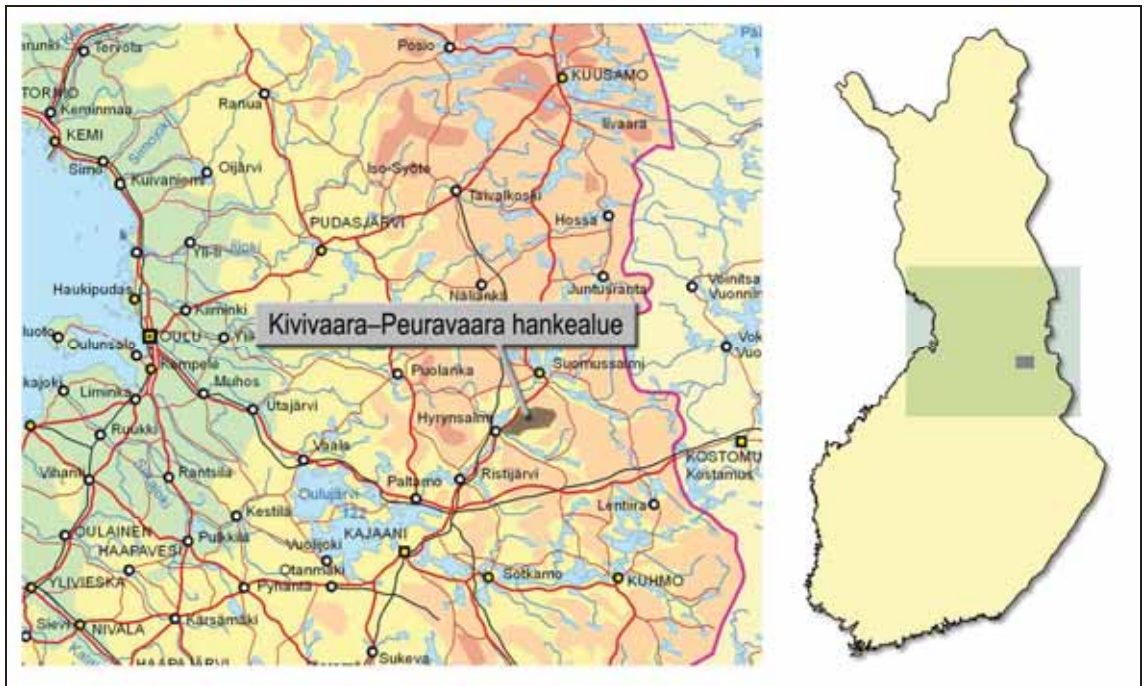
www.poyry.fi

Copyright © Pöyry Finland Oy

1 JOHDANTO

Metsähallitus Laatumaa suunnittelee Hyrynsalmella ja Suomussalmella sijaitsevalle Kivivaara–Peuravaaran alueelle tuulivoimapuistoa (*Kuva 1-1*). Tässä selvityksessä arvioidaan tuulivoimalahankkeen meluvaikutukset laskennallisesti kolmelle hankevaihtoehdolle.

Toteuttamisvaihtoehdosta riippuen alueelle on mahdollista rakentaa 27–50 tuulivoimalayksikköä, joiden todennäköisin yksikköteho on 3 MW, tornikorkeus 120–160 metriä ja lavan pituus 50–70 metriä.



Kuva 1-1. Tuulivoimapuiston sijainti.

2 ARVIONTIMENETELMÄT JA ARVIOINNIN EPÄVARMUUSTEKIJÄT

Melun leviäminen maastoon on havainnollistettu käyttäen tietokoneavusteisia melulaskentaohjelmistoa CadnaA 4.3, missä äänilähteestä lähtevä ääniaalto lasketaan digitaaliseen karttapohjaan äänenpaineeksi immisio- eli vastaanottopisteessä ray-tracing -menetelmällä. Mallissa otetaan huomioon äänen geometrinen leviämismuutos, maaston korkeuserot, rakennukset ja muut heijastavat pinnat sekä maanpinnan ja ilmakehän melun vaimennusvaikutukset. Melumallin leviämiskartta piirtää keskiäänitasokäyrät 5 dB:n välein valituilla lähtöarvoparametreilla. Laskentaparametrit on esitetty taulukossa *Taulukko 7-1*.

Laskentatulokset melun leviämisyöhykkeiden osalta kuvastavat sitä potentiaalista melun leviämisen tilannetta, kun äänitehotaso voimaloissa on taatun maksimin mukainen ja melun leviäminen tapahtuu joka suuntaan. Todellisuudessa ko. tilanne ei kuitenkaan tapahdu hetkellistasolla, jolloin mallinnuskartta on vain teoreettinen yksinkertaistus huomattavasti monimutkaisemmasta reaalitylanteesta. Lisäksi mallinnuskartta ei huomioi tilastollista tuulen ja samalla äänitehotason pysyvyyttä.

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 ilmakedä ja tuulen nopeusero tai lämpötilaprofiili siiven eri vaihe-korkeuksien ja referenssikorkeuden (10 m) välillä kasvaa. (*van den Berg 2007*)

Ympäristöministeriö valmistelee parhaillaan kansallisia ohjeita tuulivoimamelun mallintamiseksi. Tässä lasketut tilanteet voivat siten poiketa tulevista ohjeista. Huomionarvoista on kuitenkin tiedostaa, että tässä mallinnuksessa on oletettu sellainen akustinen tilanne maajeijastusten sekä säätilan osalta, jonka esiintyvyys vaihtelee kuukausittain voimakkaasti. Tässä melumallinnuksessa kuvataan sitä potentiaalista tilannetta keskiäänitason osalta, joka syntyy jos oletetaan maanpinnan olevan akustisesti kova (kuin kallio, asfaltti tai vesi) ja napakorkeudella > 10 m/s tuulennopeus. Seuraavassa kappaleessa tuodaan esille alueen tuulisuusjakauksia Suomen Tuuliatlaksen mukaan.

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

Lisäksi äänitehotason määritys- ja mittaustandardi IEC 61400-11 sisältää epävarmuuksia. Esim. se ei huomioi lainkaan usean turbiinin synkronisuustilanteiden amplitudimodulaatiota kauempana laitoksista eikä myöskään pientaajuista melua (< 50 Hz) tai infraääniä./12/ Säätelijöiden epävarmuuden vaikutus on suuri pitkissä etäisyyksissä.

Arvioimme kokonaisepävarmuudeksi noin +2 ja -4 dB 1000 metrissä IEC standardin tuulisuusluokassa 8 m/s 10 m:n korkeudella, sillä laskennassa huomioidaan lisätoleranssin avulla pahimman tilanteen syntyä. Tästä perusmallin osuus on noin ± 2 dB.

3 ÄÄNIAALLON MITTAUSYKSIKÖT JA YMPÄRISTÖMELU

Äänen voimakkuutta mitataan käyttäen logaritmista desibeliasteikkoa (dB), jossa äänenpaineelle (eli hyvin pienelle paineenmuutokselle) käytetään referenssipainetta 20 μPa ilmalle sekä 1 μPa muille aineille.

Äänen voimakkuutta voidaan havainnollistaa seuraavalla taulukolla, jossa on esitetty kunkin äänenpainetason muutosta vastaava desibelitaso tyypillisen äänilähteen luona mitattuna.

Äänenpaine, μPa	Tyypillinen äänilähde	Äänenpainetaso, dB
1 000 000 000	Suihkumoottori	134
10 000 000	Rock-konsertti	114
1 000 000	Suuri teollisuusmoottori	94
100 000	Yleistä toimistomelua	74
10 000	Toimistohuone	54
1 000	Hiljainen luontoalue	34
100	Erittäin hiljainen huone	14
20	Kuulokynnys	0

Ääni on aaltoliikettä, joka välittyäkseen eteenpäin tarvitsee aina väliaineen. Ilmassa äänellä on nopeus joka on riippuvainen ilman lämpötilasta. Eri väliaineissa ääniaalto kulkee eri nopeuksilla väliaineen ominaisuuksien mukaan. Normaali ympäristömelu sisältää useiden kohteiden yhtäaikaista ääntä, jossa äänen taajuudet ja aallonpituudet ovat jatkuvassa muutoksessa. Mittauksin voidaan kuitenkin erotella melun hetkelliset komponentit esim. taajuustarkastelulla.

Melu on sen sijaan käsite, jolla ymmärretään äänen negatiivisia vaikutuksia, ei-toivottua ääntä josta seuraa ihmisille haittaa. Melu on siis fysikaalisten mittareiden lisäksi myös hyvin pitkälti subjektiivinen käsite, jossa kuulijan omilla tuntemuksilla ja äänenerotuskyvyllä on ratkaiseva merkitys.

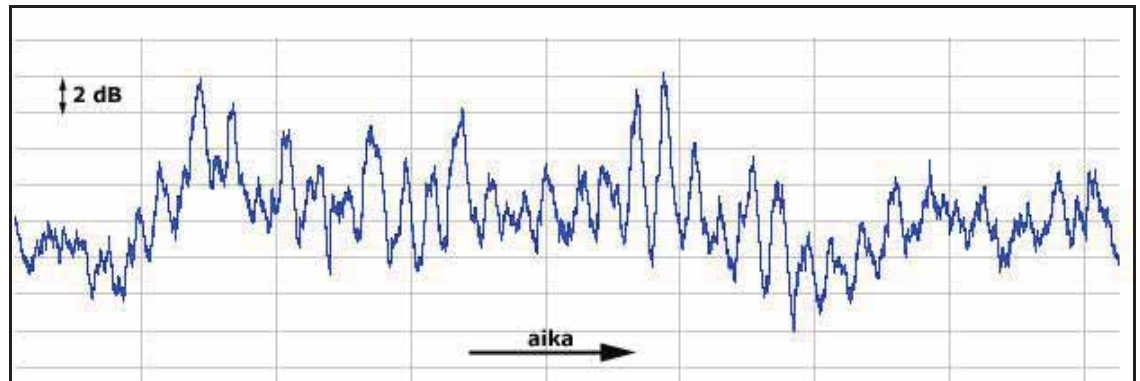
Kuuloaistin herkkyys vaihtelee eri taajuisille äänille, jolloin vaihtelevat myös melun haitallisuus, häiritsevyys sekä kiusallisuus. Nämä tekijät on otettu huomioon äänen taajuuskomponentteja painottamalla. Yleisin käytetty taajuuspainotus on A-painotus, joka perustuu kuuloaistin taajuusvasteen mallintamiseen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

4 TUULIVOIMALAITOSTEN MELU

Tuulivoimalaitosten käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta (noin 100–2000 Hz) lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmista sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien meluista (mm. vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät pääsääntöisesti taajuusalueella 50–500 Hz). Aerodynaaminen melu on hallitsevin lapojen suuren vaikutuspinta-alan ja jaksollisen ns. amplitudimoduloituneen äänen vuoksi, jossa äänen voimakkuus vaihtelee ajallisesti lapojen pyörimistaajuuden mukaan noin kerran sekunnissa. Kuvassa *Kuva 4-1* on esitetty kolmen 1,5 MW:n tuulivoimalaitoksen yöajan käyntiääntä nauhoitettuna 800 m:n päästä laitoksista.

Amplitudimodulaatio (myöhemmin ”AM”) voidaan havaita sekä aerodynaamiselle virtausmelulle että myös koneiston kapeakaistaisille komponenteille. Yleisesti tuuli-

voimalan melun taajuusjakauma on painottunut pientaajuiseen melun ja keskitajuuksien alueelle 50–600 Hz.



Kuva 4-1. Kolmen 1,5 MW:n tuulivoimalaitoksen yöajan käyntiääntä nauhoitettuna 800 m:n päästä laitoksista. Kuvassa näkyy amplitudimodulaation vaihtelua noin kerran sekunnissa.

Aerodynaaminen melu kuullaan usein kohinamaisena äänenä, jossa on jaksollinen rytmitys. Pientaajuiseen melun osuutta aerodynaamisessa melussa lisäävät tulovirtauksen turbulenssi-ilmiöt, siipivirtauksen irtoamistilanteet (sakkaus) sekä ilmakehän äänen leviämisen ilmiöt (ilmamassan impedanssi korkeammille äänen taajuuksille 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 (Oerlemans & Schepers 2009). Lisäksi voimalan lähtöäänitaso on suoraan tuulennopeudesta riippuvainen siten, että alhaisilla tuulennopeuksilla ja lähellä käyntiinlähtönopeutta lähtöäänitaso on usein noin 10–15 dB alhaisempi kuin nimellisteholla (esim. Kuva 6-1). Maksimi äänitehotaso (L_w) saavutetaan nimellistehon tuulinnopeuksilla (yleisesti nopeus napakorkeudella jo yli 10 m/s) ennen siipikulmasäädön käynnistymistä, mikä yleensä tasoittaa äänitehotason nousun tuulen nopeuden edelleen kasvaessa. Kärkinopeus on moderneissa voimaloissa maksimissaan noin 75 m/s.

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 (Nelson 2007). Yleisesti luonnollisten taustäänien 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. Stabiili ilmakehä syntyy usein ilta- ja yöaikaan ja poistuu päiväaikaan lukuun ottamatta kylmiä talvipäiviä. Tällöin kuitenkin voimalan napakorkeudella tuulisuus voi samanaikaisesti lisääntyä ja voimalan äänitehotaso kasvaa (van den Berg 2007).

Tuulivoimalaitoksen melun häiritsevyys on todettu olevan suurempi kuin esim. vastaavan äänitason tieliikennemelulähde. Häiritsevyys alkaa lisääntyä jo tasolta 35 dB(A) ja kasvaa jyrkästi yli 40 dB(A):n keskiäänitasolla. (*Siponen 2011, Saarinen 2011*). Lisääntynyt melu voi aiheuttaa viihtyvyyshaittaa, lisätä kiusaantuneisuutta ja sisätiloissa jäljelle jäävä pientaajuinen melu voi aiheuttaa myös unihäiriöitä.

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 tuotantotehoon.

5 HANKKEEN AIHEUTTAMAT MELUVAIKUTUKSET

Laskentatulokset ovat esitetty värikarttamuodossa sekä pientaajuisen melun osalta yksittäislaskentapisteen tuloksena lähimmäksi katsotun asuinalueen (Pajala) pihaluonnon reunalla voimaloille päin. Laskenta ei huomioi taustamelun määrää.

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

Melumallinnus on suoritettu digitaalikartalle, jonka topografian korkeusväli on 2,5 m. Kartassa on kuvattu tuulivoimaloiden lisäksi maaston muodot, rakennusten ja teiden paikkatiedot.

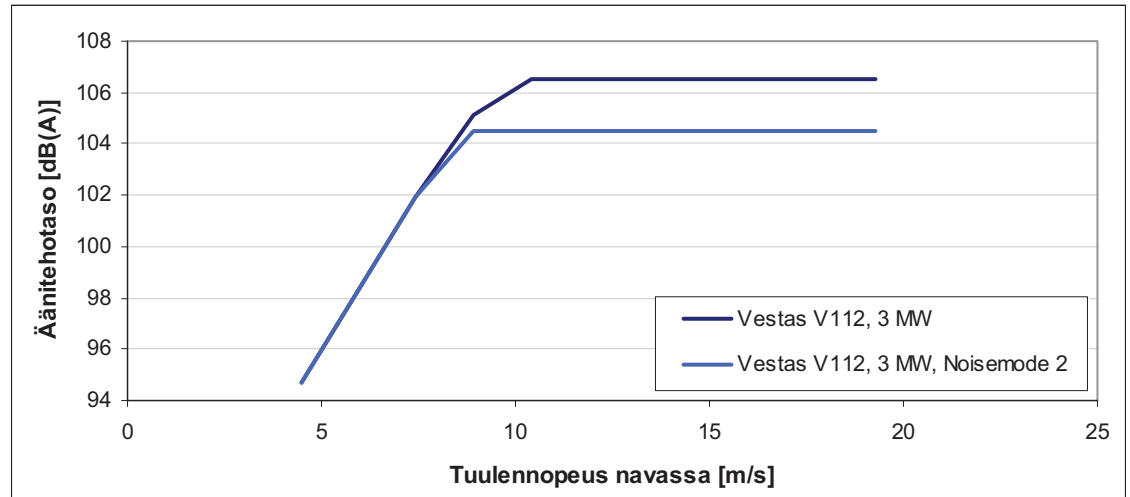
6 MALLINNETUT TUULIVOIMALATYYPIT

Melumallinnuksessa on käytetty yhtä 3 MW tuulivoimalatyyppiä (Vestas V112) vaihtoehdossa 1 (VE1, 50 x 3 MW), vaihtoehdossa 2 (VE2, 27 x 3MW) ja vaihtoehdossa 3 (VE3, 39 x 3 MW). Tuulivoimalan äänispektri terssikaistalla on saatu käyttäen arvoja kirjallisuudesta (*Moller & Pedersen 2012, Vestas 2012*). Alla on esitetty melumallinnuksessa käytetty kunkin oktaavikaistan painottamaton spektriarvo [dB(L)] sekä A-taajuuspainotettu kokonaisarvo 95% nimellisteholla [dB(A)] ja ilmakehän stabiilisuudella $m=0.16$ eli neutraali siten, kuin se on annettu laitevalmistajan tuotespesifikaatiossa.

Taulukko 6-1. Mallinnettujen tuulivoimalaitosten äänitehotaso kokonaislukuna, L_w

Voimalatyyppi	Oktaavikaistat, Hz									YHT
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
V112, 3 MW	117	117	112	105	102	102	99	94	86	107

Alla kuvassa *Kuva 6-1* on esitetty lisäksi äänitehotason muutos ja melun optimointiajon vaikutusta laitevalmistajan tuotespesifikaatiosta tuulennopeuden funktiona, kun tuulennopeus mitataan voimalan navan korkeudelta. Kuvasta voi huomata äänitehotason huomattavan nousun (noin 3 dB / (m/s)) alhaisilla tuulennopeuksilla sekä sen tasoittumisen kovemmilla nopeuksilla.



Kuva 6-1. Laittevalmistajan äänitehotasoja taattuna (Vestas) ilmakehän stabiilisuusarvolla $m = 0.16$ (neutraali).

7

MELUMALLINNUS JA LASKENTAPARAMETRIT

Taulukossa *Taulukko 7-1* on esitetty laskentamallien parametrit.

Taulukko 7-1. Laskentamallien parametrit.

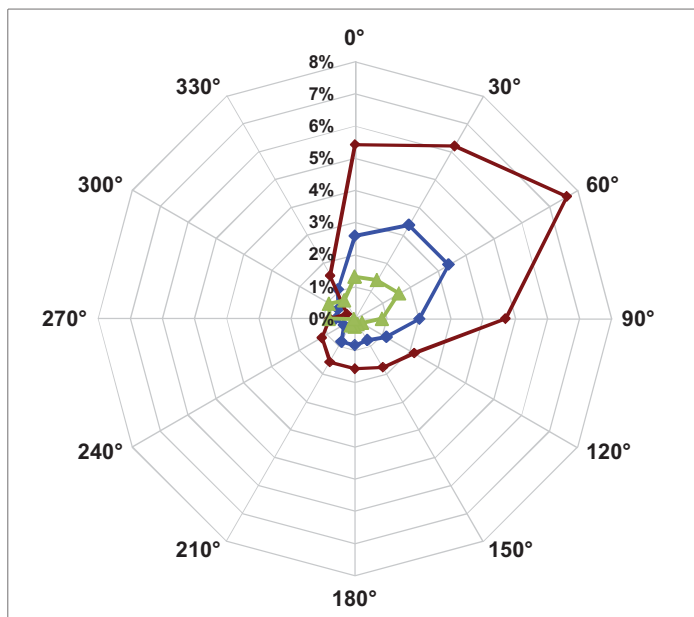
Lähtötieto	
Mallinnusalgoritmit	Keskiäänitason kartat: Pohjoismainen teollisuusmelumalli Pientaajuinen melulaskenta: Mukautettu Tanskalainen tuulivoimalaitosmelun numeerinen laskentamalli
Sääolosuhteet	Yleinen keskiäänitaso LAeq, 11 m/s: Ilman lämpötila 0 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 %. Kesäajan tilanne LAeq, 7m/s, Ilman lämpötila 10 °C, ilmanpaine 101,325 kPa, ilman suhteellinen kosteus 70 %.
Laskentaverkko	Laskentapiste 10 x 10 metrin välein laskentaverkolla 2 metrin korkeudella seuraten maanpintaa
Maanpinnan kovuus	G=0 kaikille alueille, kova maanpinta.
Objektien heijastuvuus	Reseptorilaskennat: arvolla 1 (kertaheijastus)
Jaksollisuus, amplitudimodulaatio	Ei huomioitu
Lisätoleranssit	3 tuulivoimalalle VE mallissa (Peuravaaran laen voimalat)

8 ALUEEN LYHYT TUULISUUSANALYYSI

Alueen tuulisuutta on tarkasteltu tässä lyhyesti käyttäen apuna Suomen Tuuliatlaksen laskennallisia tuulisuustietoja mallinnetun meluemission mukaisille tuulisuuksille eli yli 10 m/s. Kuvassa *Kuva 8-1* on laskettu tuulisuusarvoja myötätuulen puolelle vuotuisesti (vaaleansininen käyrä), tammikuussa (ruskea käyrä) ja heinäkuussa (tummansininen käyrä). Tulosten perusteella vallitseva tuulensuunta yli 10 m/s tuulisuuksilla on selkeästi lounaasta ja etelä-lounaasta. Siten myötätuulen puolen tilanteet ovat tuulivoimalan melun suuntaavuuden huomioimisen jälkeen pääsääntöisesti välillä 330°–150° (alueen pohjois-itäpuolella), jonne suurin melukuormituskin kohdistuu. Vastakkaiselle puolelle (alueen etelä ja länsipuolelle) voidaan olettaa, että vastatuuleen syntyvä varjoalue vähentää melukuormitusta erityisesti etäisyyden kasvaessa. Kaikkiaan jäädään kuitenkin alle 8 %:n esiintyvyyksiin kunkin osasuunnan osalta tuulisimmankin kuun osalta.

Lisäksi on huomioitava että kesäkuukausien keskituulennopeuden mukaan laskettu äänitehotaso (eli laskennallinen lähtöäänitaso voimalalle), olisi noin 6 dB alhaisempi kuin tässä laskemassa käytetty äänitehotaso. Tässä selvityksessä on kesäajalle laskettu omat erilliset kartat siten, että kesäajan keskituulennopeutta < 7 m/s vastaava äänitehotaso on korotettu 2 dB:llä laskennan epävarmuuskorjauksena, sillä Tuuliatlas (2012) ei erottele päivä ja yöajan tuulisuustilanteita.

Melumalleissa on esitetty % -osuudet lasketun tuulisuuden mukaisille todennäköisyyksille kuhunkin suuntaan. Luvussa on huomioitu melulähteen suuntaavuustekijät (*Taulukko 7-1*).



Kuva 8-1. Weibull jakauman kautta lasketut myötätuulen tilanteen (% ajasta kuukausitasolla).

9 SOVELLETTAVAT VERTAILUOHJEARVOT

Ympäristöministeriö on esittänyt Tuulivoiman suunnittelua koskevassa dokumentissa (OH 4/2012, Tuulivoimarakentamisen suunnittelu) tuulivoimapuistoja koskeviksi suositushjearvoiksi asuinkehteille LAeq = 45 dB(A) klo 07–22 ja LAeq = 40 dB(A)

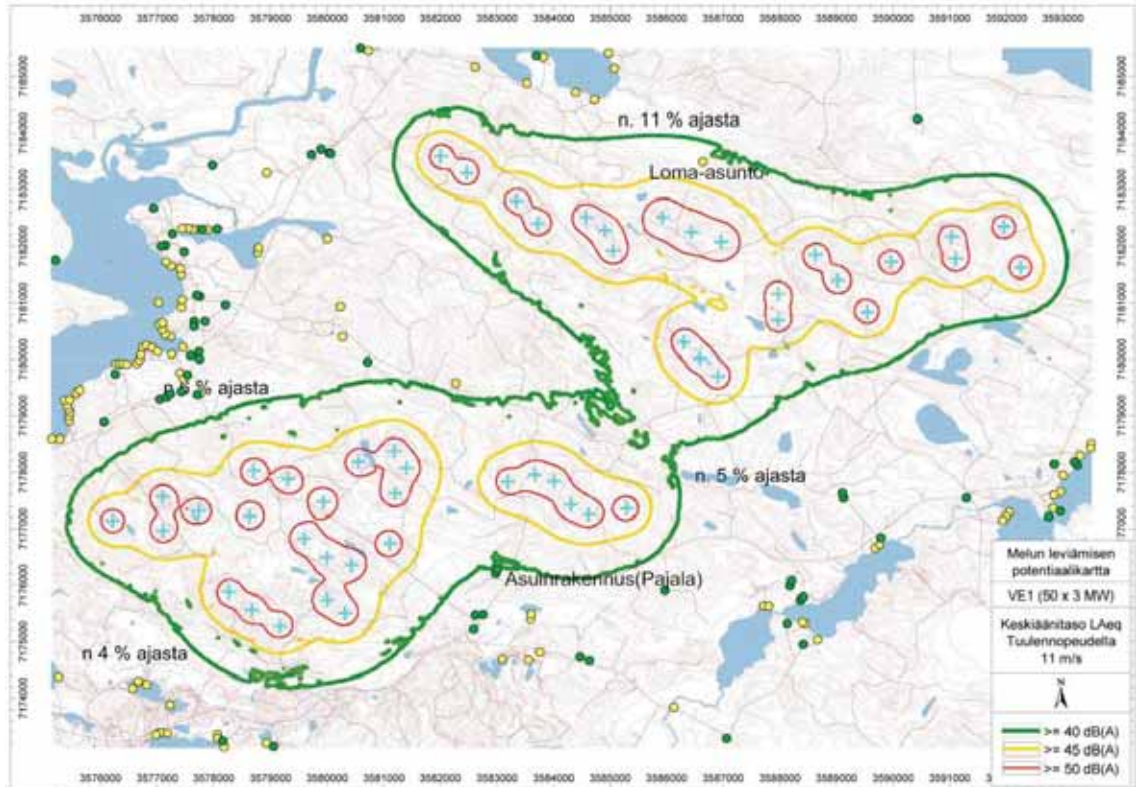
klo 22–07. Näistä jälkimmäinen on määräävä vertailuarvo tyypillisesti yöajan korkeamman tuulisuuden vuoksi (mm. usein esiintyvä stabiili ilmakedä). Vastaavasti taajaman ulkopuolisille loma-asutuskohteille suositushjearvona käytetään LAeq = 40 dB(A) klo 07–22 ja LAeq= 35 dB(A) klo 22–07. Lisäksi ohjeessa annetaan Leq, 1h ohjearvorajat pientaajuisen melun ohjearvoista sisätiloissa terssikaistoittain taajuuksilla 16–160 Hz. Yleisiä ilmäänen 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 lisätään laskenta- tai mittaustulokseen 5 dB ennen suunnitteluohjearvoon vertaamista.”

10 MELUMALLINNUSTULOKSET, VE1

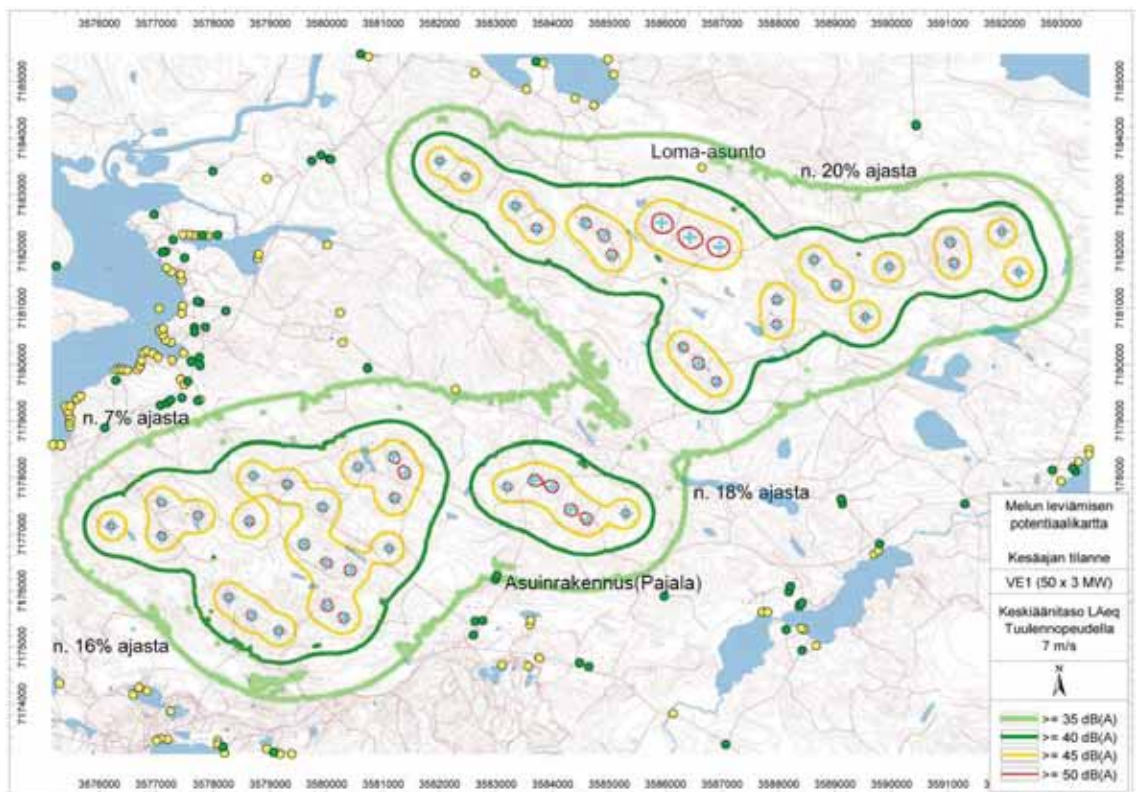
Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta voimaloiden lukumäärältään suurimmalle VE1 hankevaihtoehdolle (50 x 3 MW) on esitetty kuvissa *Kuva 10-1* ja *Kuva 10-2* sekä liitteessä 1.

Laskennan perusteella alueen eteläosaan kohdistuva melukuormitus rajoittuisi alle 40 dB(A):n tasolle LAeq lähimmässä immissiopisteessä (Pajala, asuinrakennus) laskennan mukaisen tuulisuuden vallitessa myötätuulen puolella.

Alueen pohjoispuolella on useita loma-asuntoja, joista lähimmässä kohteessa (”erämaja”) ollaan laskennan mukaan jo selkeästi yli ohjearvon (37 dB(A)). Etäisyys on tällöin lähimpään Peuravaaran laella sijaitsevaan tuulivoimalaan noin 1250 m. Laskennassa on kuitenkin huomioitu +3 dB:n lisätoleranssi Peuravaaran kummalle sijoitettujen laitosten melun lähtöäänitasoille, sillä korkeusero napakorkeuden ja reseptoripisteen välillä on noin 210 m. 35 dB(A):n yöajan ohjearvon ylitys olisi kuitenkin mahdollinen myös ilman laskennallista lisätoleranssia.



Kuva 10-1. Melumallinnustulos vaihtoehdossa VE1.



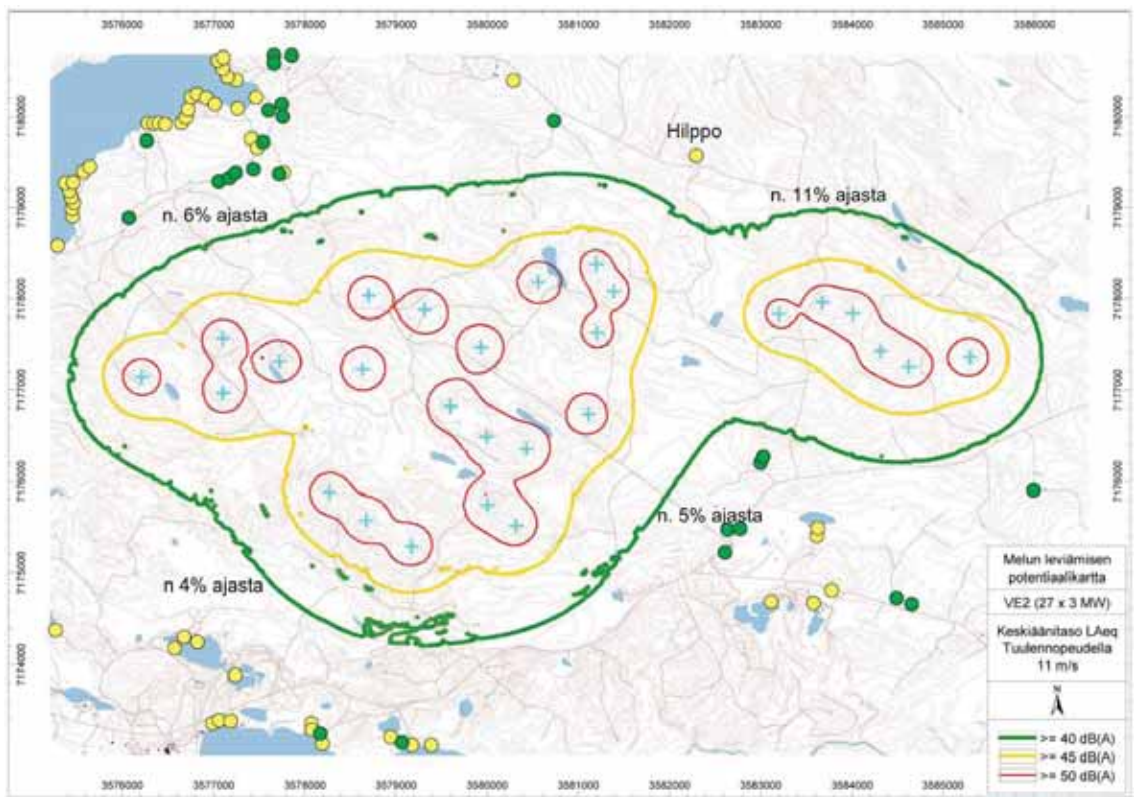
Kuva 10-2. Melun leviämisen potentiaalikaarta, kesäajan tilanne, VE1.

11 MELUMALLINNUSTULOKSET, VE2

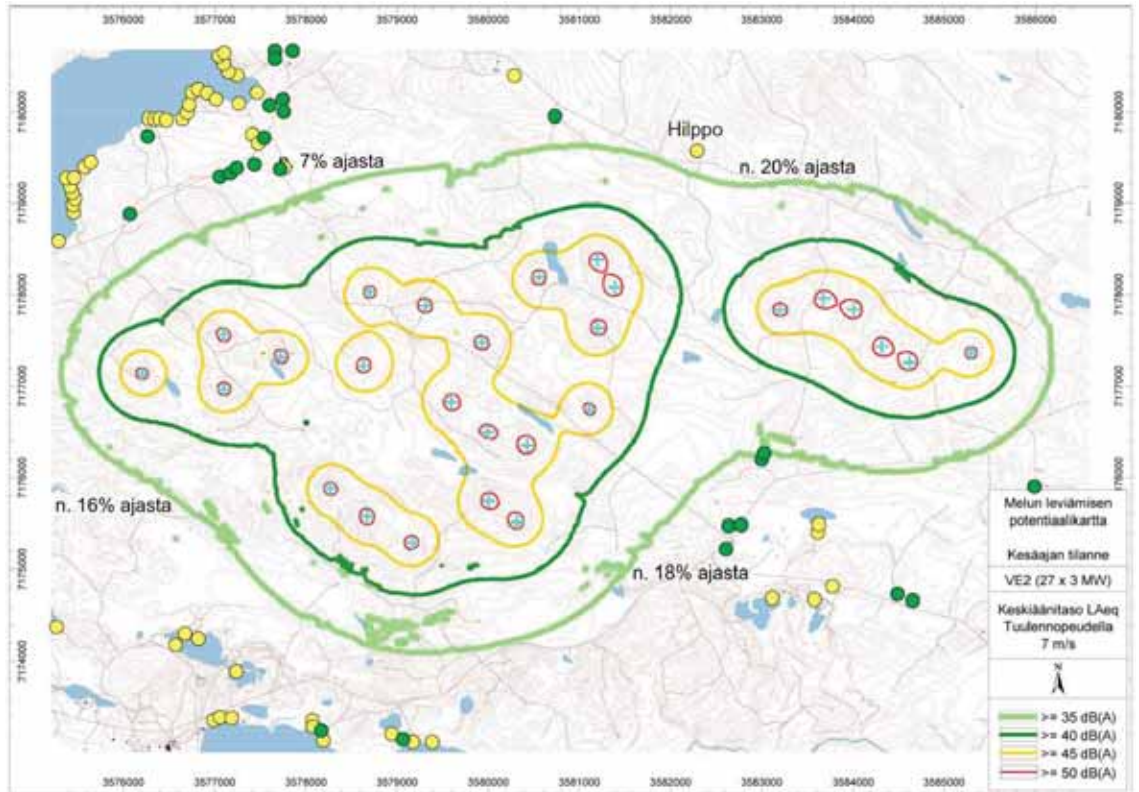
Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE2 hankevaihtoehdolle (27 x 3 MW) on esitetty kuvissa *Kuva 11-1* ja *Kuva 11-2* sekä liitteessä 1.

Tässä vaihtoehdossa hankealueen pohjoiset voimalat on nyt kokonaan poistettu ja jäljelle jää 27 voimalaa alueen eteläosaan.

Kesäajan keskimääräisen napakorkeuden tuulisuuden < 7 m/s mukaan laskettuna melutaso jäisi lähimmässä loma-asuinkohteessa (Hilppo) alle ohjearvon (noin 34 dB(A)). Muiden hankealueen ympärillä olevien asuinkohteiden osalta jäädään alle 40 dB(A):n yöajan ohjearvon.



Kuva 11-1. Melumallinnustulos vaihtoehdossa VE2.

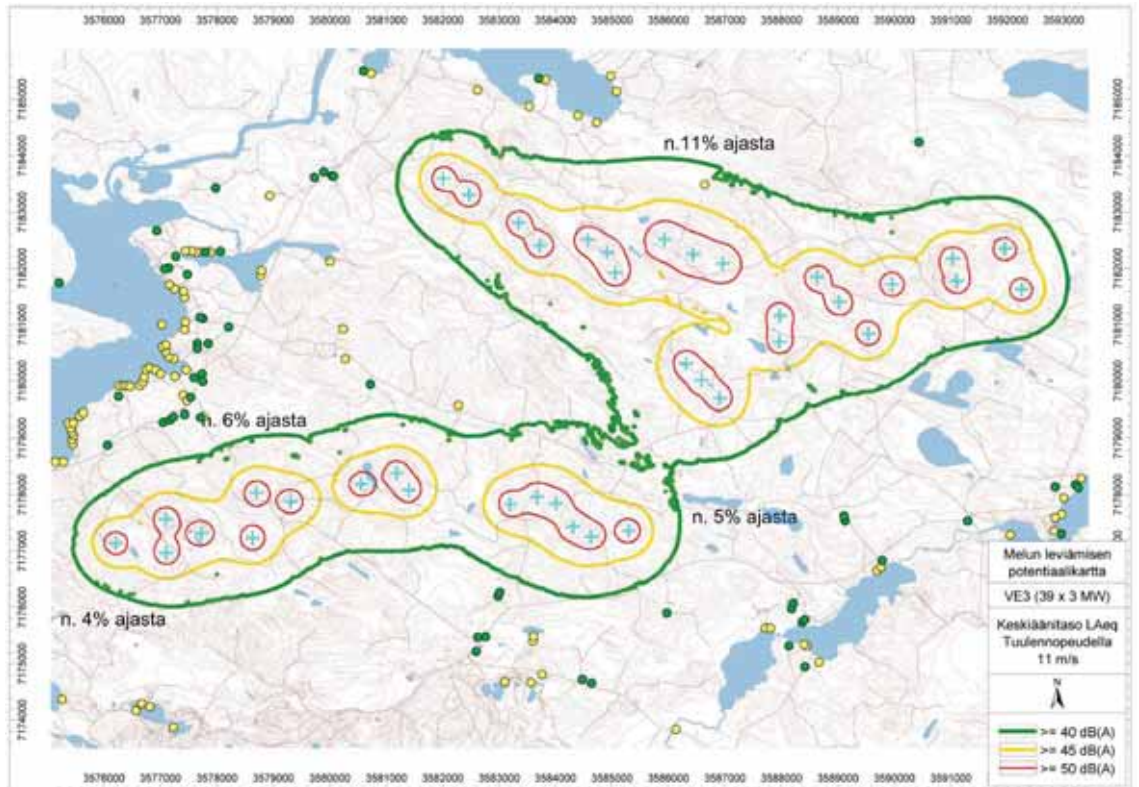


Kuva 11-2. Melun leviämisen potentiaalikaarta, kesäajan tilanne, VE2.

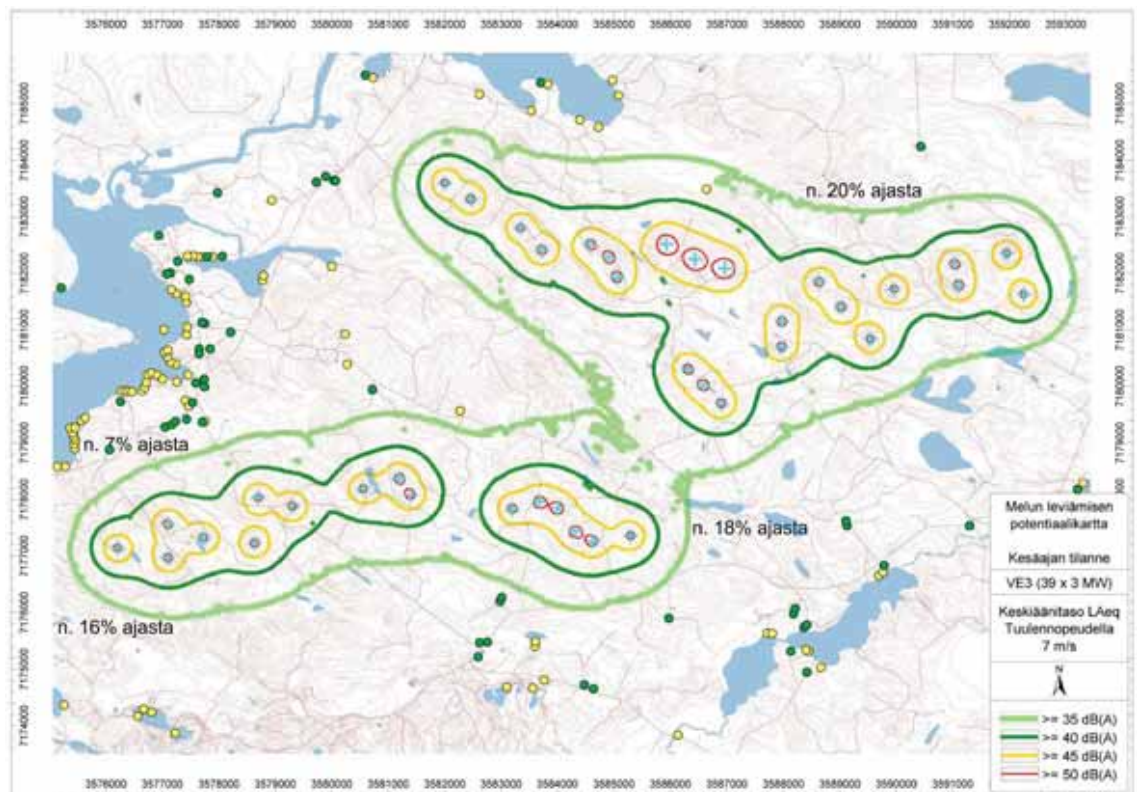
12 MELUMALLINNUSTULOKSET, VE3

Melumallinnustulokset melun potentiaalisen leviämisen osalta VE3 hankevaihtoehdolle (39 x 3 MW) on esitetty kuvissa *Kuva 12-1* ja *Kuva 12-2* sekä liitteessä 1.

Tässä vaihtoehdossa hankealueen eteläosan voimaloita on vähennetty hankevaihtoehdosta VE1 havaitun sääksenpesän vuoksi. Alueen eteläosan asuin-kohteissa sekä alueen keskiosan lomakohteissa laskennan mukainen melutaso on nyt noin 1 dB pienempi kuin hankevaihtoehdossa VE1. Hankealueen pohjoispuolella ei ole merkittävää muutosta VE1 hankevaihtoehtoon verrattuna.



Kuva 12-1. Melumallinnustulos vaihtoehdossa VE3.



Kuva 12-2. Melun leviämisen potentiaalikartta, kesäajan tilanne, VE3.

13 PIENTAAJUINEN MELU

Pientaajuinen melu mallinnettiin omana laskentanaan uutta vuonna 2012 julkaistua Tanskalaista mallia hyödyntäen (*Moller & Pedersen 2010, Pedersen 2012*) kahteen reseptoripisteeseen VE1 hankevaihtoehdon osalta, siten että rakennukselle oletetaan varsin heikko ilmastieristävyys.

Laskenta on suoritettu seuraavalla yhtälöllä:

$$L_{pA} = L_{WA,ref} - 20\log(r) + \Delta L_{g,sea} - \Delta L\alpha - \Delta L\sigma - 11, \text{ missä} \quad (1)$$

$L_{WA,ref}$ = äänilähteen näennäinen äänitehotaso IEC61400-14 standardin mukaan

r = suora etäisyys voimalan navan ja reseptoripisteen välillä

$\Delta L_{g,sea}$ = maanpinnan yli leviävän pientaajuisen melun pintaheijastuksen impedanssi

$\Delta L\alpha$ = ilmakhän impedanssi

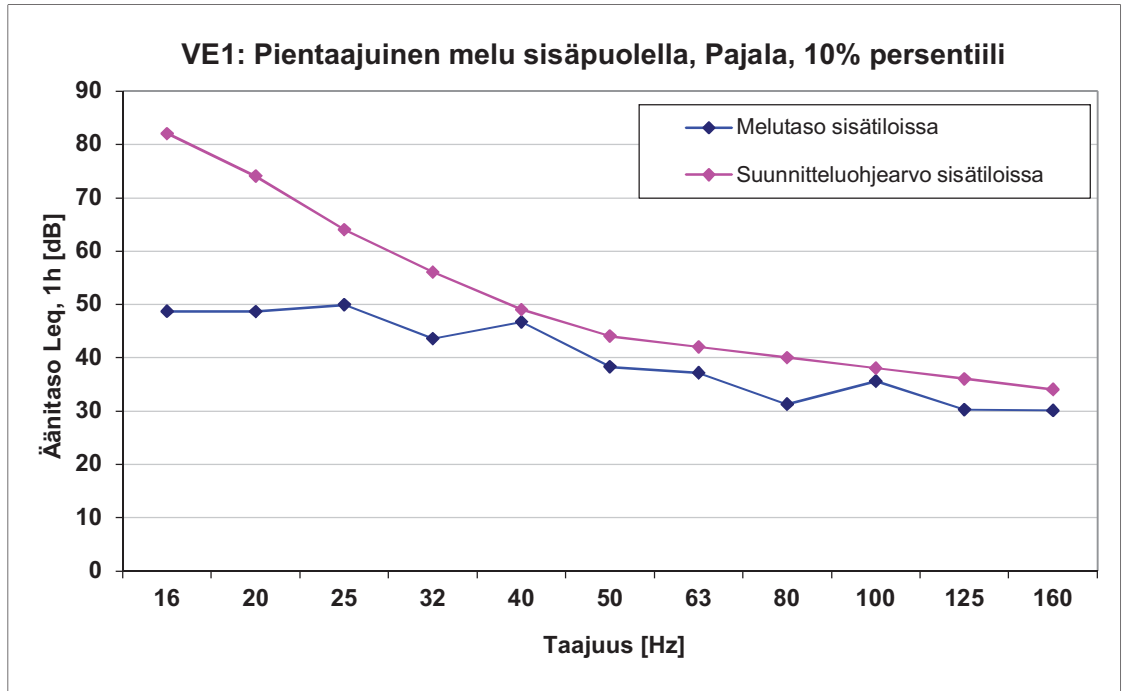
Äänilähteen näennäinen äänitehotaso ("apparent sound power level", IEC 61400-14), on saatu kirjallisuudesta. (*Moller & Pedersen 2012*)

Lisäksi laskenta ottaa huomioon ilmastieristykseen arvon, jolle 10 % persentiili antamat arvot on esitetty taulukossa *Taulukko 13-1*.

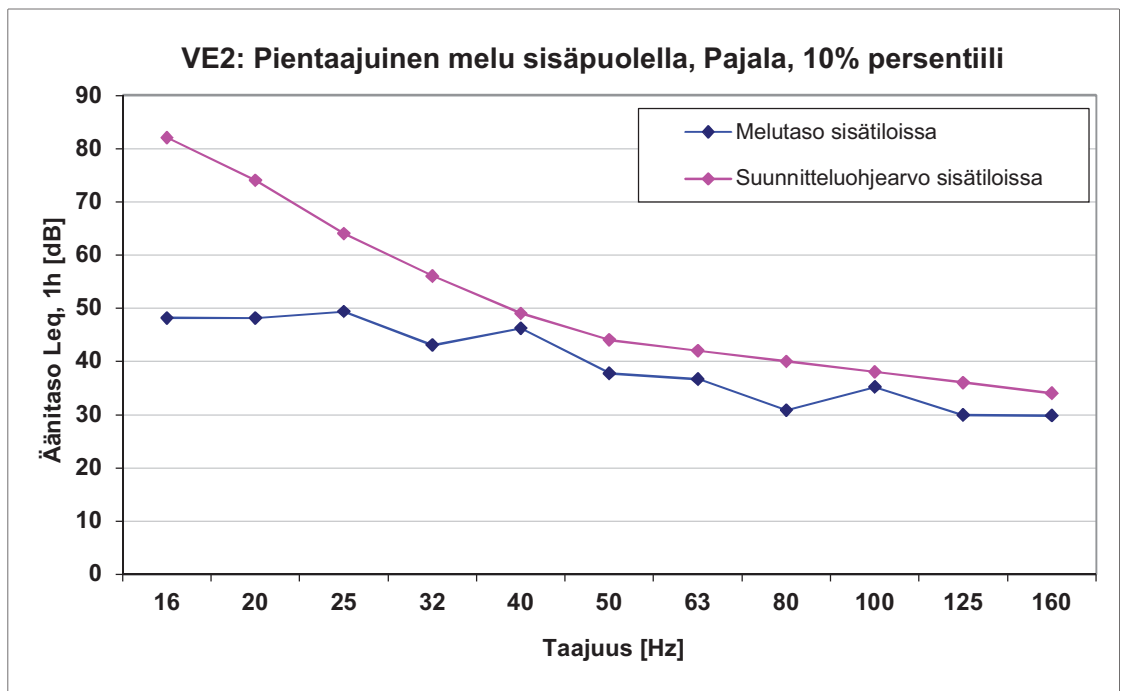
Taulukko 13-1. Rakennusten ilmastieristävyys, Tanska, 10% persentiili. (*Pedersen 2012*).

f [Hz]	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
ΔL_{σ}	1	4	2	3	0	6	12	13	12	11	9

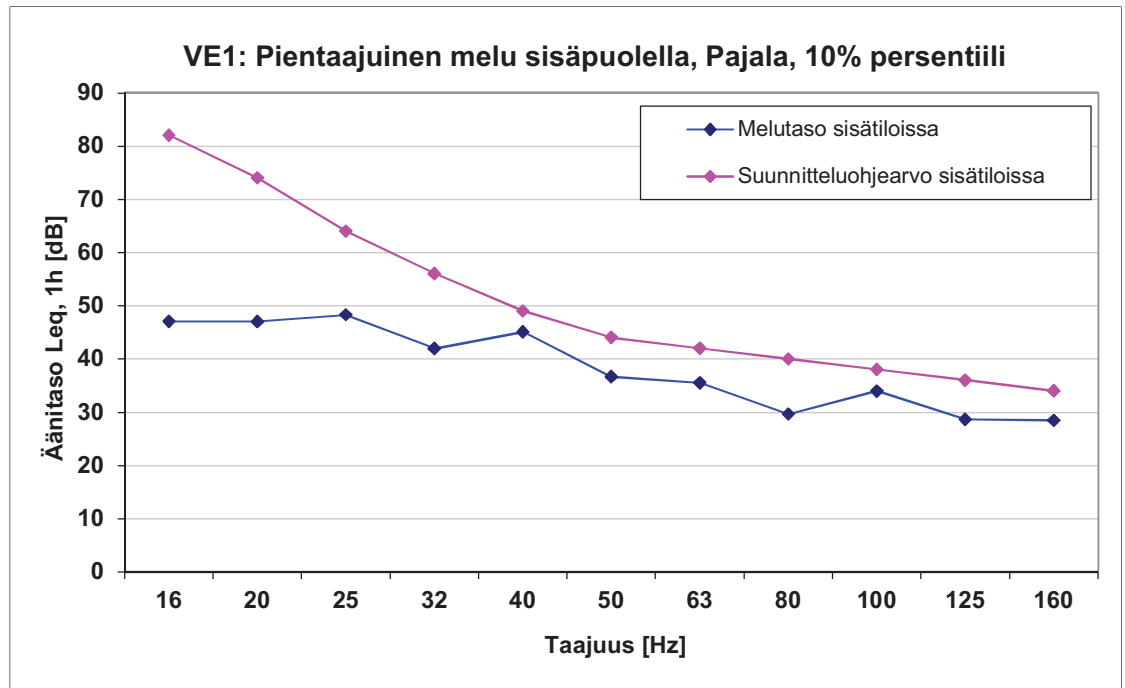
Altistuvan kohteen reseptoripisteeksi valittiin hankealueen eteläpuolella sijaitseva asuinkohde (Pajala), jossa laskentapiste on asetettu asuinrakennuksen eteen. Seuraavat kuvat *Kuva 13-1*, *Kuva 13-2* ja *Kuva 13-3* esittävät pientaajuisen melun tilannetta eri hankevaihtoehdoissa rakennuksen sisätiloissa verrattuna tuulivoiman suunnitteluoppaan ohjearvoihin, kun ilmastieristykselle on käytetty kirjallisuusviitteen varsin matalaa 10 % persentiiliä (*Taulukko 13-1*).



Kuva 13-1. Pientaajuisen melun laskennallinen osuus sisätiloissa reseptoripisteessä Pajala, hankevaihtoehto VE1.



Kuva 13-2. Pientaajuisen melun laskennallinen osuus sisätiloissa reseptoripisteessä Pajala, hankevaihtoehto VE2.



Kuva 13-3. Pientaajuisen melun laskennallinen osuus sisätiloissa reseptoripisteessä Pajala, hankevaihtoehto VE3.

Tulosten perusteella pientaajuinen melu voi erottua rakennuksen ulkopuolella alkaen taajuuksista yli 50 Hz. Rakennuksen äänieristuksen jälkeen, ohjearvo näyttäisi alittuvan kaikissa hankevaihtoehdoissa. Koska rakennus sijaitsee alueen eteläpuolella, on hankevaihtoehdolla VE3 pienin vaikutus pientaajuisen melun kokonaismäärään.

14 VAIHTOEHTOJEN VE0, VE1, VE2 JA VE3 VERTAILU

Hankkeen meluvaikutusten osalta voidaan laskennan perusteella päätellä, että hankkeen suurimman lukumäärän vaihtoehdolla VE1 on myös laajimmat meluvaikutukset, sillä melun kokonaisleviämisalue on sidoksissa voimaloiden lukumäärään. Hankealue jakautuu kuitenkin hyvin laajalle alueelle, jossa voimaloiden sijaintimuutoksilla voidaan ehkäistä myös meluvaikutuksia muiden vaikutusten ohella (VE3). Hankevaihto VE2 jää luonnollisesti melun leviämisalueeltaan pienimmäksi, mutta ei ehkäise tehokkaasti esim. alueen eteläosaan kohdistuvaa melua. VE2 poistaa meluvaikutukset alueen pohjoislaidalla kokonaan.

15 RAKENTAMISEN AIKAISET MELUVAIKUTUKSET

Tässä selvityksessä ei ole mallinnuksin tarkasteltu rakennusajan melua sen vaihtelevuuden vuoksi. Rakennusaikainen melu koostuu metsätöiden, tietöiden ja maankaivuun melusta rakennushankkeen alkuajana. Melu on luonteeltaan vaihtelevaa ja voi sisältää satunnaisia iskumaisia ääniä. Hetkellisesti rakennusaikainen melu voidaan kuulla asuin- ja lomakohteissa riippuen työvaiheista, mutta rajoittuen todennäköisesti päiväajan työskentelyyn.

16 MELUN VAIKUTUKSET ALUEEN ÄÄNIMAISEMAAN

Tuulivoimalaitosten melu voi muuttaa alueen äänimaisemaa, mutta muutokset ovat ajallisesti ja paikallisesti vaihtelevia. Suurin muutos voidaan havaita altistuvien kohteiden luona tilastollisen myötätuulen puolella eli hankesuunnitelma-alueiden pohjois- ja itäosissa. Alueen altistuvat kohteet ovat keskimäärin varsin kaukana tuulivoimaloista, jolloin melun erottuminen on hyvin pitkälti säätilasta riippuvainen. Melun erottumista lisääviä säätekijöitä ovat stabiili ilta- ja yöajan alailmakehä, kostea säätila ja voimakas alailmakehän inversio. Melu voidaan havaita paremmin myötätuuliolosuhteissa ja heikommin (tai ei lainkaan) vastatuuliolosuhteissa. Mitä kauempana laitoksista ollaan, sitä enemmän ilmakehän absorptio vaimentaa korkeita taajuuksia jättäen jäljelle vain matalimpia tuulivoimamelun taajuuksia. Lisäksi tuulivoimamelun amplitudimodulaation eli ajallinen pulssimainen melu, voi erottua taustakohinan läpi ulkona kuunneltaessa. Uudet voimalat ovat kuitenkin hitaasti pyöriä siipien kärkivälin merkittävän pituuden vuoksi, mistä syystä modulaation erottuminen voi kohdistua enemmän vain kovemmille tuulennopeuksille. Tällöin etenkin aerodynaaminen melu voi kuulostaa matalataajuiselta lentomelulta ("kuminaa"), jolla on jatkuvasti vaihteleva, mutta yleisesti varsin matala äänitaso. Tuulivoimamelun sosiaalisia vaikutuksia ja vaikutuksia porotalouteen on selvitetty selostuksen kappaleessa 5.18.

17 HAITALLISTEN VAIKUTUSTEN EHKÄISEMINEN JA LIEVENTÄMINEN

Tuulivoimalaitoksia on mahdollisuus ajaa meluoptimoidulla ajolla, jolloin esim. roottorin pyörimisnopeutta rajoitetaan kovemmilla tuulennopeuksilla siiven lapakulmaa säätämällä. Säätoparametreiksi voidaan tyypillisesti valita tuulennopeus, tuulensuunta ja kellonaika. Meluoptimoitu ajo rajoittaa vastaavasti voimalan äänitehotaso. Muuta merkittävää meluntorjuntaa ei voida laitoksille suorittaa, ellei voimalaa pysäytetä kokonaan. Esimerkiksi tässä selvityksessä käytetyn laitevalmistajan meluoptimointiajo (ks. *Kuva 6-1*) vähentää äänitason korkeimman taatun äänitason osalta 2 dB.

Laskentatulosten perusteella tämän selvityksen hankevaihtoehtojen osalta voidaan voimalan optimointiajolla päästä ohjearvolle hankevaihtoehtoissa VE1 ja VE3 lähimmän alueen pohjoisosan lomarakennuksen suhteen, jos oletetaan laskennan mukainen kesäajan keskimääräinen tuulennopeus ja sitä vastaava korotettu äänitehotaso.

18 VAIKUTUSTEN SEURANTA

Rakentamisen jälkeen meluvaikutusten seuranta voidaan suorittaa melumittauksin, joista ohjeistetaan myös Ympäristöministeriön tulevassa oppaassa. Mittauksin voidaan varsin luotettavasti todeta melutasot, melun luonne sekä tehdä vertailuja mallinnettuihin melutasoihin ja annettuihin melun suunnittelun ohjearvoihin.

19 LÄHTEET

Moller, C. & Pedersen, C.S 2010. Low frequency noise from large wind turbines. Acoustical Society of America Vol 129, No 6, June 2010.

Moller, H. & Pedersen, C. 2012. Assessment of low-frequency noise from wind turbines in Maastricht. City Council of Maastricht.

- Nelson, D.A 2007.** Perceived loudness of wind turbine noise in the presence of ambient sound.
- Oerlemans, S. & Schepers, J.G. 2009.** “Prediction of wind turbine noise directivity and swish”, Proc. 3rd Int. conference on wind turbine noise, Aalborg, Denmark.
- Pedersen, C. (2012).** Low-frequency noise from large wind turbines – additional data and assessment of new Danish regulations. Low frequency noise conference 2012, Conference Proceedings, Startford-upon-Avon, UK.
- Saarinen, A. 2011.** Tuulivoimaloiden meluvaikutukset, Tuulivoimarakentamisen neuvottelupäivä, Ympäristöministeriö 23.11.2011.
- Siponen, D. 2011.** Noise Annoyance of Wind Turbines. VTT Research Report VTT-R-00951-11, 2011.
- Tuuliatlas 2012.** Suomen Tuuliatlas. <<http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>> 15.11.2012.
- Van den Berg G.P 2007.** “The sound of high winds: the effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise”, Doctoral Thesis, University of Groningen, Netherlands.
- Vestas 2012.** Vestas V112 3 MW Specifications. Vestas Wind Systems A/S.
- Ympäristöministeriö 2012.** Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012. Ympäristöministeriö.