

**Raahen eteläisten ja itäisten, sekä Kopsan
tuulivoimapuistojen yhteisvaikutukset - melu**

Sisältö	1	Johdanto
	2	Tuulivoimaloiden aiheuttama melu
	3	Tuulivoimamelun häiritsevyys ja sovellettavat vertailuohjeavot
	4	Melun yhteisvaikutuslaskennan lähtötiedot
	5	Melulaskennan tulokset hankealueiden yhteisvaikutusten osalta
	6	Lähteet

Jakelu

Finnish Consulting Group
Metsähallitus Laatumaa
Innopower Oy
Puhuri Oy
Suomen Hyötytuuli Oy
TuuliWatti Oy

1 JOHDANTO

Seuraavassa on esitetty Raahen eteläisten ja itäisten, sekä Kopsan tuulivoimapuistojen aiheuttaman melun yhteisvaikutusten mallinnuksen lähtöparametrit ja tulokset. Hankkeissa on mukana useita hankevastaavia, jotka vastaavat eri tuulivoimapuistojen kehittämisestä (hankevastaavien kehittämät tuulivoimapuistot on esitetty suluissa). Raahen eteläiset tuulivoimapuistot -hankkeessa toimivat hankevastaavina TuuliWatti Oy (Haapajärvi, Rautionmäki ja Sarvankangas) ja Puhuri Oy (Ketunperä ja Ylipää). Raahen itäiset tuulivoimapuistot -hankkeessa toimivat hankevastaavina Suomen Hyötytuuli Oy (Annankangas, Hummastinvaara, Nikkarinkaarto, Pöllänperä ja Yhteinenkangas), Innopower Oy (Someronkangas) ja Metsähallitus Laatumaa (Annankangas). Kopsan tuulivoimapuistohankkeesta vastaa Puhuri Oy.

2 TUULIVOIMALOIDEN AIHEUTTAMA MELU

Tuulivoimaloiden käyntiääni koostuu pääosin laajakaistaisesta (noin 100 - 2000 Hz) lapojen aerodynaamisesta melusta sekä hieman kapeakaistaisemmista sähköntuotantokoneiston yksittäisten osien meluista (mm. vaihteisto, generaattori sekä jäähdytysjärjestelmät). Aerodynaaminen melu kuullaan usein kohinamaisena äänenä, jossa on jaksollinen rytmi. Aerodynaaminen melu voi myös aiheuttaa viheltävää ääntä esim. siipivaurioiden yhteydessä. Pääosa tuulivoimalan meluemission äänienergiasta painottuu pientaajuisten melun alueelle. Ihminen kykenee havaitsemaan pientaajuisten melun taajuuksia lähtien 16 Hz:stä. (*Asumisterveysohje, 2003*)

Tuulivoimamelussa esiintyvä amplitudimodulaatio (äänitason ajallinen lasku ja nousu) on todettu olevan merkittävä häiritsevyystekijä tuulivoimamelussa suhteessa muihin melulähteisiin (esim. tasainen teollisuusmelu tai tieliikennemelu) (*VTT Research Report, 2011*). Häiritsevyyden on todettu kasvavan nopeammin kuin tieliikennemelun häiritsevyys alkaen jo alhaisilla äänitasoilla lähtien 35 dB(A):stä.

Sään vaikutus on merkittävä tekijä melun leviämisessä, jonka leviäminen ympäristöön riippuu maaston pinnanmuodoista, kasvillisuudesta ja sääoloista, kuten tuulen nopeudesta ja suunnasta, sekä lämpötilasta. (*Di Napoli 2007*). Moderni tuulivoimala on varsin korkea äänilähde ja melun syntymekanismiin vuoksi pääosa melusta emittoituu keskimäärin voimalan napakorkeudelta.

Voimaloiden ryhmittely suhteessa meluherkkään kohteeseen vaikuttaa melun leviämiseen. Esimerkiksi asuinkehteiden kanssa samansuuntaisessa rivissä olevat voimalat voivat aiheuttaa myötätuuliosuhteissa suurempaa melua, sillä toimiessaan lähes samalla roottorin kierrosnopeudella voi amplitudimodulaation esiintyvyys kasvaa (synkroninen vaikutus). Tuulivoimamelun luonteeseen kuuluukin suuri ajallinen vaihtelevuus niin äänitasossa kuin äänen luonteessa. Yhdessä paikassa tehdyn melumittauksen tulokset eivät välttämättä lainkaan päde muiden tuulivoimapuistojen meluvaikutusta arvioitaessa. Tilastollinen tuulisuus, tuulen puuskaisuus, maasto ja alueen yleinen kaavoitus ovat oleellisia tekijöitä haittavaikutuksia估imoitaessa.

Taustamelu ja tuulen aiheuttama aallokko- ja puustokohina voivat peittää tuulivoimaloiden melua, mutta peittoäännet ovat ajallisesti vaihtelevia. Tuulivoimalan melun luonne (amplitudimodulaatio), sekä taustamelun vuorokautinen ajallinen vaihtelu sekä luonnollisen taustamelun (kasvillisuus, puusto, aallokko) taajuusjakauman eroavaisuus voivat heikentää taustamelun peittovaikutusta.

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.

3 TUULIVOIMAMELUN HÄIRITSEVYYS JA SOVELLETTAVAT VERTAILUOHJEARVOT

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. tuulivoimaloiden näkyvyys, vastaajan ikä, yleinen asenne voimaloita kohtaan, yksityisyyden häiritseminen sekä hankkeisiin osallistuminen. Tutkimuksissa havaittiin merkittävä ero häiritsevyytuloksissa tilanteessa jossa vastaaja oli taloudellisesti riippuvainen tuulivoimahankkeesta. Tällöin häiritsevyys pienentyi usein hyvin pieneksi, mutta se ei kuitenkaan estänyt äänen kuuluvuutta (melun todellinen leviäminen). Suomessa ei ole tehty vastaavan laajuisia kyselytutkimuksia hankkeiden vähydestä johtuen. Melun häiritsevyysvaikutukset ihmisten terveyteen ovat merkittävimpiä univaikeuksien kautta (*Night Noise Guidelines for Europe, 2009*).

Ympäristöministeriön on antanut ohjeen tuulivoimasuunnittelun melutason ohjearvoista (Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012) meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyvyyden turvaamiseksi (Taulukko 1).

Taulukko 1. Melun suunnitteluohjearvot tuulivoimahankkeissa, Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012

MELUN KESKIÄÄNITASON L _{AEQ} SUUNNITTELUOHJEARVOT	PÄIVÄLLÄ KLO 7–22	YÖLLÄ KLO 22–7
Asumiseen käytettävät alueet, loma-asumiseen käytettävät alueet taajamissa ja virkistysalueilla	45 dB	40 dB
Loma-asumiseen käytettävät alueet, leirintäalueet, virkistysalueet taajamien ulkopuolella ja luonnonsuojelualueet	40 dB	35 dB

4 MELUN YHTEISVAIKUTUSLASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Raahen seudun eteläisten ja itäisten, sekä Kopsan tuulivoimapuistojen melun yhteisvaikutusten arviointi suoritettiin käyttäen CadnaA v. 4.2 melumallinnusohjelmistoa. Mallinnuksen lähtötietoina käytettiin hankevastaavilta saatuja tuulivoimalaitosten äänitehotasoja, jotka vaihtelivat 103 dB(A):stä 106,5 dB(A):iin. Mallinnusohjelmassa on käytetty melun taajuuskaistoja oktaavikaistoittain. Oheisessa taulukossa (Taulukko 2) on lueteltu melulaskennan lähtötiedot, sekä laskentaohjelmassa käytetyt parametrit perusteluineen.

Taulukko 2. Raahen eteläisten ja itäisten, sekä Kopsan tuulivoimapuistojen melulaskennan lähtötietoja

Hankealue (ET = eteläiset, IT = itäiset)	Äänitehotaso [dB(A)]	Laskettujen voimaloiden lukumäärä ja napakorkeus
Rautionmäki (ET)	106,5 dB(A)	13 kpl, 140m
Ketunperä (ET)	106,5 dB(A)	9 kpl, 140m
Haapajärvi (ET)	106,5 dB(A)	4 kpl, 140m
Ylipää (ET)	106,5 dB(A)	11 kpl, 140m
Sarvankangas (ET)	106,5 dB(A)	28 kpl, 140m
Yhteinenkangas (IT)	105 dB(A)	20 kpl, 140m
Someronkangas (IT)	105 dB(A)	11 kpl, 140m
Annankangas (IT)	106,5 dB(A)	19 kpl, 150m
Nikkarinkaarto (IT)	105 dB(A)	24 kpl, 150m
Kopsa	106,5 dB(A)	17 kpl, 140m
Hummastinvaara (IT)	105 dB(A)	17 kpl, 123m
Pöllänperä (IT)	103 dB(A)	2 kpl, 100m
YHT		175 kpl

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3) on esitetty laskentaohjelmassa käytetty äänitehotaso oktaavikaistoittain kaikkien voimaloiden osalta. Arvot eivät päde kuitenkaan todellisuudessa kuin suurimman äänitehotason laitostyypille (Vestas V112) takuutestin mukaisella tuulenopeudella neutraalissa säätilassa (stabiilisuusindeksi $m=0.16$). Hankesuunnitelmissa mukana olevista voimaloista ei ole kaikista olemassa vielä pätevää äänitehotason taajuusjakaumaa oktaavi- tai terssikaistoittain.

Taulukko 3. Laskennassa käytetyn referenssivoimalan äänen A-taajuuspainotettu spektrijakauma oktaaveittain, dB (A)

	Hz									
Taajuuskaista	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	YHT
Taajuusjakauma	74	86	95	102	102	99	95	90	85	106,5

Melulaskennan parametrit on valittu siten, että ne noudattavat kansainvälisiä suosituksia tuulivoimaloiden melun leviämisen laskemiseksi voimaloista pois päin. Melun leviäminen on laskettu käyttäen pohjoismaista teollisuusmelumallia (General Prediction Method). Lavan jättöreunamelun sekä yleisesti lavasta emittoituvan aerodynaamisen melun suuntaavuudesta johtuen meluemissio tapahtuu käytännössä aina vähintään voimalan napakorkeudelta, jolloin melun vaikutusalue ulottuu laajemmalle alueelle verrattuna tilanteeseen, jossa melulähde sijaitisi matalammalla (esimerkiksi liikennemelun mallinnus). Kansainvälisesti käytössä olevien

melulaskentaohjeiden mukaisesti (mm. *Wind Turbine Noise, 2011*) melumallinnus on edellä mainitusta äänen suuntaavuudesta johtuen tehty käyttäen laskennassa kovaa maanpintaa ($G=0$) koko laskenta-alueella, vaikka maanpinta sinänsä ei ole alueella kauttaaltaan kovaa, vaan osin pehmeää. Lisäksi mallissa ei ole huomioitu esteitä.

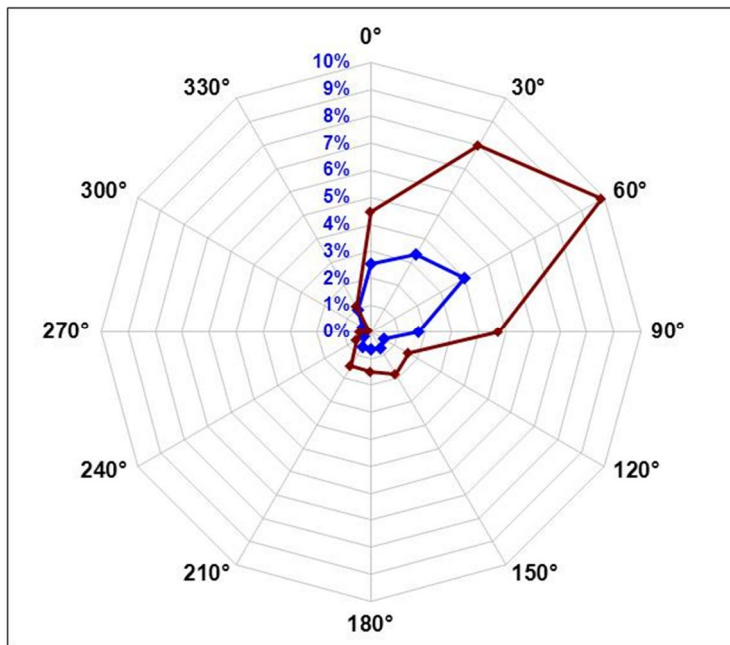
Tuulivoimalan meluemissiolähteen korkeus erottaakin sen selkeästi omaksi laskennakseen esim. tieliikennemeluun verrattuna. Kovan maanpinnan käyttämistä laskennassa voidaan pitää perusteltuna myös siksi, että äänitehotasotiedossa ei ole käytetty tyypillistä takuuarvon epävarmuutta. Laskenta on suoritettu kauttaaltaan 2 metrin korkeudelle vallitsevasta maanpinnan tasosta. Ruotsissa on mm. käytössä tuulivoimamelun käsinlaskentamalli, jossa arvioidaan maavaimennuksen olevan merkittävämpi vasta kilometrin leviämävaimennuksen jälkeen ja vastaten kovaa maanpintaa siis kilometriin asti. Siten tässä suoritettu laskenta antaa todennäköisesti hieman konservatiivisia tuloksia kauempana laitoksista ($> 1-1.5$ km) esim. pidemmän aikavälin keskiäänitason tarkastelussa.

Melulaskenta ei huomioi amplitudimodulaation, pientaajuisen melun tai kapeakaistaisen melun häiritsevyysvaikutusta hankealueiden tuulivoimaloiden tyyppisuunnitelmien keskeneräisyyden vuoksi. Mikäli jotakin näistä havaitaan hankesuunnitelmien implementointivaiheessa merkittävässä määrin, tulee laskentatuloksiin lisätä +5 dB:n melun häiritsevyyskorjaus ainakin arviolta noin kilometrin etäisyydellä voimaloista. Lisäksi laskenta ei huomioi pahimman tilanteen mukaista meluvaikutusta esim. ilmakehän inversiotilanteissa, joissa melu voi voimakkaasti kaareutua alaspäin ja näin vaimentua vähemmän etäisyyden kasvaessa, eikä myöskään voimakkaan myötätuulen aikaista tilannetta. Laskentamalli sen sijaan olettaa, että emissiolähteestä lähtevä melu leviää joka suuntaan kevyen myötätuulen vallitessa.

Vastaavasti melulaskenta ei myöskään huomioi alueen vallitsevia tuulennopeuksia tai niiden keskiarvoja. Tuulen pisyvyyskäyrän käyttäminen varsinaisissa melulaskennoissa on osoittautunut kuitenkin vaikeaksi tuulen voimakkaiden hetkellisvaihteluiden vuoksi (suunta, voimakkuus, pystyprofiili ja turbulentsuus), mutta tulostarkastelussa meluvaikutusten pääpaino on päätuulensuunnan vastakkaisella puolella eli tilastollisella myötätuulen puolella.

Melulaskennan epävarmuus on noin ± 3 dB kilometriin asti voimaloista suurentuen etäisyyden kasvaessa. Huomioitavaa on, että laskennan epävarmuus on melun suuntaavuuden vuoksi suuntautunut siten, että positiivinen epävarmuus on suurempi alueiden luoteis- ja kaakkoispuolten välissä ja vastaavasti negatiivinen epävarmuus suurempi muiden suuntien osalta. Tähän vaikuttaa erityisesti alueen tuulen tilastollinen jakautuminen melulaskennan mukaisen tuulisuustilanteen ja sen ylittävien tuulisuuksien osalta.

Kuva 1. Esimerkki alueen tuulisuusjakaumista vuotuisesti (sininen käyrä) sekä tammikuussa (ruskea käyrä) > 10m/s tuulisuuksilla, alueena Annankangas, 150m keskikorkuedesta. Kuvassa tuulijakauma on käännteinen, jolloin %-asteikko kuvaa myötatuulen tilanteita. on tammikuun tilanne ja sininen vuotuinen tilanne. Lähde: Suomen Tuuliatlas, 2009



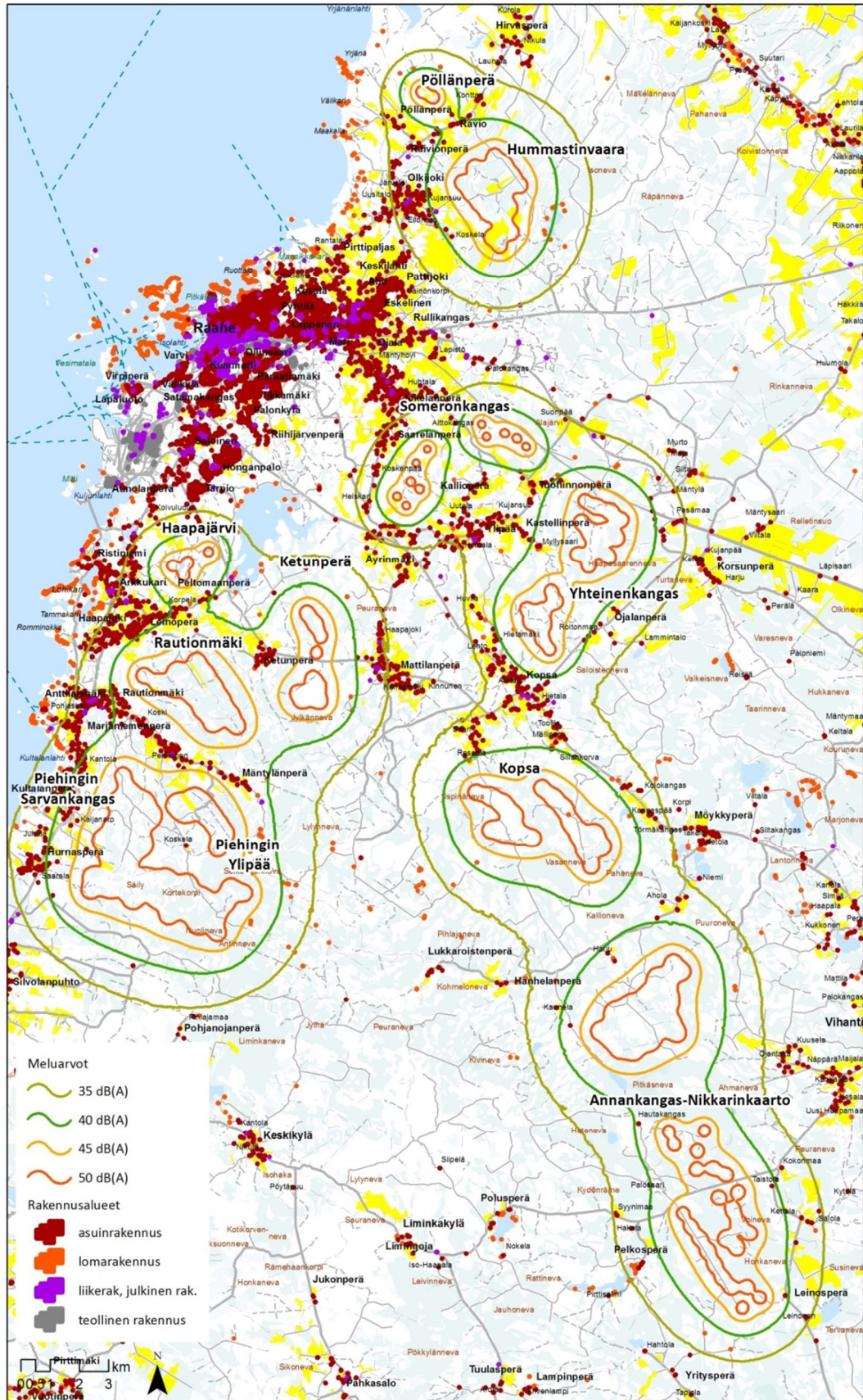
5

MELULASKENNAN TULOKSET HANKEALUEIDEN YHTEISVAIKUTUSTEN OSALTA

Melulaskennan keskiäänitason L_{Aeq} käyrät on laskettu melun yhteisvaikutuslaskelmaksi (Kuva 2) 35 dB(A):n vyöhykkeeseen asti. Kuvasta nähdään, että hankkeilla on varsin laaja melun leviämisaalue. Alueen tuulisuustilaston perusteella (Suomen Tuuliatlas 2009) pääpaino melun vaikutuksilla on alueen itä- ja luoteispuolien välillä, sillä alueen kovemmat tuulet (kaikki > 10 m/s napakorkeuden tuulet) puhaltavat pääsääntöisesti etelän ja lännen väliltä (kuva 1).

Laskennan perusteella voi todeta, että Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen, Raahen itäisten tuulivoimapuistojen ja Kopsan hankkeen väliset yhteisvaikutukset (välillä itä-länsi) eivät ole merkittäviä ja jäävät 35 dB(A):n meluvyöhykkeiden ulkopuolelle (Kuva 2). Koska lounaisen puoleinen päätuulensuunta korostaa koilliseen päin leviävää melua ja vastaavasti supistaa melun vyöhykkeitä samaan aikaan alueiden lounaispuolella (melun varjoalue), voidaan olettaa meluvyöhyke-erojen pysyvän jotakuinkin tasaisina myös eri tuulensuuntien aikana. Raahen eteläisten tuulivoimapuistojen keskinäiset yhteisvaikutukset, samoin kuin itäisten tuulivoimapuistojen keskinäiset yhteisvaikutukset, ovat merkittävämmät, kuin näiden kahden hankekokonaisuuden (eteläiset ja itäiset) aiheuttamat yhteisvaikutukset.

Molempien hankekokonaisuuksien, sekä Kopsan tuulivoimapuiston aiheuttamia meluvaikutuksia on käsitelty erikseen kunkin hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä.



Kuva 2. Raahen eteläisten ja itäisten, sekä Kopsan tuulivoimapuistojen aiheuttaman melun leviäminen, kun tuulennopeus on noin 11 m/s napakorkeudella ja leviäminen on oletettu tapahtuvan joka suuntaan yhtäaikaaisesti (perinteinen yksinkertainen esitystapa).

6

LÄHTEET

Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Helsinki 2003.

Di Napoli, C. 2007. Tuulivoimaloiden melun syntytavat ja leviäminen. Suomen ympäristö 4/2007.

Night Noise Guidelines for Europe, WHO, 2009.

VTT Research Report (2011). Noise Annoyance of Wind Turbines. VTT-R-00951-11, 2011.

Wind Turbine Noise, Multi Science Publishing, 2011.

Ympäristöministeriö 2012. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. -
Ympäristöministeriön opas. LUONNOS 29.2.2012.
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135064&lan=fi>