

TUULIVOIMALAMELUN PITKÄAIKAISMITTAUS

Valtteri Hongisto¹, Jukka Keränen¹

¹ Turun ammattikorkeakoulu, sisäympäristön tutkimusryhmä
Lemminkäisenkatu 14-18 B
20520 Turku
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

Tiivistelmä

Tuulivoimamelun äänenpainetason mittaukset altistuvassa kohteessa tapahtuvat ympäristöhallinnon ohjeen 4-2014 mukaan. Näihin lyhytkestoisiin mittauksiin perustuvien tulosten luotettavuus on kyseenalaistettu joidenkin viranomaisten, tutkijoiden ja asukkaiden parissa. Tavoitteena oli selvittää, miten äänenpainetaso vaihtelee tuulivoima-alueen lähellä reilun 5 kk jaksolla. Tutkimus toteutettiin Porin Peittoon tuulivoima-alueesta 600 metrin päässä sijaitsevan asuinrakennuksen pihamaalla. Tulosten perusteella ympäristöhallinnon ohjeen [1] mukaiset mittaukset edustavat hyvin tuulivoima-alueen aiheuttamaa suurinta äänenpainetasoa ainakin tutkitulla pihamaalla.

1 JOHDANTO

Tuulivoimamelun äänenpainetason mittaukset altistuvassa kohteessa tapahtuvat ympäristöhallinnon ohjeen [1] mukaan olosuhteissa, joissa tuuli käy tuulivoima-alueelta päin nimellisen sähköntuotantotehon (myöh: tehon) aikaansaavalla voimakkuudella. Ohjeen mukaisten sääolosuhteiden toteutuminen edellyttää yleensä useiden kuukausien odotusta. Jähkä mittaukset lopulta voidaan toteuttaa, ne kestävät yleensä vain muutaman tunnin. Mittausta tehdään vähintään 30 minuuttia voimaloiden käydessä. Taustamelukorjauksen tekemiseksi mittausta tehdään lisäksi vähintään 30 minuuttia voimaloiden ollessa pysäytettyinä. Mittaustulokset edustavat vain mittausajankohdalla vallinneita olosuhteita.

Lyhytkestoisiin mittauksiin perustuvien tulosten luotettavuus on kyseenalaistettu joidenkin viranomaisten, tutkijoiden ja asukkaiden parissa. Tulokset voidaan perustellusti kyseenalaistaa käytännössä vain toistamalla mittaukset vastaavassa paikassa.

Tavoitteena oli selvittää, miten äänenpainetaso vaihtelee tuulivoima-alueen lähellä reilun 5 kk mittausjaksolla ja miten äänenpainetaso riippuu sääoloista ja tuotantotehoista.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkittavana oli Porin Peittoon tuulivoima-alue, jossa on 12 kpl 4.5 MW tuulivoimaloita (Gamesa G128, napakorkeus 140 m, äänitehotaso 108.6 dB L_{WA}).

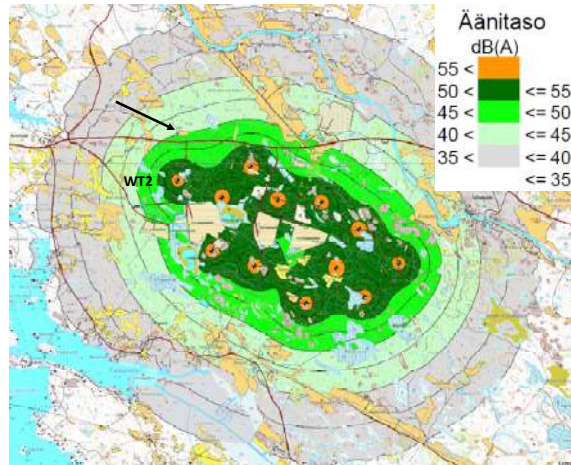
Mittaus tehtiin noin 600 metrin päässä tuulivoima-alueen reunalta (Kuva 1) sijaitsevan kiinteistön (Porin Saaristotie 862) pihamaalla tutkimusjaksolla 20.8.2015 - 26.1.2016 (5 kk 5 pv). Kiinteistön pihamaalla oli toteutettu ohjeen [1] mukaiset mittaukset edellisenä vuonna [2]. Tuloksena saatiin tuulivoimaloiden aiheuttamaksi A-painotetuksi äänenpainetasoksi 44 dB L_{Aeq} . Tällä tutkimuksella haluttiin selvittää, poikkeako äänenpainetaso raportoidusta [2] pitkällä aikavälillä, kun sääolosuhteet vaihtelevat.

Dataa kerättiin tallentavalla äänitasomittarilla (Norsonic NOR140), johon oli kytketty mikrofoni (Norsonic NOR1225). Mikrofonin sijoitettiin tuplatuulisuojan (Microtech GEFELL GFM 920) sisälle asuintalon seinäpinnalle tuulivoima-alueen puolelle (Kuva 2). Mittaustuloksiin tehtiin -6 dB:n korjaus [3].

Raakadataa tallennettiin 0.125 sekunnin välein 1/3-oktaaveittain alueella 20 - 20000 Hz. Raakadatatista laskettiin ensin 2 sekunnin ekvivalenttitasot $L_{A,eq,2s}$ tasaisuusehdon testaamiseksi. Lisäksi raakadatatista laskettiin 10 minuutin ekvivalenttitaso.

Melumittarin kello synkronoitiin 1 sekunnin tarkkuudella samaan aikaan kuin tuulivoima-alueen operaattorin kello ennen mittausten aloittamista.

Tuulivoima-alueen voimaloilta saatiin sää- ja tehotiedot 10 minuutin keskiarvoina. Raakadatatista saatiin yhteensä 22872 kpl onnistuneita 10 minuutin jaksoja.



Kuva 1. Mittauspiste sijaitsi Peittoon tuulivoima-alueen pohjoispuolella. Ramboll Oy:n tekemän melukartan mukaan (6.2.2015) äänenpainetaso on siinä noin 44 dB $L_{A,eq}$.



Kuva 2. Mikrofonin rakennuksen seinäpinnalla ja näkymä vastakkaiseen suuntaan.

Noin 200 metrin päässä asunnosta sijaitsee Porin Saaristotie, jossa nopeusrajoitus on 80 - 100 km/h. Sekä henkilöautot että raskas liikenne aiheuttavat merkittävää taustamelua: ohiajo kuuluu noin minuutin ajan. Taustamelua aiheutuu myös tuulesta, puiden huminasta ja luontokappaleiden äänistä. Näistä syistä dataa karsittiin kolmella ehdolla:

1. Perusehto: kaikki data hyväksytään, paitsi jaksot, joina melumittauslaite ei ole toiminut tai talossa oli päiväkirjan mukaan vierailtu.

2. Spektriehto: hyväksyttiin perusehdon täyttävästä datasta 10 minuutin jaksot, jotka täyttivät spektri ehdon

$$(1) \quad L_{A,eq,10min} - L_{A,HI,eq,10min} > 4 \text{ dB}$$

missä $L_{A,eq,10min}$ on taajuusalueen 20 - 20000 Hz A-painotettu ekvivalenttitaso ja $L_{A,HI,eq,10min}$ on taajuusalueen 800 - 20000 Hz A-painotettu ekvivalenttitaso. Ehto tarkoittaa sitä, että em. taajuusalueen osuus äänitasoon $L_{A,eq,10min}$ on alle 1.5 dB. Toisin sanoen, jos ääni sisältää paljon ääntä yli 800 Hz:llä, kyseessä ei ole todennäköisesti tuulivoimala.

3. Vaihtelevuusehto: hyväksytään perusehdon täyttävästä datasta 10 minuutin jaksot, jotka täyttivät tasaisuusehdon

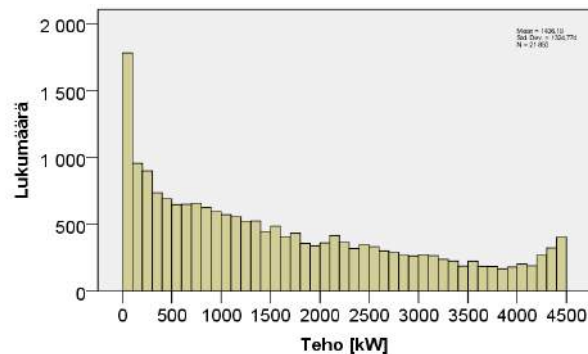
$$(2) \quad L_{A5} - L_{A95} < 4 \text{ dB}$$

missä 5 % ja 95 % pysyvyytasot, L_{A5} ja L_{A95} , määritettiin jokaisen 10 minuutin jakson sisällä 2 sekunnin ekvivalenttitasoista $L_{A,eq,2s}$. Toisin sanoen, jos äänitaso vaihtelee paljon, kyseessä on todennäköisesti auto tai tuulenpuuskia, eikä tuulivoimalan ääni.

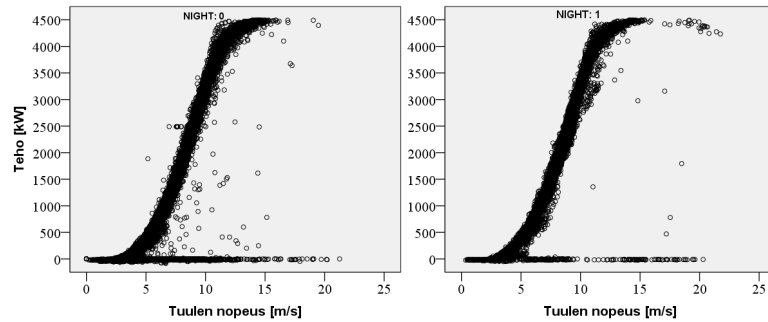
Ehto 1 perustuu maalaisjärkeen. Ehdot 2 ja 3 perustuvat ruotsalaiseen tutkimukseen [4].

3 TULOKSET

Kuva 3 esittää lähimmän voimalan WT2 tehon jakautumista tarkastelujaksolla. Maksimaalinen ääniemissio toteutuu, kun tuotantoteho on vähintään 89 % maksimitehosta (4 MW). Tuotantoteho 4 MW ylittyi noin 8 % ajasta koko 5 kk tutkimusjaksolla.



Kuva 3. Voimalan WT2 tehon jakautuminen tutkimusjakson aikana 100 kW välein.

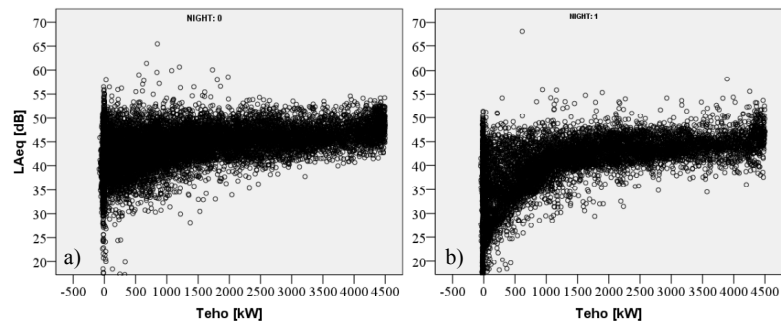


Kuva 4. Tehon riippuvuus napakorkeudella 140 m vallinneesta tuulen nopeudesta koko tutkimusjaksolla a) päiväaikaan klo 07-22 ja b) yöaikaan klo 22-07. N=21850

Kuva 4 esittää voimalan WT2 tehon riippuvuuden tuulen nopeudesta napakorkeudella 140 m maanpinnasta (v_{140}). Kukin ympyrä edustaa yhtä 10 minuutin datapistettä. Perusehdon täyttäviä pisteitä oli 21850 kpl. Suurimman osan ajasta tuotantoteho riippuu tuulen nopeudesta. Poikkeustilanteita on kuitenkin useita, jolloin voimala ei tuottanut sähköä voimakkaakaan tuulen aikana.

Kuvassa 5 esitetään pihamaalla vallinneen äänenpainetason riippuvuus tehosta. Suuria äänenpainetasoja esiintyy yhtä paljon sekä pienillä että suurilla tehoarvoilla. Tämä kertoo siitä, että taustamelu aiheutti jatkuvasti yhtä voimakasta tai voimakkaampaa ääntä kuin tuulivoimalat. Kun voimalan teho kasvoi, alhaiset äänenpainetasot hävisivät. Tämä kertoo siitä, että voimaloiden osuus äänenpainetasoista kasvoi merkittäväksi. Tämän vuoksi oli perusteltua tarkastella äänen riippuvuutta tehosta alueella > 1000 kW erityisesti yöaikaan, kun autoliikennettä on vähemmän.

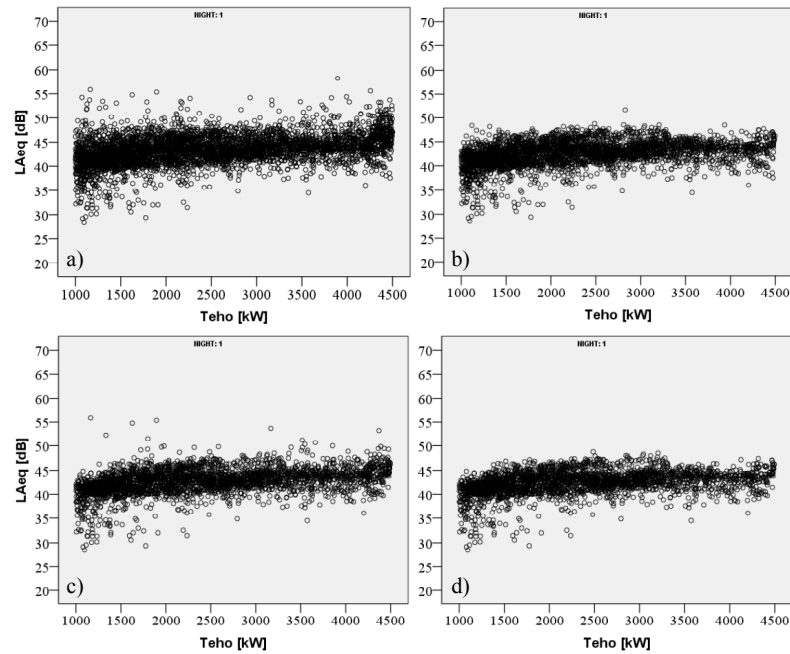
Kuvan 6 sarja esittää, miten spektrierto ja tasaisuusehto toimivat yksin ja yhdessä yöajan datalle, kun voimalan WT2 teho oli yli 1000 kW.



Kuva 5. Äänenpainetason $L_{A,eq,10min}$ riippuvuus voimalan WT2 tehosta koko tutkimusjaksolla perusehdon täyttävissä jaksoissa (N=21211). a) Päiväaika. b) Yöaika.

Varsinaiset tulokset on esitetty Taulukossa 1. Niiden tarkastelussa keskitytään yöajan riiveihin, koska niissä taustamelua on vähiten. Äänenpainetaso $L_{A,eq}$ (myöh. taso) koko tutkimusjaksolla oli 40 dB yöaikaan. Hajonta on kuitenkin suurta, koska ilman ehtoja 1-3 tai tehokriteerejä data sisältää enemmän taustamelua kuin tuulivoimaloiden ääniä.

Voimalan WT2 käydessä täydellä teholla (yli 4 MW) taso oli yöaikaan perusehdolla 45.4 dB, spektriehdolla 43.4 dB, tasaisuusehdolla 44.2 dB ja spektri- ja tasaisuusehdon yhdistelmällä 43.3 dB. Viimeisessä tapauksessa keskihajonta on enää 2.0 dB. Analyysin perusteella mittauspisteessä vallitseva äänenpainetaso keskiarvo on välillä 43 - 45 dB $L_{A,eq}$, kun voimalat käyvät lähes täydellä teholla ($P > 4$ MW).



Kuva 6. Äänenpainetaso $L_{Aeq,10min}$ riippuvuus voimalan WT2 tehosta koko tutkimusjaksolla tehoalueella 1000 - 4500 kW yöaikaan. a) Perusehdolla. b) Spektriehdolla. c) Vaihtelevuusehdolla. d) Spektri- ja vaihtelevuusehdolla yhtäaikaan.

4 POHDINTA

Tuloksissa raportoidut äänenpainetasot eivät sisällä taustamelukorjausta, koska mittauksia ei tehty tuulivoimaloiden ollessa sammutettuna vastaavilla tuulennopeuksilla. Mittaustulokset eivät tämän vuoksi edusta tuulivoimaloiden melua vaan parhaimmillaan korkeatasoista arviota siitä, mitä tuulivoimaloiden äänenpainetaso enintään voisi olla. Spektriehdon ja tasaisuusehdon läpäissyt data edustaa tällaista korkeatasoista arviota. Spekt-

riehdon ja tasaisuusehdon läpäisseen datan mittausepävarmuus on tutkijoiden arvion mukaan enintään ± 3 dB.

Äänenpainetaso lähes täysteholla (yli 4 MW) oli yöaikaan 43.3 dB, kun oli sovellettu sekä spektri- että tasaisuusehtoa. Tulos perustuu 186 kpl 10 minuutin mittausjaksoon (31 tuntia). Tulos vastaa mittausepävarmuuden rajoissa hyvin samassa kiinteistössä tehtyä lyhytaikaista mittaustulosta 44 dB [2].

Tulosten perusteella ympäristöhallinnon ohjeen [1] mukaiset mittaukset edustavat hyvin tuulivoima-alueen aiheuttamaa suurinta äänenpainetasoa ainakin tutkitulla pihamaalla.

KIIKOKSET

Tutkimuksen rahoitti TuuliWatti Oy. Kiitokset rahoittajalle tuulivoima-alueen sää- ja tuotantodatan toimittamisesta. Erityiskiitokset Turku AMK:n opiskelijoille Matias Kitinoja ja Tuomas Lindberg arvokkaasta avusta raakadatan käsittelyssä.

Taulukko 1. Mittaustulokset eri tavoin analysoituna. N kertoo 10 minuutin jaksoiden lukumäärän. KA on keskiarvo ja KH on keskijajonta. P on voimalan WT2 tuotantoteho.

Ehto Tehokriteeri	N	L_{Aeq}	L_{Aeq}
		KA [dB]	KH [dB]
Perusehto	Päiväaika 13233	44.1	4.1
P > 0 MW	Yöaika 7978	40.2	6.4
Perusehto	Päiväaika 6537	45.7	3.0
P > 1 MW	Yöaika 4652	43.4	3.0
Spektriehto	Päiväaika 1712	43.3	2.4
P > 1 MW	Yöaika 3421	42.5	2.6
Tasaisuusehto	Päiväaika 795	43.0	2.6
P > 1 MW	Yöaika 2983	42.7	2.6
Spektri- ja tasaisuusehto	Päiväaika 692	42.6	2.4
P > 1 MW	Yöaika 2706	42.4	2.5
Perusehto	Päiväaika 847	47.7	2.4
P > 4 MW	Yöaika 538	45.4	2.9
Spektriehto	Päiväaika 80	44.7	1.6
P > 4 MW	Yöaika 222	43.4	2.1
Tasaisuusehto	Päiväaika 62	44.8	2.0
P > 4 MW	Yöaika 283	44.2	2.3
Spektri- ja tasaisuusehto	Päiväaika 34	43.8	1.2
P > 4 MW	Yöaika 186	43.3	2.0

KIRJALLISUUS

[1] Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa, Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2014, Rakennettu ympäristö, Helmikuu 2014, 66 s. Ympäristöministeriö.

[2] Pöyry Finland Oy. 14.4.2015. <http://www.tuuliwatti.fi/tiedotteet> (28.4.2015)

[3] ISO 1996-2 (2007) Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of environmental noise levels.

[4] Öhlund, O., Larsson, C. (2015). Meteorological effects on wind turbine sound propagation. Applied Acoustics 89 34-41.