

## TUULIVOIMALAMELUN HÄIRITSEVYYDEN RIIPPUVUUS ÄÄNITASOSTA

Valtteri Hongisto<sup>1</sup>, David Oliva<sup>1</sup>, Jukka Keränen<sup>1</sup>

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

### Tiivistelmä

Suurten tuulivoimaloiden (yli 3 MW) on väitetty aiheuttavan enemmän melun häiritsevyyttä kuin pienten (alle 3 MW) lähiasukkaiden parissa. Tavoitteena oli määrittää melun häiritsevyyden annosvastesuhde suurille tuulivoimaloille (3 - 5 MW). Tutkimus on ainutlaatuinen, koska ulkomaiset vastaavat tutkimukset ovat sisältäneet vain alle 3 MW voimaloita. Poikkileikkaustutkimus toteutettiin kolmella tuulivoima-alueella Suomessa. Otos käsitti kaikki 753 taloutta alle 2 km päässä voimaloista. Kyselyyn osallistui 429 taloutta. Tuulivoimaloiden äänitaso,  $L_{Aeq}$  [dB], mallinnettiin vastaajien pihamaalle ympäristöohjeen mukaan. Annosvastesuhde määritettiin erittäin paljon häiritsevyyttä sisällä raportoitneiden prosenttiosuuden (%HA) ja päivä-ilta-yö-äänitason  $L_{den}$  välillä. Häiritsevyys kasvoi äänitason kasvaessa. Selkein muutos nähdään 40 dB:n kohdalla. Erittäin paljon häiritsevyyttä raportoivien osuus oli 20 % vastaajista, kun äänitaso oli 40 - 45 dB. Osuus oli alle 3 % vastaajista, kun äänitaso oli 35 - 40 dB  $L_{Aeq}$  ja alle 2 %, kun äänitaso oli alle 30 - 35 dB. Annosvastesuhde erosi jonkin verran muttei merkitsevästi Janssenin ym. (2011) julkaisemasta, kun päivä-ilta-yö-äänitaso ylitti 42.5 dB  $L_{den}$ . Heidän tutkimuksensa käsitti merkittävästi pienempiä voimaloita (0.15 - 1.5 MW). Tutkimus ei tue sitä väitettä, että suuret tuulivoimalat häiritsevät enemmän kuin pienet, kun äänitaso on sama.

### 1 JOHDANTO

Annosvastesuhde kertoo, miten melusta voimakkaasti häiritsevyyttä kokevien prosentuaalinen osuus riippuu äänitasosta. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin tuulivoimalamelun häiritsevyyttä asuntojen sisätiloissa, koska suuri osa ajasta kotona vietetään sisätiloissa. Äänitaso puolestaan koskee tuulivoimaloiden A-painotettua äänenpainetasoa pihamaalla, kun voimalat käyvät nimellistehollaan.

Annosvastesuhteiden määrittäminen on tärkeää, koska niiden perusteella tehdään poliittisia päätöksiä kansanterveydellisesti ja -taloudellisesti järkevistä raja-arvoista. Esimerkiksi suomalaisia tuulivoimalamelun ohjeistoja [1] laadittaessa tärkeänä pohjatietona asetyöryhmässä olivat Janssenin ym. (2011) annosvastesuhteet [2], jotka perustuivat kahteen ruotsalaiseen [3,4] ja yhteen hollantilaiseen tutkimukseen [5].

Viime vuonna julkaistiin uusi ja tähän asti laajapohjaisin annosvastesuhde Kanadasta [6], jossa tulokset eivät merkittävästi poikenneet aiemmasta [2].

Nykyaikaiset voimalat ovat lähes pääsääntöisesti vähintään 3 MW kokoisia. Aiemmissä tutkimuksissa [2] voimalat olivat 0.15 ja 3 MW välillä. Suurempien voimaloiden tiedetään myös aiheuttavan suhteellisesti enemmän pientaajuisia ääntä kuin pienempien, vaik-

ka A-äänitaso olisi sama. Viranomaiset, tuulivoimaoperaattorit, tutkijat, konsultit ja kansalaiset haluavat tietää, päteekö aiempien tutkimusten annosvastesuhde myös suurille, yli 3 MW kokoisille voimaloille.

Tavoitteena oli määrittää melun häiritsevyyden annosvastesuhde suurille tuulivoimaloille (3 - 5 MW).

## 2 AINEISTOT JA MENETELMÄT

Poikkileikkaustutkimus toteutettiin kolmella tuulivoima-alueella Suomessa (Taulukko 1). Otos käsitti kaikki 753 taloutta alle 2 km päässä voimaloista. Kyselytutkimukseen osallistui 429 taloutta. Näistä 400:stä saatiin vastaus kysymykseen koskien tuulivoimalamelun häiritsevyyttä sisätiloissa. Alueilla A ja B kyselyt toteutettiin pääasiassa haastatteluina asukkaiden kotona ja vain osa vastasi kyselyyn postitse. Alueella C tilanne oli päinvastoin. Kysely oli 6 sivuinen.

Tässä tutkimuksessa ainoa tarkasteltu riippuva muuttuja on tuulivoimalamelun häiritsevyys sisätiloissa. Tätä tiedusteltiin kysymyksellä: ”*Kuinka häiritsevänä keskimäärin koet tuulivoimaloiden äänet sisällä asunnossa?*” Vastausasteikko on esitetty kuvassa 1. Mittari on sama, jota käytettiin aiemmissa tutkimuksissa [2-5].

Riippumaton muuttuja oli tuulivoimaloiden aiheuttama äänitaso talouden pihamaalla. Se on suurin keskimääräinen A-painotettu ekvivalentti äänenpainetaso,  $L_{Aeq}$  [dB], jonka tuulivoima-alue aiheuttaa. Tilanne toteutuu tyypillisesti ympäristöhallinnon ohjeen [1] mukaisissa olosuhteissa, eli silloin, kun tuuli käy voimaloiden suunnalta riittävän voimakkaana (yli 11 - 13 m/s napakorkeudella, yli 8 m/s 10 m korkeudella). Suurimman osan vuodesta äänitaso on merkittävästi pienempi kuin ohjeen mukaan määritetty  $L_{Aeq}$ .  $L_{Aeq}$  mallinnettiin vastanneiden pihamaalle ympäristöhallinnon ohjeen mukaan [7]. Melumallinnusten varmistamiseksi suoritettiin mittauksia kullakin tuulivoima-alueella ympäristöhallinnon ohjeen mukaisesti [8]. Aiemmissa epidemiologisissa tutkimuksissa [3-6] ei ole tehty näin laajoja varmuuksia mallinnusten tarkkuuksiin liittyen.

**Taulukko 1.** Tuulivoima-alueiden A-C kuvaukset.

	Tuulivoima-alue		
	A	B	C
Tuulivoimaloiden lukumäärä	12	11	3
Voimaloiden nimellisteho [MW]	4.5	3.0 / 3.3	5
Äänitehotaso, $L_{WA}$ [dB]	108.8	106.7 / 107.6	109.6
Tuulivoima-alueen valmistusajankohta	12-2013	12-2012	12-2014
Kyselytutkimuksen ajankohta	1-2015	5-2015	9-2015
Sijainti	Pori, Peitto	Ii, Olhava	Salo, Märynummi
Talouksien lkm alle 2 km päässä	107	189	457
Vastanneiden talouksien lkm	70	91	268
Häiritsevyydkysymyksen vastanneiden lkm	64	78	258

Annosvastesuhde määritettiin erittäin paljon häiritsevyyttä sisällä raportoineiden prosenttiosuuden (%HA, *percentage of highly annoyed*) ja päivä-ilta-yö-äänitason  $L_{den}$  välillä.  $L_{den}$  sisältää 5 dB:n sanktion ilta-ajalle 19-23 ja 10 dB:n sanktion yöajalle 23-07:

$$(1) \quad L_{den} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{L_{Aeq,07-19}/10} + 4 \cdot 10^{L_{Aeq,19-23}+5/10} + 8 \cdot 10^{L_{Aeq,23-07}+10/10} \right) \right]$$

Tuulivoimaloiden äänen kohdalla  $L_{den}$  määrittäminen vaatisi vuoden kestäviä seurantamittauksia, koska melupäästö vaihtelee päivästä toiseen. Tässä tutkimuksessa sovellettiin Janssenin ym. [2] soveltamaa hollantilaista muunnoskaavaa:

$$(2) \quad L_{den} = L_{Aeq} + 4.7 \text{ dB}$$

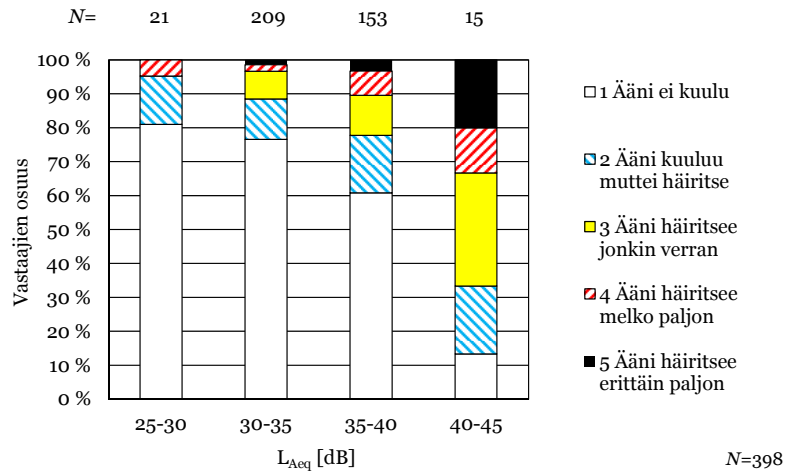
%HA määritettiin kussakin 5 dB leveässä äänitasokategoriassa 5-portaisesta vastausasteikosta Janssenin ym. [2] esittämällä tavalla.

### 3 TULOKSET

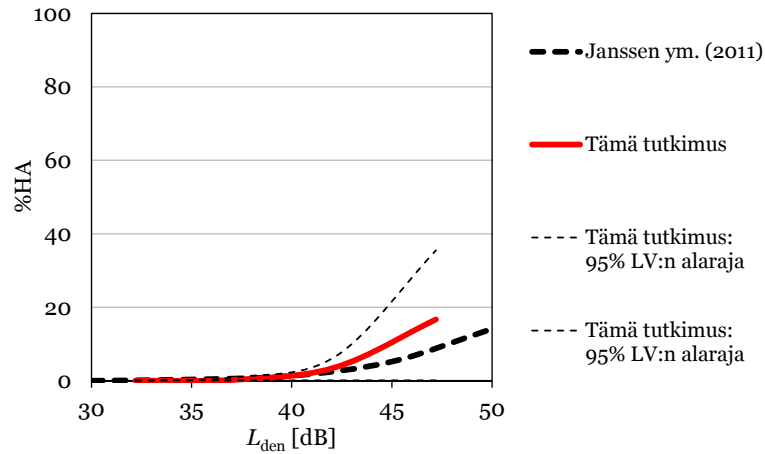
Taulukossa 2 esitetään äänitason mittaus- ja mallinnustulokset 8 pisteessä. Mittaustulos ( $L_{Aeq,3}$ ) poikkesi mallinnetusta tuloksesta ( $L_{Aeq,4}$ ) joka pisteessä hieman: erot olivat -2.7 ja +2.2 desibelin välillä. Selkeää trendiä suuntaan tai toiseen ei havaittu. Mittausepävarmuus huomioon ottaen voidaan arvioida, että mallinnetut äänitasot ovat luotettavia.

Tuulivoimalamelusta sisätiloissa koettu häiritsevyys pihamaalle mallinnetun äänitason funktiona on esitetty kuvassa 1. Kuvassa esitetään vastausten jakautuminen alkuperäiseen häiritsevyysskysymykseen. Häiritsevyyttä kokevien osuus kasvaa äänitason kasvaessa. Selkein muutos nähdään 40 dB:n kohdalla. Erittäin paljon häiritsevyyttä raportoivien osuus (vastausvaihtoehto 5) oli 20 % vastaajista, kun äänitaso oli 40 - 45 dB. Osuus putosi alle 3 %:iin vastaajista, kun äänitaso oli 35 - 40 dB ja alle 2 %:iin, kun äänitaso oli alle 30 - 35 dB. Pearsonin korrelaatiokerroin melun häiritsevyyden ja kategorisoimattoman äänitason välillä oli tilastollisesti merkitsevä  $R_p=0.33$  ( $p<0.001$ ).

Annosvastesuhde on esitetty kuvassa 2 sisältäen vertailun Janssenin ym. [2] paljon viitattuun tutkimukseen.



**Kuva 1.** Tuulivoimalamelun häiritsevyys sisätiloissa pihamaalle mallinnetun äänitason funktiona. Vastausten jakautuminen 5 portaisella vastausasteikolla.



**Kuva 2.** Tässä tutkimuksessa (3 - 5 MW voimalat) saadun annosvastesuhteen vertailu Janssenin ym. [2] raportoimaan tulokseen (0.15 - 1.5 MW voimalat). LV = luottamusväli.

**Taulukko 2.** Tuulivoimalamelun mittaus- ja mallinnustulosten vertailu 8 pisteessä.

Tuulivoima-alue/Piste	<i>d</i> [m]	$L_{Aeq,1}$ [dB]	$L_{Aeq,2}$ [dB]	$L_{Aeq,3}$ [dB]	<i>U</i> [dB]	$L_{Aeq,4}$ [dB]
A/1	660	47.8	44.7	44.8	4	44.1
A/2	630	48.4	44.7	45.9	4	44.6
B/1	447	42.8	38.1	41.0	4	43.0
B/2	244	47.6	39.0	47.6	3	46.6
B/3	600	42.1	39.5	39.1	5	41.3
B/4	383	46.6	38.2	46.6	4	44.7
C/1	772	47.2	45.4	44.2	5	43.2
C/2	889	47.7	46.9	44.7	5	42.0

*d* on etäisyys lähimpään tuulivoimalaan.

$L_{Aeq,1}$  on tuulivoimaloiden ja taustamelun yhteisäänitaso voimaloiden käydessä.

$L_{Aeq,2}$  on taustamelun äänitaso voimaloiden ollessa sammutettuna.

$L_{Aeq,3}$  on tuulivoimalamelun äänitaso sisältäen taustamelukorjauksen.

*U* on mittausepävarmuus suurelle  $L_{Aeq,3}$ .

$L_{Aeq,4}$  on tuulivoimalamelun mallinnettu äänitaso.

#### 4 POHDINTA

Tutkimus on kansainvälisesti ainutlaatuinen epidemiologisella tutkimuskentällä, koska tutkittiin vain yli 3 MW voimaloita ja melumallinnukset tarkastettiin vertaamalla mittaus- tuloksiin laajoilla alueilla.

Annosvastesuhde erosi jonkin verran, muttei merkittävästi, Janssenin ym. [2] julkaisemasta, kun päivä-ilta-yö-äänitaso ylitti 42.5 dB  $L_{den}$ . Tämä tarkoittaa äänitasoa 37.5 dB  $L_{Aeq}$ . Heidän tutkimuksensa käsitteli merkittävästi pienempiä voimaloita (0.15 - 1.5 MW). Tutkimuksemme perusteella ei voida väittää, että suuret tuulivoimalat häiritsisivät enemmän kuin pienet, kun äänitaso pihamaalla on sama.

Michaud ym. [6] osoittivat Kanadassa, että annosvastesuhteet riippuivat osavaltiosta. Myös ruotsalaisissa tutkimuksissa eri alueiden annosvastesuhteet eroavat toisistaan [2,3]. Tutkimuksemme tuulivoima-alueita A ja B vertaileva tutkimus osoitti myös alueella olevan suuri merkitys annosvastesuhteisiin [9]. Alue C sijoittui kokemusten osalta alueiden A ja B välimaastoon. Tästä johtuen ei voida väittää, että kuvan 2 annosvastesuhteiden erot johtuisivat nimenomaan voimaloiden kokoeroista. Todennäköisempi syy on se, että eri alueilla on totuttu erilaisiin ääniympäristöihin.

Tutkimuksemme heikkoutena oli se, että vastaajia äänitasokategoriassa 40 - 45 dB oli vain 15 (Kuva 1). Yksi vastaaja edustaa tällöin 6.7 % otoksesta ko. kategoriassa. Tästä syystä 95 % luottamusväli on kelvottoman suuri kategoriassa 40 - 45 dB (kuva 2) ja annosvastesuhde on epävarmalla pohjalla. Esimerkiksi Kanadalaisessa tutkimuksessa [6] ko. kategoriasta saatiin peräti 234 vastausta. Suomessa on vaikea löytää riittävästi asukkaita äänitasoalueelta yli 40 dB tiukan melulainsäädännön vuoksi.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

- Melumittaustulokset vastasivat hyvin mallinnettuja tuloksia 8 pisteessä 3 eri tuulivoima-alueella. Koska sekä mallinnus että mittaus tehtiin ympäristöohjeiden [7,8] mukaan, voidaan tietoa hyödyntää mallinnoissa, joissa käytetään samoja ohjeita.
- Tuulivoimalamelun häiritsevyys alkaa väestön parissa nousta, kun pihamaalle mallinnettu äänitaso ylittää 40 dB  $L_{Aeq}$ . Näin suurille äänitasoille altistuu kuitenkin hyvin pieni asukasmäärä Suomessa, joten raja-arvoon liittyy epävarmuuksia.
- Suurten voimaloiden (3 - 5 MW) häiritsevyys ei merkittävästi poikkea siitä, mitä on aiemmin havaittu paljon pienemmällä voimaloilla (0.15 - 1.5 MW) ainakaan äänitasoilla alle 40 dB  $L_{Aeq}$ . Tutkimus ei tue sitä väitettä, että suuret tuulivoimalat häiritisivät enemmän kuin pienet, kun äänitaso on sama.

## KIITOKSET

Tutkimus toteutettiin ANOJANSSI –projektissa, jota rahoittavat mm. Tekes, Turun ammattikorkeakoulu, Ympäristöministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriö, Ympäristöpooli, Infra ry ja Suomen Tuulivoimayhdistys ry.

## KIRJALLISUUS

- [1] Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.
- [2] Janssen, S.A., Vos, H., Eisses, A.R., Pedersen, E. (2011). A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *J Acoust Soc Am*, 130(6), 3746-3753.
- [3] Pedersen, E., Persson Waye, K. (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose-response relationship. *J Acoust Soc Am*, 116, 3460-3470.
- [4] Pedersen, E., Persson Waye, K. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occup Environ Med*, 64(7), 480-486.
- [5] Pedersen, E., van den Berg, F., Bakker, R., Bouma, J. (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands *J Acoust Soc Am*, 126(2), 634-643.
- [6] Michaud, D.S., Feder, K., Keith, S.E., Voicescu, S.A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., McGuire, D., Bowe, T., Lavigne, E., Murray, B.J., Weiss, S.K., van den Berg, F. (2016). Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects. *J Acoust Soc Am*, 139(3), 1443-1454.
- [7] Tuulivoimaloiden melun mallintaminen, Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014, 53 s., Ympäristöministeriö.
- [8] Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa, Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2014, 66 s., Ympäristöministeriö.
- [9] Hongisto V, Suokas M, Varjo J, Yli-Kätkä V-M, Tuulivoimalamelun häiritsevyys kahdella tuulivoima-alueella, *Ympäristö ja Terveys -lehti*, 6 2015 54-59.