

TUULIVOIMAMELUN HÄIRITSEVYYTEEN LIITTYVÄT EI-AKUSTISET JA AKUSTISET TEKIJÄT

Jenni Radun¹, Valtteri Hongisto¹

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

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa miten erilaiset ei-akustiset tekijät sekä äänitaso ovat yhteydessä siihen, että tuulivoimamelu koetaan melko tai erittäin häiritseväksi. Kolmen suomalaisen tuulivoima-alueen läheisyydessä kyselyyn kutsuttiin vastaamaan asukkaat, jotka asuivat 2 km:n säteellä tuulivoimaloista. Tuulivoima-alueilla oli 3-5 MW:n voimaloita. Kyselyyn vastasi 318 henkilöä. Mallinnettu tuulivoiman äänitaso vastaajien pihamaalla oli 27-44 dB L_{Aeq} . Kysely kartoitti tuulivoimamelun häiritsevyyttä sisällä ja ulkona sekä erittäin monipuolisesti mm. ihmisten asenteita ja asuinolosuhteita. Tärkein tuulivoimamelun häiritsevyyteen yhteydessä oleva tekijä oli huolestuneisuus tuulivoimamelun terveysvaikutuksista. Muut tekijät olivat tuulivoima-alue, meluherkkyys, sukupuoli sekä yleinen suhtautuminen tuulivoimaan energian tuotantomuotona. Äänitaso pihamaalla selitti vain pienen osan häiritsevyydestä ulkona, mutta se ei selittänyt häiritsevyyttä sisällä. Tuulivoiman terveysvaikutuksista tulisi aktiivisesti jakaa faktoihin pohjautuvaa tietoa asukkaille. Tämä voisi vähentää huolia terveysvaikutuksista ja siten myös tuulivoimamelun häiritsevyyttä. Myös tuulivoimaloiden pystytysvaiheessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota vastavuoroiseen ja läpinäkyvään kommunikointiin asukkaiden kanssa.

1 JOHDANTO

Tuulivoima tuottaa ajoittain ääntä, jonka lähiasukkaat saattavat kokea häiritsevänä äänenä, eli meluna. Tuulivoiman keskiäänitaso L_{Aeq} on ollut yhteydessä tuulivoimamelun häiritsevyyteen ja itseraportoituihin unihäiriöihin. Muuta terveystahtaa tuulivoimamelun ei ole havaittu toistaiseksi kiistattomasti aiheuttavan [1]. Äänitaso ei kuitenkaan suoraan selitä kovinkaan suurta osuutta häiritsevyydestä. Kanadalaisen tutkimuksen mukaan melutaso selittää 9 % korkeasta häiritsevyydestä [2] ja vastaavasti Suomessa 92 % korkeasta häiritsevyydestä on raportoitu liittyvän muihin tekijöihin kuin äänitasoon [3]. Näitä äänen liittymättömiä tekijöitä kutsutaan ei-akustisiksi tekijöiksi.

Tuulivoimamelun ei-akustiset tekijät voivat olla henkilökohtaisiin tekijöihin, tilanteeseen tai kontekstiin liittyviä. Henkilökohtaisia tekijöitä ovat ihmisen piirteet, odotukset ja asenteet, joita tuulivoimaan liittyen ovat esimerkiksi meluherkkyys [2,4], huoli fyysisestä turvallisuudesta [2] tai negatiivinen asenne tuulivoimaloita kohtaan [5]. Tilannetekijät liittyvät ympäristöön ja tilanteeseen, joita ovat esimerkiksi tuulivoimalan näkyminen ko-



© 2019 Jenni Radun, ja Valtteri Hongisto. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Ei sovitettu -lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

toa [6] tai asunnon omistaminen [2] tai asukastyypin (vakituinen vai loma-asukas) [7]. Kontekstiin liittyvät tekijät vaikuttavat muokkaamalla asenteita. Näitä ovat tuulivoiman tapauksessa esimerkiksi kokemus epäreilusta suunnittelusta ja tapa tuoda tuulivoima alueelle [8].

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa miten erilaiset ei-akustiset tekijät sekä äänitaso ovat yhteydessä siihen, että tuulivoimamelu koetaan melko tai erittäin häiritseväksi (%H). Tutkimus on julkaistu kansainvälisesti [9], kuten myös aineiston pohjalta tehty annosvastesuhtetarkastelu [3].

2 MENETELMÄ

Tutkimukseen valittiin vain alueita, joissa oli vähintään 3 MW voimaloita ja keskimääräistä suomalaista tuulivoima-alueita selvästi enemmän kotitalouksia voimaloiden lähistöllä. Kysely lähetettiin 2 km:n säteellä tuulivoimaloista sijaitseville kotitalouksille kolmella tuulivoima-alueella eri puolilla Suomea (Peitto, Olhava ja Märynummi). Alueet erosivat toisistaan seuraavien tekijöiden osalta: tuulivoimavastaisuus, maakunta, asukastiheys ja alueen aiempi maankäyttö. Näiden erojen takia ajateltiin, että alueet edustavat hyvin tuulivoima-alueita Suomessa.

Tuulivoimamelun äänitaso mallinnettiin jokaisen asuinrakennuksen julkisivulle. Mallinnuksen tarkkuus tarkastettiin mittauksilla ja mallinnustulokset vastasivat hyvin mittaustuloksia [3].

Kyselyssä kysytyjä kysymyksiä on kuvattu taulukossa 1 ja niihin liittyvät skaalat taulukossa 2. Tähän tarkasteluun on valittu muuttujat (kysymykset), jotka on esitetty kaikilla kolmella alueella ja joiden vastaukset eivät korreloi keskenään.

Riippuvat muuttujat kyselyssä olivat %H sisällä ja %H ulkona. %H sisällä tarkoittaa, kuinka monta prosenttia vastaajista koki melun häiritseväksi sisätiloissa. Vastaaja kuuluu ryhmään %H sisällä, jos hän on vastannut kysymykseen *häiritsevyys sisällä* arvoilla 4 tai 5. Vastaava määrittely tehtiin muuttujalle %H ulkona.

Tilastoanalyysinä alueiden välisten erojen tarkastelussa käytettiin Fisherin testiä (Fisher exact test) nominaaliasteikollisille muuttujille (*sukupuoli, %H sisällä, %H ulkona, luottamus viranomaisiin, luottamus toimijoihin ja yhteisön hyöty*) ja varianssianalyysia jatkuville muuttujille (*ikä, äänitaso, etäisyys*). Binaarisia logistisen regression malleja käytettiin tarkastelemaan mitkä riippumattomat muuttujat selittäisivät muuttujia %H sisällä ja %H ulkona. Logistiseen regressioon otettiin mukaan muuttujat: *meluherkkyys, huoli terveysvaikutuksista, energia-asenne, maisema-asenne, äänitaso, näkyvyys* ja taustamuuttujia *sukupuoli, ikä ja alue*. Käytettiin stepwise-mallia, jossa malliin lisäämiskynnys oli 0.05 ja poistokriteeri oli 0.10.

3 TULOKSET

Taulukko 3 kuvaa eri alueiden otoksia. 8 % vastaajista kuului ryhmään %H sisällä ja 15,4 % vastaajista ryhmään %H ulkona. Binaarisella logistisella regressiomallilla haettiin tärkeimpiä muuttujia, jotka ovat yhteydessä tuulivoiman muuttujiin %H sisällä ja %H ulkona (taulukko 4). Tärkein muuttuja molemmissa malleissa oli *huoli terveysvaikutuksista* ja toisena *alue*. Logistisen regression tuloksia voidaan tulkita taulukosta käyttäen seuraavaa esimerkkiä: Kun vastaaja antaa yhden arvon suuremman vastauksen *huoli ter-*

veysvaikutuksista –muuttujalla, hän kuuluu 4,5 kertaa todennäköisemmin ryhmään *%H sisällä*. Muut tuulivoimamelun häiritsevyyteen liittyvät muuttujat olivat *energia-asette* ja *meluherkkyys*. Naiset ovat todennäköisemmin häiriintyneitä tuulivoimamelusta sisällä kuin miehet. *Äänitaso* oli selittävä tekijä vain mallissa *%H ulkona*.

Taulukko 1. Kyselyn muuttujat. Vastausvaihtoehdot on esitetty taulukossa 2.

Muuttujan nimi	Kysymys/selitys	Skaala
<i>Häiritsevyyden ulkona</i>	K16 a. Kuinka häiritseväni koet tuulivoimaloiden äänet pihamaallasi?	A
<i>Häiritsevyyden sisällä</i>	K18 a. Kuinka häiritseväni koet tuulivoimaloiden äänet sisällä asunnossasi?	A
<i>Meluherkkyys</i>	Kysymysten 10a. (käännettynä) ja 10b summa. K10a. Totun helposti suurimpaan osaan äänistä. K10b. Äänet häiritsevät minua herkästi.	B B
<i>Huoli terveysvaikutuksista</i>	K31. Oletko huolestunut tuulivoimaloiden äänien mahdollisista vaikutuksista terveyteen?	C
<i>Maisema-asette</i>	K24. Tuulivoimalan vaikutus maisemaan on ...	D
<i>Asememuutos</i>	K25. Onko mielipiteesi tuulivoimaloista muuttunut alueen tuulivoimaloiden rakentamisen jälkeen?	D
<i>Yhteisön hyöty</i>	K28. Onko tuulivoimaloista ollut jotain hyötyä kyläyhteisöllesi?	E
<i>Energia-asette</i>	K30. Mitä mieltä olet tuulivoimalla tuotetusta sähköstä energiamuotona?	F
<i>Luottamus toimijoihin</i>	K33a. Ovatko tuulivoimatoimijat tehneet tarpeeksi mahdollisten haittojen kontrolloimiseksi?	E
<i>Luottamus viranomaisiin</i>	K33b. Ovatko viranomaiset tehneet tarpeeksi mahdollisten haittojen kontrolloimiseksi?	E
<i>Näkyvyys</i>	Jos K22 tai K23 vastaus kyllä, tuulivoimala on näkyvä K22. Näkyykö tuulivoimala pihallasi? K23. Näkyykö tuulivoimala ikkunastasi?	E E

Taulukko 2. Kyselyn muuttujien vastausvaihtoehdot.

Skaala	Vastauskategoriat
A	1 Ääni ei kuulu, 2 Ääni kuuluu, muttei häiritse, 3 Häiritsee jonkin verran, 4 Häiritsee melko paljon, 5 Häiritsee erittäin paljon.
B	1 Kuvaa minua erittäin huonosti, 2 Kuvaa minua melko huonosti, 3 Ei kuvaa hyvin, eikä huonosti, 4 Kuvaa minua melko hyvin, 5 Kuvaa minua erittäin hyvin
C	1 En lainkaan, 2 Vain vähän, 3 Jonkin verran, 4 Melko paljon, 5 Erittäin paljon.
D	1 Selvästi myönteinen, 2 Hieman myönteinen, 3 Ei vaikutusta/neutraali, 4 Hieman kielteinen, 5 Selvästi kielteinen
E	0 Ei/Eivät, 1 Kyllä
F	1 Kantani on myönteinen, 2 Kantani on enemmän myönteinen kuin kielteinen, 3 Kantani on neutraali, 4 Kantani on enemmän kielteinen kuin myönteinen, 5 Kantani on selvästi kielteinen

4 POHDINTA

Huoli terveysvaikutuksista oli tärkein muuttuja, joka oli yhteydessä sekä häiritsevyyteen sisällä (*%H sisällä*), että häiritsevyyteen ulkona (*%H ulkona*). Jos henkilö on huolissaan tuulivoimamelun mahdollisista vaikutuksista terveyteensä, hän on myös todennäköisemmin häiriintynyt melusta. Tuloksemme osoittavat kuitenkin vain subjektiivisten muuttujien yhteyden, mutta eivät suuntaa. Tällä tutkimuksella on mahdotonta todistaa, että huolestuneisuus terveysvaikutuksista lisäisi melun häiritsevyyttä eikä päinvastoin. Koska melun häiritsevyyden on yleisin melun terveysvaikutus [1], tarkastelimme muiden muuttujien yhteyttä nimenomaan siihen, emmekä esimerkiksi *huoleen terveysvaikutuksista*.

Toinen häiritsevyyteen liittyvä tekijä oli *alue*. Porissa (alue 1) häiritsevyyden oli yleisintä ja Olhavassa (alue 2) harvinaisinta, vaikka äänitaso oli sama. Tulos oli ennakoitavissa mediakirjoitusten pohjalta mutta silti yhteys oli yllättävän voimakas. Negatiiviset asenteet

Porissa näkyivät selvästi suurempana häiritsevyyden raportoimisena muihin alueisiin verrattuna.

Taulukko 3. Otoksen kuvailu alueittain.

	<i>Alue 1</i>	<i>Alue 2</i>	<i>Alue 3</i>	Yhteensä	<i>p</i> -arvo
Kotitalouksien määrä (2 km säde)	107	189	457	753	
Vastaajien määrä	70	91	268	429	
Vastausprosentti [%]	65,4	48,1	58,6	57	
Vakituisia asukkaita [%]	54	41	95	77	
Vastaajien määrä (Vakituisten asukkaiden määrä)	30	37	251	318	
<i>Ikä</i> [vuosia]					0.01
Keskiarvo (keskihajonta)	60 (14)	59 (14)	53 (15)	55 (15)	
Vaihteluväli	24–85	23–85	17–89	17–89	
<i>Sukupuoli, naisia</i> [%]	56,7	32,4	48,6	47,5	ns
<i>Äänitaso</i> [dB L_{Aeq}]					<0.001
Keskiarvo (keskihajonta)	38 (3)	36 (3)	34 (3)	34 (3)	
Vaihteluväli	34–44	32–41	27–46	27–46	
<i>Etäisyys</i> [m]					<0.001
Keskiarvo (keskihajonta)	1395 (372)	1317 (327)	1542 (244)	1503 (279)	
Vaihteluväli	672–2005	785–1901	479–1996	479–2005	
<i>%H sisällä</i> [%]	31,0	0,0	6,5	8,0	<0.001
<i>%H ulkona</i> [%]	62,1	5,6	11,4	15,4	<0.001
<i>Luottamus viranomaisiin</i> [%]	12,5	66,7	48,6	46,0	0.001
<i>Luottamus toimijoihin</i> [%]	12,0	66,7	50,8	48,3	<0.001
<i>Yhteisön hyöty</i> [%]	18,5	51,7	21,8	24,6	0.003

Vastaajat eri alueilla erosivat toisistaan myös *luottamuksessa toimijoihin* ja *viranomaisiin* sekä siinä kokevatko he yhteisönsä hyötyvän tuulivoimasta. Tulkitsimme alueiden erojen johtuvan ainakin osin maankäytön historiasta, joka heijastuu ihmisten asenteisiin.

Muut tuulivoimamelun häiritsevyyteen liittyvät tekijät olivat *meluherkkyys* ja *energia-asetus*. *Meluherkkyys* on aiemminkin liitetty tuulivoiman häiritsevyyden kokemiseen [2,4]. *Äänitaso* valikoitui vain malliin *%H ulkona*. Tämä voi johtua siitä, että rakennusten julkisivut vaimentavat ääntä, jolloin äänen suora vaikutus vähenee. Lisäksi pientalojen julkisivujen äänieristävyys vaihtelee suuresti [10], mikä voi aiheuttaa suurta vaihtelua sisä-äänitasoissa samalla ympäristömelun äänitasoalueella. *Sukupuoli* liittyi tuulivoiman häiritsevyyteen sisällä naisten raportoidessa useammin häiritsevyyttä kuin miehet. Aikaisempi tutkimus ei raportoinut sukupuolen vaikuttavan häiritsevyyteen sisällä [4].

Tuulivoiman häiritsevyyden vähentämiseksi ehdotamme tutkitun faktatiedon jakamista ihmisten huolien vähentämiseksi. Tämä voisi vähentää ihmisten huolia ja he voisivat tuntea tulleensa kuulluiksi.

Taulukko 4. Logistisen regression mallit %H ulkona ja %H sisällä.

%H ulkona		Logistinen regressiomalli			
Muuttuja	Muuttujan ryhmät	(N=280, $R^2=0.710$, ^c H-L, ^d $p=0.651$)			
		OR (luottamusväli) ^b	p -arvo ^e	Malliin ottamisen järjestys: R^2 joka vaiheessa	
<i>Huoli terveysvaikutuksista</i>	Skaala: 1-5	2.71 (1.78, 4.11)	<0.01	Vaihe 1: 0.43	
	Alue	Alue 1	10.32 (2.22, 47.84)	<0.01	Vaihe 2: 0.58
		Alue 2	0.29 (0.03, 3.21)	0.31	
		Alue 3	Referenssi	<0.01	
<i>Energia-asetus</i>	Skaala: 1-5	1.89 (1.24, 2.87)	<0.01	Vaihe 3: 0.63	
<i>Meluberkekyys</i>	Skaala: 2-10	1.69 (1.23, 1.32)	<0.01	Vaihe 4: 0.67	
<i>Äänitaso [dB]</i>	Jatkuva	1.41 (1.14, 1.74)	<0.01	Vaihe 5: 0.71	
%H sisällä		Logistinen regressiomalli			
Muuttuja	Muuttujan ryhmät	(N=281, $R^2=0.667$, ^c H-L, ^d $p=0.992$)			
		OR (luottamusväli) ^b	p -arvo ^e	Malliin ottamisen järjestys: R^2 joka vaiheessa	
<i>Huoli terveysvaikutuksista</i>	Skaala: 1-5	4.46 (2.41, 8.26)	<0.01	Vaihe 1: 0.47	
	Alue	Alue 1	5.69 (1.25, 25.97)	0.03	Vaihe 2: 0.55
		Alue 2 ^f	0.00 (0.00, 0.00)	1	
		Alue 3	Referenssi	0.08	
<i>Meluberkekyys</i>	Skaala: 2-10	1.81 (1.15, 2.84)	0.01	Vaihe 3: 0.60	
<i>Sukupuoli</i>	Nainen/Mies	8.30 (1.63, 42.19)	0.01	Vaihe 4: 0.63	
<i>Energia-asetus</i>	Skaala: 1-5	1.92 (1.10, 3.35)	0.02	Vaihe 5: 0.67	

^a Kategorisen muuttujan referenssikategoria on aina viimeinen kategoria.

^b Vetolyöntikertoimen suhde (OR) ja 95% luottamusväli. Nämä perustuvat binaarisen logistisen regression malliin. OR näyttää kuinka paljon todennäköisyys kuuluu riippuvaan muuttujan ryhmään muuttuu yhdellä riippumattoman muuttujan arvon muutoksella. OR > 1 kuvaa todennäköisyyden kuuluu riippuvaan ryhmään olevan korkeampi suhteessa referenssikategoriaan ja OR < 1 tarkoittaa, että se on matalampi.

^c Nagelkerken pseudo R^2 antaa arvion mallin selittämästä osuudesta. Se vaihtelee nolasta yhteen, yhden indikoidessa täydellistä mallia.

^d H-L: Hosmer-Lemeshow testi, $p>0.05$ viittaa hyvään sopivuuteen.

^e p -arvot kuvaavat vaikuttaako muuttuja malliin merkitsevästi.

^f Alueella 2 ei ollut ketään, joka olisi raportoinut häiritsevyyttä sisällä arvon 3 yli.

KIITOKSET

Tutkimus on osa Anojanssi-projektia, jonka rahoittivat Business Finland, Turun ammatti-korkeakoulu, ympäristöministeriö, sosiaali- ja terveysministeriö sekä yhteistyöyritykset.

VIITTEET

[1] Schmidt JH, Klokner M, Health effects related to wind turbine noise exposure: A systematic review, PLoS One. 9(2014).

[2] Michaud DS, Keith SE, Feder K, Voicescu SA, Marro L, Than J, Guay M, Bower T,

Denning A, Lavigne E, Whelan C, Janssen SA, Leroux T, van den Berg F, Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance, *J. Acoust. Soc. Am.* 139(2016), 1455–1466.

[3] Hongisto V, Oliva D, Keränen J, Indoor noise annoyance due to 3–5 megawatt wind turbines—An exposure–response relationship, *J. Acoust. Soc. Am.* 142(2017), 2185–2196.

[4] Janssen SA, Vos H, Eisses AR, Pedersen E, A comparison between exposure–response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources, *J. Acoust. Soc. Am.* 130(2011), 3746–3753.

[5] Pawlaczyk-Luszczynska M, Dudarewicz A, Zaborowski K, Zamojska-Daniszewska M, Waszkowska M, Annoyance related to wind turbine noise, *Arch. Acoust.* 39(2014), 89–102.

[6] Pedersen E, van den Berg F, Bakker R, Bouma J, Response to noise from modern wind farms in The Netherlands, *J. Acoust. Soc. Am.* 126(2009), 634–643.

[7] Janhunen S, Hujala M, Pätäri S, Owners of second homes, locals and their attitudes towards future rural wind farm, *Energy Policy.* 73(2014), 450–460.

[8] Pohl J, Gabriel J, Hübner G, Understanding stress effects of wind turbine noise – The integrated approach, *Energy Policy.* 112(2018), 119–128.

[9] Radun J, Hongisto V, Suokas M, Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance, *Build. Environ.* 150(2019).

[10] Keränen J, Hakala J, Hongisto V, The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz, *Build. Environ.* 156(2019), 12–20.