

This is a self-archived version of the original publication.

The self-archived version is a publisher's pdf of the original publication.

To cite this please use the original publication:

Hongisto, V. et al. 2022. Tuulivoiman ja tieliikennemelun terveysvaikutukset. Ympäristö ja terveys 1/2022 s. 52-59.

Link to the original publication: [Ympäristö ja Terveys-lehti 1/2022 – Ympäristö ja Terveys-lehti \(ymparistojaterveys.fi\)](https://www.ymparistojaterveys.fi/2022/01/ymparisto-ja-terveys-1-2022)

All material supplied via Turku UAS self-archived publications collection in Theseus repository is protected by copyright laws. Use of all or part of any of the repository collections is permitted only for personal non-commercial, research or educational purposes in digital and print form. You must obtain permission for any other use.

Valtteri Hongisto, Jenni Radun, Henna Maula, Pekka Saarinen, Jukka Keränen ja
Reijo Alakoivu
Turun ammattikorkeakoulu
Rakennetun ympäristön tutkimusryhmä

Tuulivoiman ja tieliikenteen melun terveystvaikutukset

Tavoitteena oli selvittää, miten tuulivoimamelu ja tieliikennemelu vaikuttavat ihmisen oireiluun ja terveyteen. Kyselytutkimukseen vastasi 684 asukasta. Oireet ja sairaudet eivät liittyneet tuulivoiman äänitasoon asukkaan pihamaalla. Sen sijaan oireita ja sydänsairautta havaittiin selvästi enemmän, jos tieliikenteen äänitaso oli korkeampi. Melutason ohjearvo 40 dB ei ylittynyt tutkitun tuulivoima-alueen yhdelläkään pihamaalla. Tuloksia voidaan sen vuoksi soveltaa kaikkiin alueisiin, joissa ohjearvoja noudatetaan. Tieliikenteen meluntorjuntaan tulisi kiinnittää enemmän huomiota.



Kuva: Pixabay.

Johdanto

Tuulivoimamelun vaikutuksia koskevan tutkimustiedon tarve kasvoi Suomessa voimakkaasti 2010-luvun alussa, kun teollisia tuulivoima-alueita alkoi enenevässä määrin valmistua. Tutkimustiedon osalta jouduttiin nojautumaan ulkomaiseen tutkimustietoon vuoteen 2014 asti. Tämän jälkeen suomalaisia alkuperäistutkimuksia alkoi pikkuhiljaa olla saatavilla [1–5]. Niiden etuna ulkomaisiin tutkimuksiin nähden on se, että tutkitut voimalat ovat 1–5 MW:n kokoisia, kun taas ulkomaiset tutkimukset oli vielä vuoteen 2016 asti tehty pääosin pienemmillä kuin 1 MW:n voimaloilla. Osassa suomalaisista tutkimuksista on myös huomioitu tuulivoiman äänitaso (meluallistus) pihamaalla desibeleinä, jolloin oli mahdollista tutkia melun häiritsevyyden ja äänitason yhteyttä [2,4,5]. Meluallistuksen tunteminen on äänitason ohjearvojen kehittämisen kannalta välttämätöntä.

Ulkomaisen tutkimustiedon valossa näyttää siltä, että tuulivoimamelun terveysvaikutukset rajautuvat melun häiritsevyyteen. Unen laadun heikkenemiseen liittyvä näyttö on ristiriitaista [6]. Suomessa ei ole tutkittu tuulivoiman terveysvaikutusten riippuvuutta meluallistuksesta, joka yleensä kuvataan tuulivoiman äänitasolla pihamaalla desibeleinä.

Verrattain moni ulkomainen tutkimus on tehty sellaisella tuulivoima-alueella, jossa osa asukkaista on altistunut peräti 50 desibelin (L_{Aeq}) äänitasoille. Suomessa tuulivoiman suunnitteluohjeet suosittelivat enimmäistasoa 40 dB jo vuonna 2012 [7]. Valtioneuvoston asetuksella tämä suositus muuttui ohjearvoksi vuonna 2015 [8]. Tästä johtuen tutkimuksen tulisi keskittyä alueisiin, jossa tämä ohjearvo toteutuu. Tällaisia tutkimuksia on vähän, koska melulainsäädäntö on uusiutunut vasta viime vuosina useissa maissa.

Koska tuulivoima-alueet tarvitsevat hy-

vät kulkuyhteydet, tuulivoima-alueiden lähellä on yleensä jonkin verran tieliikennettä. Tieliikennemelun tiedetään aiheuttavan muitakin terveyshaittoja kuin häiritsevyyttä. Kansanterveydelliseltä kannalta olisi tärkeää tutkia eri ympäristömelujen terveysvaikutuksia rinnakkain, jotta eri melulajien äänitasot ja terveysvaikutukset asettuisivat oikeisiin mittasuhteisiin. Tällaisia tutkimuksia ei ole juurikaan julkaistu.

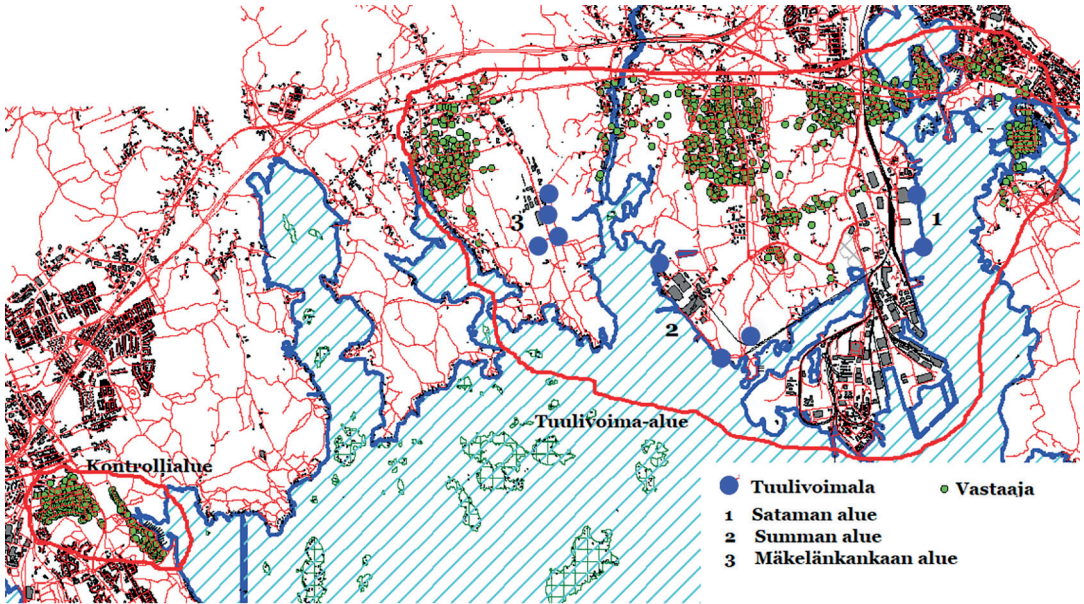
Tavoitteena oli selvittää, miten tuulivoimamelu ja tieliikennemelu vaikuttavat ihmisen oireiluun ja terveyteen. Tutkimus toteutettiin alueella, jossa on noudatettu uusia ohjearvoja, jotta tutkimustieto palvelisi mahdollisimman hyvin suomalaisten tuulivoima-alueiden tiedontarvetta.

Tutkimustulokset on julkaistu korkean vaikuttavuuskertoimen vertaisarvioidussa tiedejulkaisusarjassa [9]. Tämä artikkeli on siitä tehty tiivistelmä.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa sovellettiin tapaus-kontrolli-tutkimusasetelmaa (*case-control design*), jossa altistusmuuttuja (riippumaton muuttuja) on äänitaso pihamaalla ja vastemuuttujia (riippuvat muuttujat) ovat kyselyn perusteella saadut oire- ja terveystiedot. Tutkimus on Turun ammattikorkeakoulun eettisen toimikunnan puoltama.

Tutkimukseen haettiin sellaista tuulivoima-aluetta, jonka lähellä on paljon asutusta, mutta jossa äänitasot eivät ylitä millään pihamaalla yöajan ohjearvoa 40 dB L_{Aeq} [7] päiväaikaan eikä yöaikaan. Kohteeksi valikoitui Hamina, jossa on kolme eri aikaan rakennettua tuulivoima-aluetta (Satama, Summa ja Mäkelänkangas) melko lähellä toisiaan (Kuva 1). Alueella on monimuotoista asutusta (pien-, rivi- ja kerrostaloja), joten alueen nähtiin monella tavalla edustavan mahdollisimman monen tyyppisiä asuin-alueita, joihin tuulivoimaa rakennetaan.



Kuva 1. Tuulivoima-alue (suurempi punaviivalla ympäröity alue) käsitti Haminan kolme tuulivoima-alueutta (Satama, Summa, Mäkelänkangas) ja näiden lähiympäristöt 2,7 km:n etäisyyteen asti. Kontrollialue (punaviivalla ympäröity alue vasemmalla) sijaitsi Kotkan Karhulassa, josta on matkaa 6,8–8,0 km Mäkelänkankaan voimaloille.

Verrokiksi eli kontrolliksi valittiin Kotkan itäosassa oleva yhtenäinen alue (Kuva 1), joka on sosioekonomisesti ja asuinrakennuskannaltaan hyvin samantyyppinen kuin Haminan tuulivoima-alue. Kontrollialueelta oli matkaa lähimmille voimaloille 6,8–8,0 km.

Kyselytutkimus toteutettiin syksyllä 2018. Asuinympäristökysely postitettiin paperiversiona tuulivoima-alueella 2560 talouteen ja kontrollialueella 498 talouteen, yhteensä 3058 talouteen.

Tutkittaviksi kutsuttiin tuulivoima-alueella taloudet, jotka sijaitsivat alle 2,8 km päässä voimaloista. Määritellyltä kontrollialueelta kaikki taloudet kutsuttiin vastaamaan. Vastaajien pihamaalta oli matkaa 0,9–2,7 km lähimpään voimalaan. Alueilla sijaitsevat asuinrakennukset määritettiin Maanmittauslaitoksen karttapalveluiden avulla. Rakennustunnuksen avulla ostettiin Väestörekisterikeskuksesta rakennuksessa sijaitsevien talouksien perustiedot.

Henkilötietona pyydettiin talouden yksi satunnainen aikuinen. Kahden aikuisen talouksissa satunnaistus tehtiin iän ja sukupuolen perusteella. Vapaa-ajan asuntoja ei otettu huomioon.

Vastausaikaa oli neljä viikkoa, jonka jälkeen kaikkia vastaajaehdokkaita muistutettiin kirjeitse. Vastauksia saatiin yhteensä 684, joista 563 saapui tuulivoima-alueelta ja 121 kontrollialueelta. Vastausaste oli 22,4 %, joka on tavanomainen laajoissa väestötutkimuksissa, joissa kirjukuori pitää omatoimisesti viedä postilaatikkoon. Kysely lähetettiin paperisena kirjeessä, mutta kaikkien oli mahdollista täyttää se myös verkossa suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi.

Tutkimuksemme pääasiallinen tarkoitus (tuulivoiman terveysvaikutusten tarkastelu) oli kyselyssä pilloitettu siten, että kyselyssä tuulivoima ei saanut erityistä painoarvoa vaan siinä tiedusteltiin asuinympäristön kokemuksia hyvin laaja-alaisesti. Kyselyn englanninkielinen käännös on kansainväli-

sen artikkelin [9] liitteenä. Tässä raportointime kyselyn osioista vain ne, joista olimme eniten kiinnostuneita:

- tieliikenne- ja tuulivoimamelun melun häiritsevyys (vastaus oli 5 tai suurempi, kun tarjottu vastausasteikko oli 11-portainen: 0 Ei lainkaan, 10 Erittäin paljon)
- tuuliturbiinisyndroomaksi kutsutun oireyhtymän mukaisten oireiden esiintyvyys lähes joka kuukausi tai useammin (migreeni/päänsärky, huimaus, tinnitus, kuulokyky, korvien lukkiuntuminen, ihottuma, selkäkipu, vatsavaivat, näön sumentuminen, sydämen tiheälyöntisyys, keskittyminen, paniikkikohtaukset) ja
- sairauksien esiintyvyys viimeisen 12 kk aikana (krooniset kivut, astma, niveltulehdus, syöpä, masennus, korkea verenpaine, keuhkosairaudet, diabetes, sydänsairaus, unihäiriöt, levottomien jalkojen oireyhtymä).

Joka vastaajan kohdalla määritettiin etäisyys lähimpään tuulivoimalaan, tuulivoima-alueen aiheuttama äänitaso sähköntuotannon ollessa maksimissa ($L_{Aeq,TV}$) ja tieliikennemelun äänitaso päiväaikaan ($L_{Aeq,07-22,TL}$). Äänitaso tarkoittaa A-painotettua keskiäänitasaosuutta asuinkiinteistön pihamaalla 4 m:n korkeudella. On huomattava, että tieliikenteen äänitaso toistuu viikonpäivittäin samanlaisena läpi vuoden ja $L_{Aeq,07-22,TL}$ edustaa tätä hyvin. Sen sijaan tuulivoiman äänitaso edustaa sitä tilannetta, jolloin kaikki tuulivoimalat tuottavat täyttä sähkötehoa ja suurinta melupäästöään. Tämä tilanne esiintyy alle 5 % vuodesta, kun loput ajasta tuulivoiman äänitaso on alhaisempi tai sitä ei ole lainkaan. Siksi tutkimuksessa käytetty $L_{Aeq,TV}$ on suurempi kuin äänitason vuosikeskiarvo.

Äänitasot mallinnettiin CadnaA-ohjelmistolla maanmittauslaitoksen karttaphojia

hyödyntäen. $L_{Aeq,WT}$ määritettiin laskennallisesti kansallisen ohjeen mukaan [11]. Ohjeen mukaisen menetelmän luotettavuus on havaittu erittäin hyväksi [4]. Satamassa (2 voimalaa), Summassa (3 voimalaa, neljäs oli palanut aiemmin) ja Mäkelänkankaalla (4 voimalaa) oli eri voimalatyyppit. Kunkin voimalatyyppin äänitehotaso määritettiin mittauksin kansallisen ohjeen mukaan voimakkaan tuulen aikana [11], jotta voitiin olla varmoja niiden tuottamasta ympäristömelusta kyselyn aikana.

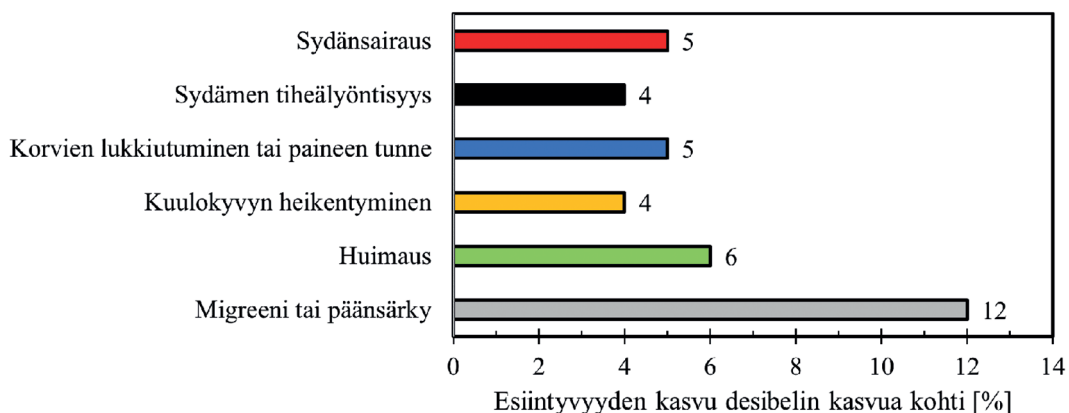
$L_{Aeq,07-22,RT}$ määritettiin laskennallisesti pohjoismaisen mallin mukaan [12]. Siinä otettiin huomioon tuntikohtaiset liikennemäärät, raskaan tieliikenteen osuus, tienpinnan tyyppi ja liikennenopeus Väylävirastolta saatujen tietojen mukaisesti.

Analyytit ja tulokset

Tuloksia analysoitiin kolmella tavalla. Tavassa 1 tarkasteltiin, miten tuulivoimamelulle altistuvat oireilevat tai sairastavat eri äänitasoryhmissä. Tavassa 2 tarkasteltiin oireilun ja sairastavuuden yhteyttä äänitasoihin. Tavassa 3 tarkasteltiin melun häiritsevyyttä eri äänitasoryhmissä.

Tapa 1. Vastaajat jaettiin tuulivoiman melu-altistuksen mukaan neljään äänitasoryhmään: ryhmä 17–25 dB (122 vastaajaa), ryhmä 25–30 dB (282 vastaajaa), ryhmä 30–40 dB (159 vastaajaa) ja kontrolliryhmä (121 vastaajaa). Tuulivoima-alueen äänitasoryhmiä (altistuvat) verrattiin kontrolliryhmään (ei altistuvat) binääristä logistista regressiota käyttäen. Mallissa oli mukana ikä, sukupuoli ja tieliikenteen äänitaso. Kontrolliryhmän ja muiden ryhmien välillä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja ($p > 0.05$). Altistuminen tuulivoimamelulle 17–40 dB ei siis ennustanut kontrolliryhmää suurempaa oireilua tai sairastavuutta.

Tapa 2. Tuulivoima-alueen vastaajien tuulivoiman ja tieliikenteen äänitasojen yhteys oireisiin ja terveyteen analysoitiin

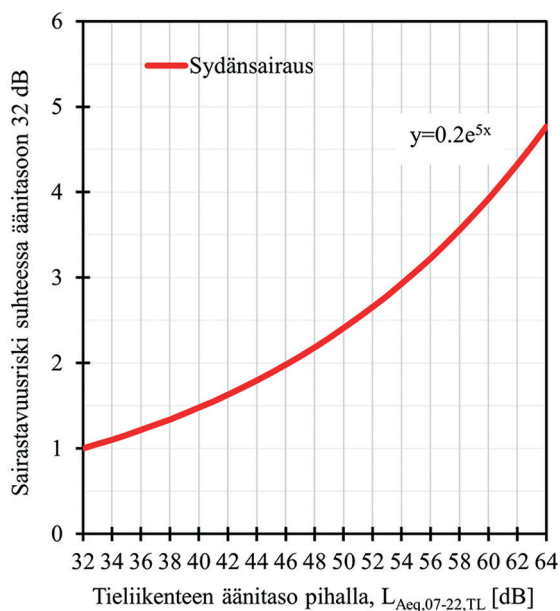


Kuva 2. Tieliikenteen äänitason kasvaessa havaittiin viiden eri oireen ja yhden sairauden esiintyvyyden kasvavan. Luvut kertovat, montako prosenttia kyseinen terveystilanteen esiintyvyys kasvaa, kun äänitaso kasvaa yhden desibelin.

binääristä logistista regressiota käyttäen. Mallissa oli mukana äänitasojen lisäksi ikä ja sukupuoli. Tuulivoiman äänitasolla ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä oireisiin tai sairauksiin. Sen sijaan korkeampi tieliikenteen äänitaso oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä korkeampaan oireiluun sekä sydänsairauden todennäköisyyteen. Sellaiset oireet ja sairaudet on raportoitu kuvassa 2, joiden raportointi

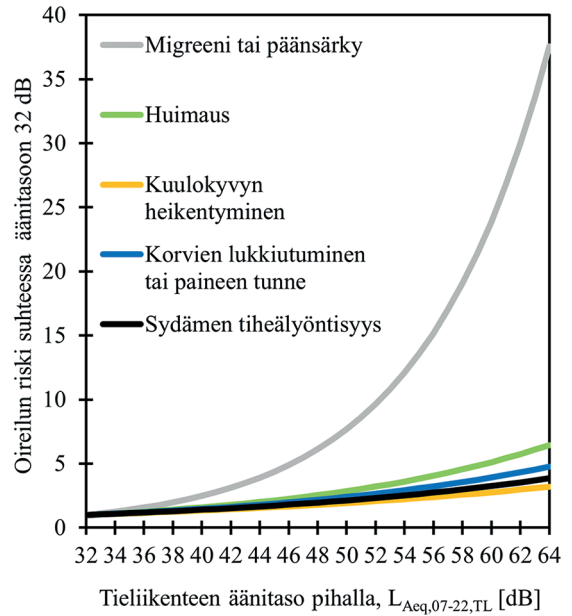
oli yhteydessä tieliikennemelun äänitasoon. Näille oireille analyysin mukaiset riskikertoimet [vastaa regressioanalyysin tunnuslukua $\text{Exp}(B)$] on esitetty kuvassa 2 prosentteina. Riskikerroin kuvaa, montako prosenttia esiintyvyys kasvaa, kun tieliikenteen äänitaso kasvaa desibelillä.

Sydänsairauden riskiä eri tieliikenteen äänitasoilla on havainnollistettu kuvassa 3. Tieliikenteen äänitasolle 64 dB altistuvilla



Kuva 3. Tässä tutkimuksessa sydänsairauksien esiintyvyys kasvoi merkittävästi tieliikenteen äänitason kasvaessa. Esiintyvyys kasvoi 5 %, kun tieliikenteen äänitaso kasvoi desibelillä.

Kuva 4. Tässä tutkimuksessa useiden oireiden esiintyvyys kasvoi merkittävästi tieliikenteen äänitason kasvaessa. Huomaa, että y-akselin asteikko poikkeaa kuvan 3 vastaavasta.

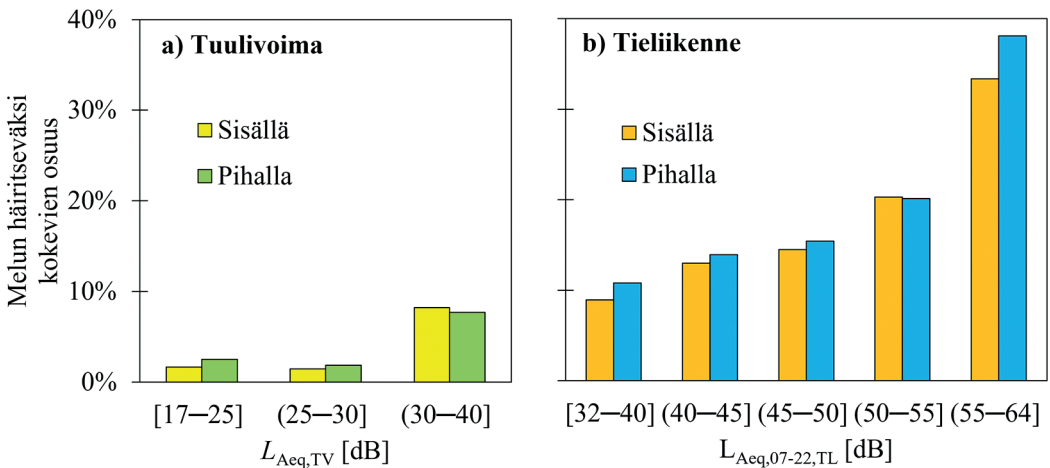


on 4,8-kertainen riski sairastaa sydänsairautta niihin nähden, jotka altistuvat 32 desibelin äänitasolle. Vastaavasti oireilun riskiä eri tieliikenteen äänitasoilla on havainnollistettu kuvassa 4.

Tapa 3. Melun häiritsevyyden analysoinnissa vastaajat jaettiin tuulivoimameluallituksen osalta ryhmiin 17–25 dB, 25–30 dB,

30–40 dB ja kontrolli. Tieliikennemelualituksen osalta tehtiin jako ryhmiin 32–40 dB, 40–45 dB, 45–50 dB, 50–55 dB ja 55–64 dB. Häiritsevyyden riippuvuus äänitasosta on esitetty kuvassa 5.

Tutkimukseen kutsuttiin tuulivoima-alueelta 2560 asukasta. Heistä vastasi 563 asukasta eli vastausaste oli 22 %. Vastaamatta



Kuva 5. (a) Tuulivoimamelun häiritseväksi kokevien osuus kasvoi, kun tuulivoiman äänitaso, $L_{Aeq,Tv}$ kasvoi. (b) Tieliikennemelun häiritseväksi kokevien osuus kasvoi, kun tieliikenteen äänitaso, $L_{Aeq,07-22,TL}$ kasvoi. Häiritsevyys tarkoittaa näissä kuvissa todennäköisyyttä sille, että vastaus on 5 tai suurempi vastausasteikolla 0–10.

jätti siis 1997 asukasta (taloutta). Analyysien perusteella vastaamattomat ja vastanneet eivät eronneet toisistaan tuulivoiman äänitason, lähimmän tuulivoimalan etäisyyden tai tieliikenteen äänitason suhteen. Vastanneet olivat kuitenkin iäkkäämpiä (keski-ikä 63 vuotta) kuin vastaamattomat (keski-ikä 56 vuotta) ja naiset vastasivat herkemmin (vastausaste 25 %) kuin miehet (vastausaste 20 %).

Pohdinta ja johtopäätökset

Tavalla 1 saatu tulos on aiemman kirjallisuuden mukainen: alle 40 desibelin tuulivoiman äänitasolla ei ole havaittu muita yhteyksiä terveyteen kuin melun häiritsevyys [6]. Tuloksen perusteella on epätodennäköistä, että alle 40 desibelin meluallistutus aiheuttaa oireita tai sairauksia muillakaan tuulivoima-alueilla.

Tavalla 2 saatu tulos on linjassa tavalla 1 saadun tuloksen kanssa tuulivoimamelun äänitason osalta. Sen sijaan tieliikennemelun äänitaso oli yhteydessä oireilun ja sairastavuuden riskin kasvuun korkeammilla äänitasoilla. Tulokset ovat linjassa aiemman kirjallisuuden kanssa, jonka mukaan korkeampi tieliikenteen äänitaso on yhteydessä korkeampaan diagnosoidun sydänsairauden todennäköisyyteen (prevalenssiin) [13]. Havainto on kansanterveydellisesti ottaen erittäin tärkeä, koska sen perusteella säädökset täyttävillä tuulivoima-alueilla tulisi kiinnittää huomiota ensisijaisesti tieliikennemelun torjuntaan. Nykyinen tuulivoimaa koskeva melulainsäädäntö [8] vaikuttaa riittävän tiukalta eikä sen mukaisilla tuulivoima-alueilla ole odotettavissa tuulivoiman aikaansaamia terveyshaittoja.

Tavalla 3 saatu tulos on hyvin odotettu ja linjassa aiemman suomalaisen ja ulkomaisen tutkimuksen kanssa sen osalta, että häiritsevyys kasvaa äänitason kasvaessa [4]. Tärkeä uusi löydös on se, että tuulivoi-

mamelun ja tieliikennemelun häiritsevyys olivat samalla tasolla, kun äänialtistus näillä melulajeilla on luokkaa 30–40 dB. Tämä on ristiriidassa aiempien ulkomaisten tutkimusten kanssa, joiden mukaan tuulivoimamelu olisi muita meluja häiritsevämpää [14]. Kyseisen tutkimuksen puutteena oli se, että tiedot oli poimittu eri maiden tutkimuksista. Tässä kohteessa tulokset ovat samalta alueelta ja saman kyselyn kautta. Tulos siis asettaa tuulivoimamelun erityistä häiritsevyyttä koskevat käsitykset uuteen valoon.

Tutkimus on kansanterveydellisesti merkittävä, koska yhdelläkään tuulivoima-alueen asuinrakennuksen pihamaalla valtioneuvoston asetuksen [8] mukaiset ohjearvot eivät ylity, mutta samalla yli 30 desibelin äänitasoille altistui runsaasti asukkaita. Tämän vuoksi tutkimuksen pohjalta on mahdollista arvioida, ovatko asetuksen [8] mukaiset ohjearvot perusteltuja. Tämän tutkimuksen perusteella nykyisiä tuulivoimamelun ohjearvoja ei olisi perusteltua tiukentaa.

Tutkimuksen näytövoima meluvaikutuksiin liittyen on korkea, koska vastaajien meluallistus tunnettiin sekä tuulivoiman että tieliikenteen osalta. Monet epidemiologiset tutkimukset kuvaavat altistusta tuulivoimaloille käyttäen etäisyyttä lähimpään voimalaan riippumattomana muuttujana. Etäisyys ei kuitenkaan kerro meluallistuksesta mitään, koska voimaloiden äänitehotasot ovat hyvin erilaisia, voimaloiden lukumäärä (alueen kokonaismeluemissio kasvaa, jos voimaloita on enemmän) ja keskinäiset sijoittelut vaihtelevat tuulivoima-alueittain ja myös maanpinnan muodot vaikuttavat äänen leviämiseen.

Kyselytutkimusten yleinen ongelma on se, että kaikki eivät vastaa niihin. Tässäkin tutkimuksessa lähes 80 % kutsutuisista jätti vastaamatta. On mahdollista, että vastaamattomien mielipide poikkeaa tässä esitetystä suuntaan tai toiseen. Vastaamisen

on kuitenkin oltava vapaaehtoista, joten tutkimustiedon on nojaututtava siihen tietoon, mitä asukkaat haluavat antaa.

Kiitokset

Tutkimus oli osa Anojanssi-projektia, jota rahoittivat Business Finland (60 %, Tekes rahoitus 828/31/2015), Turun ammattikorkeakoulu, ympäristöministeriö, sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö, yhdistykset ja yritykset. Rahoittajilla ei ollut ohjaavaa roolia tutkimuksen tekemisessä.

Viittaukset

1. Janhunen, S., Hujala, M., Pätäri, S. (2014). Owners of second homes, locals and their attitudes towards future rural wind farm. *Energy Policy* 73 450–460.
2. Hongisto, V., Suokas, M., Varjo, J., Yli-Kätkä, V.-M. (2015). Tuulivoimalamelun häiritsevyyttä kahdella tuulivoima-alueella, Ympäristö ja Terveys-lehti 6 54–59. Verkossa: https://tuulivoimayhdistys.fi/media/794-hongisto_y_m_2015_ymparisto_ja_terveys.pdf
3. Turunen, A., Tiittanen, P., Lanki, T. (2016). Meluhaittojen kokeminen ja oireilu yhdeksällä tuulivoima-alueella Suomessa. *Ympäristö ja Terveys-lehti* 5 76–81. Verkossa: <https://www.julkari.fi/handle/10024/131157>.
4. Hongisto, V., Keränen, J., Oliva, D. (2017). Indoor noise annoyance due to 3–5 MW wind turbines – an exposure-response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America* 142(4) 2185–2196. Verkossa: <http://dx.doi.org/10.1121/1.5006903>.
5. Radun, J., Hongisto, V., & Suokas, M. (2019). Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance. *Building and Environment* 150 339–348.
6. Freiberg, A., Scheffter, C., Girbig, M., Murta, V.C., Seidler, A. (2019). Health effects of wind turbines on humans in residential settings: Results of a scoping review. *Environmental Research* 169 446–63.
7. Ympäristöministeriö (2012). Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012, Helsinki. Verkossa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79057/OH_5_2016.pdf.
8. Valtioneuvosto (2015). Valtioneuvoston asetus 1107-2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjeista. 27.8.2015. Helsinki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>.
9. Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R., Hongisto, V. (2021). Health effects of wind turbine and road traffic noise on people living near wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 157 112040 (13 p). Verkossa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121013022>.
10. Ympäristöministeriö (2014). Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014, Helsinki. Verkossa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42937>.
11. Ympäristöministeriö (2014). Tuulivoimaloiden melupäästön todentaminen mittamalla. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2014, Helsinki. Verkossa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42938>.
12. Nielsen, H. (1996). Road Traffic Noise – Nordic Prediction Method. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark.
13. van Kempen, E., Casas, M., Pershagen, G., Foraster, M. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European region: a systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: a summary. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 379 (59 p). Verkossa: <https://doi.org/10.3390/ijerph15020379>
14. 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. ■