

11/2020

Näkökulmia ajankohtaisiin yhteiskunnallisiin kysymyksiin ja poliittisen päätöksenteon tueksi.

Tuulivoimaloiden infraääni ja terveys

Panu Maijala TkT, VTT

Anu Turunen FT, THL

Ilmari Kurki FT, Lari Vainio FT, HY

Markku Sainio LT, TT

INFRAÄÄNIALTISTUS EI SELITÄ TUULIVOIMAAN LIITETTYÄ OIREILUA

Valtioneuvoston yhteisen selvitys- ja tutkimustoiminnan (VN TEAS) rahoittamassa hankkeessa selvitettiin, onko tuulivoimaloiden infraäänellä haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen. Hankkeen toteuttivat monitieteellisenä yhteistyönä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Työterveyslaitos, Helsingin yliopisto ja Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. Hanke koostui kolmesta osiosta: *pitkäaikaismittaukset, kyselytutkimus ja kuuntelukokeet*.

Pitkäaikaismittaukset osoittivat, että asunnoissa, joissa asukkaiden tiedettiin yhdistäneen oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen, infraäänitasot olivat merkittävästi suurempia kuin aiemmissa mittauksissa luonnontilaisilla alueilla. Tuulivoimaloiden aiheuttamat infraäänitasot asuinnoissa olivat samaa suuruusluokkaa kaupunkiympäristön infraäänitasojen kanssa.

Myös kyselytutkimus kohdistettiin alueille, joilla tiedettiin asukkaiden yhdistäneen oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen. Alle 2,5 km:n etäisyydellä lähimmästä tuulivoimalasta 15 % vastaajista yhdisti oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen. Koko tutkimusalueella eli 20 km:n etäisyydellä lähimmästä tuulivoimalasta oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen yhdisti 5 % vastaajista. Oireilevista noin kolmasosa koki oireidensa olevan vakavia, ja oireiden kirjo oli hyvin laaja. Monet tekijät, kuten kodin sijainti lähellä tuulivoimaloita, krooniset sairaudet, toiminnalliset oireet ja häiriöt, tuulivoimaloiden kokeminen häiritseväksi ja tuulivoimaloiden pitäminen terveysriskinä olivat yleisempiä niillä, jotka yhdistivät oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen.

Kuuntelukokeisiin osallistuvilla esitettiin pitkäaikaismittauksissa tallennettua, myös infraääntä sisältävää tuulivoimaloiden ääntä. He eivät pystyneet havaitsemaan infraäänien esiintymistä tuulivoimaloiden äänessä, eikä infraääni vaikuttanut tuulivoimaloiden äänen häiritsevyyteen. Äänenpainetaso ja merkityksellisen sykkinnän lisäys puolestaan lisäsivät kuuluvan äänen häiritsevyyttä. Tahdosta riippumattoman eli autonomisen hermoston stressiä ilmentävissä vasteissa ei nähty eroa sen suhteen, oliko esitetystä ääninäytteestä infraääntä vai ei, tai annettiin vaihtamalla, että ääninäyte sisälsi infraääntä.

Ne kuuntelukokeisiin osallistuneet, jotka ilmoittivat saavansa oireita tai sairaudentunnetta tuulivoimaloiden infraäänestä, eivät olleet muita herkempiä havaitsemaan tuulivoimaloiden infraääniä eivätkä he kokeneet infraääntä häiritsevämmäksi kuin muut osallistujat. Myöskään heidän autonominen hermostonsa ei reagoinut infraääneen tavanomaista voimakkaammin. Heistä yli puolet sai kuitenkin haittaoireita koepäivän eri osioissa, kun taas niistä, jotka eivät olleet raportoineet oireilua tuulivoimaloista, vain muutama ilmoitti lievistä tuntemuksista. Raportoitu oireilu liittyi kuitenkin näytteisiin, joissa ei ollut mukana infraääntä (luontovideot ja tuulivoimaloiden ääni, joista oli poistettu infraääni).

Altistustaso, jolla ei ole tunnettuja terveysvaikutuksia, laaja oireiden kirjo, sekä se, että altistuskokeessa ei voitu osoittaa tuulivoimaloiden infraäänellä olevan suoria elimistövaikutuksia viittaavat siihen, että oireilua selittävät muut tekijät kuin tuulivoimaloiden infraääni.

Oireilua voi selittää tuulivoimaloiden kokeminen häiritseväksi ja niiden pitäminen terveysriskinä. Toisaalta on mahdollista, että oireet ja sairaudet, jotka eivät liity tuulivoimaloiden infraääneen, tulkitaan niistä johtuviksi. Tulkintoihin vaikuttaa myös käynnissä oleva julkinen keskustelu. Samanlaisia monimuotoisia oireita hyvin pienillä altistustasoilla on liitetty myös muihin ympäristötekijöihin, kuten sähkömagneettisiin kenttiin, jolla ei ole tunnettuja terveysvaikutuksia.

TUULIVOIMATUOTANNON TERVEYSVAIKUTUKSIA SELVITETTY

Tuulivoimatuotannon terveysvaikutukset ovat aiheuttaneet huolta, koska osa jo toiminnassa olevien tuulivoimatuotantoalueiden läheisyydessä asuvista henkilöistä on kertonut monenlaisista elämänlaatua heikentävistä oireista, jotka he ovat itse yhdistäneet tuulivoimaloiden infraääneen. Infraääni tarkoittaa hyvin pientaajuista eli matalaa ääntä, jonka taajuus (värähtelyjen lukumäärä sekunnissa) on alle 20 Hz. Sitä esiintyy kaikkialla luonnossa ja rakennetussa ympäristössä yhdessä kuuluvan äänen kanssa. Infraäänen voi aistia, jos äänenpainetaso on riittävän suuri.

Kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030 linjattiin, että tuulivoiman terveys- ja ympäristöhaitoista on tehtävä riippumaton ja kattava selvitys. Vuonna 2017 valmistui aiheeseen liittyvä tieteellinen kirjallisuuskatsaus. Siinä todettiin, että tuulivoimaloiden kuuluvan äänen tai infraäänen yhteydestä oireiluun ei ole tällä hetkellä tieteellistä näyttöä, mutta lisätutkimukset ovat perusteltuja (Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen 2017).

Tuulivoimaloiden kuuluvan äänen terveysvaikutuksia on tutkittu viime vuosina Tanskassa ja Kanadassa, mutta näissä laajoissa tutkimuskokonaisuuksissa ei ole saatu näyttöä tuulivoimatuotantoalueiden läheisyydessä asumisen tai tuulivoimaloiden aiheuttaman äänen äänenpainetason yhteydestä oireiluun tai sairauksiin (esim. Poulsen ym. 2019; Michaud ym. 2016). Sen sijaan tuulivoimaloiden kuuluvan äänen, valojen, vilkkuvan varjostuksen ja maisemavaikutuksien kokeminen häiritseväksi on nähty olevan yhteydessä terveyshaittoihin (Michaud ym. 2018). Tiedetään myös, että äänen akustisten ominaisuuksien lisäksi monet ei-akustiset tekijät, esimerkiksi äänilähteeseen liittyvät mielipiteet ja riskikäsitykset, maisemavaikutukset, taloudelliset tekijät sekä luottamus viranomaisiin vaikuttavat osaltaan äänen kokemiseen häiritseväksi (esim. van den Berg ym. 2008).

Lisääntyvästi on tieteellistä näyttöä siitä, että nosebomekanismit selittävät infraäänestä koettua haittaa (Crichton ym. 2014). Nosebolla tarkoitetaan tässä sitä, että tuulivoimaloihin liitetyillä tekijöillä, tuntemuksilla tai oireilla on kielteinen merkitys, joiden seurauksena syntyy

sen mukaisia fysiologisia vasteita sekä haitta- ja häiritsevyykokemuksia. Oireilun muututtua pitkäaikaiseksi, keskushermosto on herkistynyt haittaan viittaaville ulkoisille viesteille ja sisäisille tuntemuksille, mikä aiheuttaa elimistössä epätarkoituksenmukaisen voimakkaita reaktioita. Tuoreessa ranskalaisessa tieteellisessä raportissa ei katsottu, että tuulivoimaloiden infraäänellä olisi terveysvaikutuksia, ja arvioitiin, että nosebovaikutukset ovat mukana selittämässä koettuja oireita ja terveyshaittoja (Lepoutre ym. 2017).

Yokoyama ym. (2014) osoittivat kokeellisessa tutkimuksessa, että osallistujat voivat havaita infraäänen vain, jos äänen voimakkuus ylittää reilusti tuulivoimatuotantoalueiden läheisyydessä tavallisesti esiintyvän voimakkuuden. Tuulivoimaloiden kuuluvan äänen häiritsevyyttä selvittäneiden kokeellisten tutkimusten mukaan äänen merkityksellisen sykinnän kasvattaminen lisää äänen häiritsevyyttä (Lee ym., 2011; Seong ym., 2013). Tähänastiset tutkimukset eivät ole selvittäneet tuulivoimaloiden infraäänen osuutta äänen häiritsevyydessä.

Tässä hankkeessa selvitettiin pitkäaikaismittausten, kyselytutkimuksen ja kuuntelukokeen avulla, onko tuulivoimaloiden äänellä haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen

TUULIVOIMALOIDEN INFRAÄÄNEN YHTEYTTÄ IHMISTEN OIREILUUN TUTKITTIIIN USEILLA MENETELMILLÄ

Pitkäaikaismittaukset

Pitkäaikaismittausten tavoitteena oli selvittää, millaista tuulivoimaloiden ääni on erityisesti sisätiloissa ja saada talteen pahimpia mahdollisia infraäänitilanteita edustavat ääninäytteet hankkeen kuuntelukoeosioon.

Pitkäaikaismittauksiin valittiin rakennukset kahden eri tuulivoimatuotantoalueen läheisyydestä: hirsitalo Kurikassa 1,6 km:n etäisyydellä Ilmajoen Santavuoren lähimmästä tuulivoimalasta ja tiiliverhoiltu talo 1,5 km:n etäisyydellä Raahen Kopsan lähimmästä tuulivoimalasta. Näissä taloissa tuulivoimaloiden infraäänen oli raportoitu aiheuttavan oireita. Molemmilla alueilla oli yhteensä 17 kpl Siemens (3,0 MW) tai Vestas (3,3 MW) tuulivoimaloita. Ääntä tallennettiin yhteensä 308 vuorokautta tuulivoimatuotantoalueelta ja samanaikaisesti lähellä sijaitsevien rakennusten sisä- ja ulkopuolelta taajuusalueella 0,05–20000 Hz.

Kyselytutkimus

Kyselytutkimuksen tavoitteena oli kuvata tuulivoimaloiden infraääneneen liitettyä oireilua, erityisesti oireilun yleisyyttä tuulivoimatuotantoalueiden läheisyydessä.

Kyselytutkimus toteutettiin postikyselynä 20 km:n säteellä neljästä tuulivoimatuotantoalueesta, joilla arvioitiin olevan eniten tuulivoimaloiden infraääneneen liitettyä oireilua. Tuulivoimaloiden nimellisteho alueilla oli 2,7–4,5 MW. Väestörekisterikeskuksen satunnaisotantaan pyrittiin saamaan yksi aikuinen henkilö 400 kotitaloudesta jokaiselta etäisyysvyöhykkeeltä ($\leq 2,5$ km, $> 2,5$ –5 km, > 5 –10 km, > 10 –20 km) ja kultakin tuulivoimatuotantoalueelta. Muutamien alueiden lähimmillä etäisyysvyöhykkeillä oli kuitenkin vähemmän kuin 400 asuttua asuinrakennusta, joten näillä alueilla mukaan päätyi yksi henkilö kaikista vyöhykkeen kotitalouksista. Otoksen koko oli 4847 henkilöä. Suhteellisen pienen vastausaktiivisuuden (28 %) vuoksi 10 % ei-vastanneista haastateltiin puhelimitse postikyselyn tulosten luotettavuuden arvioimiseksi.

Kuuntelukokeet

Kuuntelukokeiden tavoitteena oli tutkia kokeellisesti infraääntä sisältävän tuulivoimaloiden äänen havaitsemista ja häiritsevyyttä sekä sen aiheuttamia fysiologisia vasteita.

Osallistujavalinta: Kuuntelukokeisiin osallistujat olivat saaneet tiedon kokeellisesta tutkimuksesta kyselytutkimuksen mukana lähetetyn kutsukirjeen, tuulivoimasta haittoja kokevia kansalaisia edustavien yhdistysten tai asuinalueiden paikallismedioiden kautta. Kokeisiin kutsuttiin ilmoittautumisjärjestyksessä 27 henkilöä, ja heille lähetettiin laaja terveystarkastus. Osallistujista 10 ilmoitti saavansa oireita tuulivoimaloiden infraäänestä, yksi niiden kuuluvasta äänestä ja 16 henkilöllä ei ollut oireita tuulivoimaloihin liittyen. Tavoitteena oli saada yhtä suuret osallistujamäärät sekä ei-oireilevien että oireilevien ryhmiin. Oireilevien henkilöiden rekrytoimisen haastavuudesta johtuen (pitkä matka kotipaikkakunnalta tutkimuspaikkaan ja yllättävät osallistujien peruutukset) ryhmäkoot jäivät suunniteltua pienemmiksi.

Kuuntelukokeen kulku: Kuuntelukokeet koostuivat tuulivoimaloiden infraäänien *havaitsemiskokeesta* ja *häiritsevyysskokeesta*. Kokeissa käytettiin hankkeen pitkäaikaismittauksissa tallennettuja ääninäytteitä tuulivoimatuotantoalueilta, asuntojen pihoilta ja asuntojen sisältä. Ääninäytteet toistettiin tutkimushuoneessa taajuussisällöltään ja äänenpainetasoltaan samanlaisina kuin tallennushetkellä.

Havaitsemiskokeessa osallistujille esitettiin ääninäytteitä pareittain. Puolessa näytteistä äänet olivat muuten identtiset, mutta ääniparin toisen ääninäytteen infraäänitaajuudet (alle 20 Hz) oli suodatettu pois ja puolessa näytteistä kummatkin äänet olivat täysin identtisiä. Osallistujien tehtävänä oli erottaa näytteet, joissa äänet olivat toisistaan poikkeavat. Koe sisälsi lisäksi myös kontrollinäytteitä, joista oli poistettu kuuloalueella olevat pientaajuiset, alle 100 Hz:n taajuudet.

Häiritsevyysskokeessa osallistujat arvioivat 10 sekunnin pituisten ääninäytteiden häiritsevyyttä asteikkovälillä 0 (ei lainkaan häiritsevä) ja 10 (erittäin häiritsevä). Koehenkilöille esitettiin verrokkitilanteena aaltojen kohinaa meren rannassa eli ääntä, joka tiedettiin aiempien tutkimusten perusteella miellyttäväksi. Puolet tuulivoimalan ääninäytteistä sisälsi merkityksellistä sykintää ja puolet ei sisältänyt sitä. Lisäksi puolessa kaikista esitetyistä ääninäytteistä, myös meren aaltojen kohinasta, infraääni oli suodatettu pois. Ääninäytteiden esitysjärjestys oli satunnaistettu. Infraääniä sisältäviä ja sisältämättömiä ääninäytteitä esitettiin omissa 10 minuutin pituisissa koeosioissaan, jotta infraäänellä olisi riittävästi aikaa tuottaa reaktioita elimistössä.

Erilliset koeosiot: Kuuntelukokeiden lisäksi tutkimus sisälsi kaksi erillistä koeosiota, joista ensimmäisessä osallistujalle esitettiin heidän tietämättään seitsemän minuutin ajan tuulivoimaloiden infraääntä samalla kun he katselivat luontovideota. Kontrollitilanteessa he katselivat luontovideota ilman, että heille esitettiin infraääntä. Toisessa erillisessä koeosiossa osallistujalle annettiin väittämä, että seuraavan viiden minuutin ajan heille esitetään tuulivoimaloiden infraääntä. Vaihtoehtoisesti heille annettiin väittämä, että seuraavan viiden minuutin ajan ei esitetä infraääntä. Kummassakaan koeosiossa ei todellisuudessa esitetty infraääntä.

Fysiologisia mittauksia tehtiin rekisteröimällä tahdosta riippumattoman hermoston stressivasteita, muun muassa sydämen sykkeen ja ihon sähköjohtavuuden muutosten avulla. Fysiologisia stressivasteita mitattiin vakioituissa olosuhteissa luontovideoiden ja kuuntelutehtävien, sekä voimakkaan kylmäaltistustestin aikana. Tutkimuksen eri osioiden jälkeen osallistujia pyydettiin arvioimaan tehtävänäikaista stressitasoaan asteikolla 0–10. Tutkimusten aikana havainnoitiin osallistujien vointia ja kirjattiin heidän kertomansa oireet.

Kuuntelukokeisiin osallistuneet eivät havainneet infraääntä, eikä sen vaikutuksia todettu fysiologisissa mittauksissa

TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuulivoimaloiden aiheuttama ääni asunnoissa

Tuulivoimatuotantoalueiden lähellä sijaitsevien talojen sisätiloissa painottamattomat keskiäänitasot olivat koko pitkäaikaismittausjaksolla noin 20 dB suurempia, kuin aiemmissa mittauksissa luonnontilaisilla alueilla: Kopsassa 67 dB (A-painotettuna 35 dB) ja Kurikassa 75 dB (A-painotettuna 37 dB). Painottamaton äänitaso sisältää kuuluvan ja infraäänen kaikki taajuudet, kun taas A-painotettu sisältää ainoastaan kuuluvan äänen taajuudet ihmisen kuuloaistin herkkyyden mukaan painotettuna. Keskiäänitason kannalta tärkeimmät taajuudet olivat alle 1 Hz:n taajuudet ja suurimpia yksittäisiä 10 minuutin keskiäänitasoja tarkasteltaessa alle 2 Hz:n taajuudet (Kopsassa 84 dB ja Kurikassa 102 dB). Asunnoista mitatut infraäänitasot ja A-painotetut keskiäänitasot olivat samaa suuruusluokkaa kuin kaupunkiasunnoissa esiintyy. Infraäänitasojen vaihteluväli oli 42–102 dB (A-painotettuna 37 dB). Tuulivoimatuotantoalueelta tehty pitkäaikaismittaustulos vahvasti myös aiempien, lyhyempien mittauskampanjoiden tulokset: tuulivoimaloiden aiheuttama keskiäänitaso, 74 dB, on samaa suuruusluokkaa kaupunkiympäristön infraäänitasojen kanssa.

Tuulivoimaloiden infraääneen yhdistetty oireilu

Oireiden liittäminen tuulivoimaloiden infraääneen oli melko yleistä lähimmällä etäisyysvyöhykkeellä ($\leq 2,5$ km lähimmästä tuulivoimalasta), jossa 15 % vastaajista (34 oireilevaa, yhteensä 227 vastaajaa) yhdisti oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen. Koko tutkimusalueella tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan yhdisti 5 % vastaajista (70 oireilevaa, yhteensä 1293 vastaajaa). Koska kyselytutkimukseen valittiin alueita, joilla arvioitiin olevan eniten asukkaiden tuulivoimaloiden infraääneen yhdistämää oireilua, voidaan olettaa, että oireiden yhdistäminen tuulivoimaloiden infraääneen ei ole ainakaan yleisempää muilla tuulivoimatuotantoalueilla. Yleisyysarviota voidaan pitää luotettavana, koska ei-vastanneille tehdyssä puhelinhaastattelussa tuulivoimaloiden infraääneen liitetyn oireilun yleisyys oli samaa suuruusluokkaa kuin kyselytutkimuksessa. Noin kolmasosa oireilevista ilmoitti oireidensa olevan vaikeita (11 henkilöä lähimmällä etäisyysvyöhykkeellä, 19 henkilöä kaikista vastaajista).

Noin puolet tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan yhdistävistä raportoi korvaoireita kuten tinnitusta ja paineen tunnetta korvassa (34 henkilöä) tai unihäiriöitä (32 henkilöä), noin neljäsosa sydänoireita kuten rytmihäiriöitä (18 henkilöä) tai päänsärkyä (17 henkilöä), ja viidesosa huimausta (15 henkilöä). Yksi tai muutama henkilö ilmoitti jonkin seuraavista oireista: ahdistuneisuus, uupumus, korkea verenpaine, nivel- tai muut kivut, pahoinvointi, keskittymisvaikeudet, silmävaivat, ihoärsytys, mahavaivat, matala ruumiinlämpö, stressi, ärtyneisyys, masennus, raajojen puutuminen, aivosumu, paineen tunne aivoissa. Yksittäisten henkilöiden tuulivoimaloiden infraääneen yhdistämiä sairauksia olivat astma, aivohalvaus, ärtyvän suolen oireyhtymä, fibromyalgia ja kaihi. Näin monen tyyppiset ja eri elinjärjestelmiin liittyvät oireet eivät ole selitettävissä fysikaalisen altistumisen suorilla elimistövaikutuksilla, vaan mukana on oltava myös muita mekanismeja.

Samanlaisia oireita hyvin pienillä altistustasoilla on raportoitu myös muihin ympäristöaltistuksiin kuten sähkömagneettisiin kenttiin liittyen. Näissä tapauksissa oireistot eivät ole selittyneet altistumisella, vaan laukeavat jo oletetusta altistumisesta (Dantoft ym. 2015, Verrender ym. 2018). Herkkyyttä ympäristötekijöille (ns. ympäristöherkkyys) on Suomessa sähkömagneettisiin kenttiin liittyen noin 2 %:lla väestöstä ja ääniin liittyen noin 5 %:lla väestöstä (Karvala ym. 2018). Tässä hankkeessa tehdyssä kyselytutkimuksessa monet tuulivoimaloiden infraääneen oireensa liittävästä kokivat saavansa oireita myös tuulivoimaloiden aiheuttamasta tärinästä ja sähkömagneettisesta kentästä.

Tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan liittävät mm. asuivat keskimäärin lähempänä tuulivoimaloita, heillä oli yleisemmin kroonisia sairauksia sekä toiminnallisia oireita ja häiriöitä, ja he kokivat tuulivoimaloiden äänen ja vilkkuvan varjostuksen yleisemmin häiritseviksi ja pitivät tuulivoimaloita yleisemmin terveysriskinä kuin henkilöt, joilla ei ollut oireita. Toisaalta oireiluun eivät olleet yhteydessä esimerkiksi asuinrakennuksen runkorakenne tai vastaajan ikä, sukupuoli tai elintavat. Poikkileikkausasetelmassa tehdyn kyselytutkimuksen perusteella ei kuitenkaan ole mahdollista arvioida syy-seuraussuhteita.

Monet tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan yhdistävistä raportoivat kokevansa häiriötä myös kuuluvan äänen, tuulivoimaloiden valojen ja vilkkuvan varjostuksen vuoksi. Infraääneen liitetyt oireet saattavatkin osin selittyä stressireaktioilla ja oireilla, jotka ovat seurausta tuulivoimaloiden kokemisesta häiritseväksi (van Kamp ja van den Berg 2018). Toisaalta on mahdollista, että oireet ja sairaudet, jotka eivät liity tuulivoimaloiden infraääneen, tulkitaan niistä johtuviksi.

Monet tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan yhdistävistä ilmoittivat myös pitävänsä tuulivoimaloita ja niiden aiheuttamaa infraääntä riskinä terveydelle, mutta oireilun ja mielipiteiden ajallista ilmaantumisjärjestystä ei tiedetä. Kokeellisissa tutkimuksissa on havaittu, että kielteiset merkitykset, kuten huoli lisäävät oireiden raportointia (esim. Tonin ym. 2016). Toisaalta myös oireet lisäävät huolta. Koska plasebo-noseboilmiö liittyy kaikkeen ihmisten oireiluun ja tuottaa todellisia oireita (Colloca ja Barsky 2020), se on yksi mahdollinen selitys myös tuulivoimaloiden infraääneen liitetyle oireilulle.

Tuulivoimaloiden infraäänen havaitseminen, häiritsevyys ja fysiologiset vasteet

Havaittavuutta mitattiin erotuskokeessa onnistumisen avulla. Infraäänen havaitsemiskokeessa verrattiin alkuperäisiä ääninäytteitä näytteisiin, joista infraääni oli poistettu. Osallistujat eivät erottaneet tuulivoimatuotantoalueelta, pihalta ja sisältä mitatuista näytteistä infraäänen esiintymistä. Tulokset vastaavat Yokoyama ym. (2014) tuloksia. Kontrollitilanteissa, joissa pienet taajuudet oli poistettu äänestä kuuluvan taajuusalueen alueelta, äänien ero pystyttiin havaitsemaan tilastollisesti merkitsevästi arvaustodennäköisyyttä paremmin. Kohtuullisen pienestä osallistujamäärästä huolimatta koeasetelmalla pystyttiin mittaamaan havaittavuutta ja häiritsevyyttä luotettavasti. Sillä, oliko henkilö ilmoittanut saavansa tuulivoimaloiden infraäänestä oireita vai ei, ei ollut vaikutusta herkkyyteen havaita tuulivoimaloiden infraääntä.

Tuulivoimatuotantoalueen läheltä mitattujen näytteiden äänenpainetaso oli suurempi ja ne koettiin häiritsevämpinä kuin pihalta mitatut näytteet tai kontrolliääni (meren aaltojen kohina rannassa). Myös merkityksellinen sykintä lisäsi pihalta mitattujen näytteiden häiritsevyyttä. Tämä tulos toistaa aiemmin esitetyt tulokset merkityksellisen sykkinnän vaikutuksesta tuulivoimaloiden äänen häiritsevyyteen (Lee ym. 2011, Seong ym. 2013). Infraäänellä ei ollut vaikutusta häiritsevyyteen. Oireilevan ja oireilemattoman ryhmän välillä ei havaittu eroja tuulivoimalan ääninäytteiden häiritsevyydessä.

Toistetuissa stressikyselyissä henkilöt, jotka olivat ilmoittaneet saavansa tuulivoimaloista ja niiden infraäänestä oireita, raportoivat kokeen edetessä rasittuvansa enemmän kuin oireilemattomat. Tutkimuksen alussa rasittuneisuudessa ei ollut eroja ryhmien välillä. Yli puolet henkilöistä (6/11), jotka olivat ilmoittaneet saavansa oireita tuulivoimaloiden infraäänestä, ilmoittivat kokeiden aikana oireista. Raportoitu oireilu liittyi kuitenkin näytteisiin, joissa ei ollut mukana infraääntä (luontovideoita ja tuulivoimaloiden ääni, joista oli poistettu infraääni). Vain muutamat niistä (2/16), jotka ilmoittivat, etteivät saa oireita tuulivoimaloista, ilmoittivat lieviä tuntemuksia. Infraääni-väittämästä ilman infraäänialtistusta seurasi oireita kuudelle, joista viisi oli henkilöitä, jotka olivat ilmoittaneet saavansa oireita tuulivoimaloiden infraäänestä.

Fysiologisista vasteista sykkeessä, sykevälvaihtelussa tai ihon sähköjohtavuudessa ei todettu eroja sen suhteen, esitettiinkö infraääntä vai ei, tai annettiin osallistujalle väittämää siitä, että näytteessä oli infraääntä. Fysiologisissa rekisteröinneissä ei todettu eroja myöskään sen suhteen, oliko henkilö ilmoittanut saavansa tuulivoimaloiden infraäänestä oireita vai ei, vaikka yli puolet tuulivoimaloista oireilevista osallistujista koki haittaoireita kokeiden aikana. Fysiologisten vasteiden osalta pieni osallistujamäärä sekä suuri yksilöllinen vaihtelu kokeen aikana ja yksilöiden välillä heikentävät niiden hyödyllisyyttä stressireaktioiden arvioimisessa.

Tunnetut havaitsemiskynnykset ulottuvat taajuuteen 4 Hz (50 % populaatiosta aistii äänenpainetaso 107 dB). Havaitsemiskynnys on yksilöllinen ja on todennäköistä, että osa ihmisistä havaitsee suurimmat tuuliturbiinien synnyttämät infraäänitasot, vaikka sitä ei tässä tutkimuksessa voitu osoittaa.

Äänen havaitsemiskynnys vaihtelee yksilöllisesti perimän, aiemman melualtistuksen ja iän mukaan. Esimerkiksi taajuudella 10 Hz normaalikuuloisille nuorille havaitsemiskynnys on 89 dB ja satunnaisesti valituille 50–60 vuotiaille 103 dB (Leventhall 2007). Havaitsemiskynnys 4 Hz:n taajuiselle äänelle äänenpainetasolla 107 dB (Watanabe ja Møller 1990). Aiemmissa kansainvälisissä tutkimuksissa (Tachibana ym. 2014), edeltävässä hankkeessa (Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen 2017) ja tässä hankkeessa tehtyjen mittausten perusteella tuulivoimatuotantoalueiden läheisyydessä olevissa asunnoissa tuulivoimaloiden infraäänien äänenpainetasot ovat samaa suuruusluokkaa kuin kaupunkiympäristössä eli 70–80 dB. Hetkelliset äänenpainetasot ylittivät alle 2 Hz:n taajuuksilla 100 dB ja olivat siten alle tunnetun havaitsemiskynnystason. Toistaiseksi ei tunneta mekanisme, jolla oireita voisi syntyä näin pienillä infraäänien äänenpainetasoilla.

YHTEENVETO JOHTOPÄÄTÖKSISTÄ

- Tuulivoimalat muuttivat asuntojen ääniympäristöä kaupunkimaiseen suuntaan: tutkimuksen pitkäaikaismittaukset osoittivat, että tuulivoimaloiden tuottamat infraäänitasot ja kuuloaistin herkkyyden mukaisesti painotetut keskiäänitasot olivat tuulivoimatuotantoalueiden lähellä (noin 1,5 km:n etäisyydellä) sijaitsevien talojen sisätiloissa samaa suuruusluokkaa kuin kaupunkiympäristössä.
- Mittauksissa saatiin talteen ainutlaatuista ja harvinaista äänidataa: infraääntä ja kuuluvaa ääntä yhtenäiseltä ajanjaksolta, kaikkien vuodenaikojen ajan asuinrakennuksista, joissa ei oleskeltu mittausten aikana. Keskiäänitason kannalta tärkeimmät taajuudet olivat alle 2 Hz. Infraäänien havaitsemiskynnys on yksilöllinen, mutta tunnetut havaitsemiskynnykset ulottuvat vain taajuuteen 4 Hz (kynnys 107 dB). On todennäköistä, että osa ihmisistä havaitsee suurimmat tuulivoimaloiden aiheuttamat infraäänitasot (tässä tutkimuksessa keskiäänitasoltaan 102 dB), vaikka sitä ei tässä tutkimuksessa voitu osoittaa.
- Tuulivoimatuotantoalueelta tehdyn infraäänien pitkäaikaismittauksen tulos, 74 dB (A-painotettuna 52 dB), oli samaa suuruusluokkaa kuin aiemmissa mittauksissa.
- Alueilla, joilla etukäteen arvioitiin olevan eniten asukkaiden tuulivoimaloiden infraääneen liittämää oireilua, oireet olivat melko yleisiä (15 %, 34 oireilevaa) lähellä tuulivoimaloita ($\leq 2,5$ km) ja harvinaisempia (5 %, 70 oireilevaa) koko tutkimusalueella (≤ 20 km). Kolmasosa tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan liittävästä luokitteli oireensa vakaviksi. Infraääneen liitettyjen oireiden kirjo oli hyvin laaja.
- Tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan liittävät mm. asuivat keskimäärin lähempänä tuulivoimaloita, heillä oli yleisemmin kroonisia sairauksia sekä toiminnallisia oireita ja häiriöitä, ja he kokivat tuulivoimalat yleisemmin häiritseviksi ja pitivät tuulivoimaloita yleisemmin terveysriskinä kuin henkilöt, jotka eivät liittäneet oireitaan tuulivoimaloiden infraääneen.
- Moni tuulivoimaloiden infraääneen oireitaan yhdistävä koki tuulivoimaloiden kuuluvan äänen häiritseväksi ja liitti oireitaan myös tuulivoimaloiden aiheuttamaan tärinään ja sähkömagneettiseen kenttään.
- Kuuntelukokeissa infraäänien esiintymistä tuulivoimaloiden äänessä ei kyetty havaitsemaan eikä infraääni vaikuttanut tuulivoimaloiden äänen häiritsevyyteen. Suurempi äänenpainetaso ja merkityksellinen sykintä lisäsivät kuuluvan äänen häiritsevyyttä.
- Henkilöt, jotka ilmoittivat saavansa oireita tai sairaudentunnetta tuulivoimaloiden infraäänestä, eivät havainneet tuulivoimaloiden infraääntä, eivätkä kokeneet sitä häiritsevämpänä kuin henkilöt, jotka eivät saa oireita tuulivoimaloista. Monet heistä, jotka ilmoittivat saavansa oireita tai sairaudentunnetta tuulivoimaloiden infraäänestä, ilmoittivat koepäivän edetessä kuormittuvansa muita enemmän ja haittaoireista, jotka eivät kuitenkaan liittyneet kokeenaikaiseen infraäänelle altistumiseen.
- Tahdosta riippumattoman hermoston stressiä ilmentävissä vasteissa ei nähty eroa sen suhteen, oliko esitetystä ääninäytteestä infraääntä vai ei, tai annettiinkö väittämä, että infraääntä oli läsnä.
- Pieni altistustaso, jolla ei ole tunnettuja terveysvaikutuksia, laaja oireiden kirjo sekä se, että altistuskokeessa ei voitu osoittaa tuulivoimaloiden infraäänellä olevan suoraa

elimistövaikutuksia viittaavat siihen, että oireilua selittävät muut tekijät kuin tuulivoimaloiden infraääni.

- Oireilua voi selittää tuulivoimaloiden kokeminen häiritseviksi ja niiden pitäminen terveysriskinä. Toisaalta on mahdollista, että oireet ja sairaudet, jotka eivät liity tuulivoimaloiden infraääneen, tulkitaan niistä johtuviksi. Tulkintoihin vaikuttaa myös julkinen keskustelu häiritsevä vaikutuksista.
- Myös muihin ympäristötekijöihin kuten sähkömagneettisiin kenttiin liittyen on raportoitu samanlaisia monimuotoisia oireita hyvin pienillä altistustasoilla tai tilanteissa, joissa henkilö kokee altistuvansa. Tällöin mukana on nosebovaikutus, joka selittää todelliset oireet ja fysiologiset vasteet elimistössä.

TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

- Hankkeessa ei saatu näyttöä tuulivoimaloiden infraäänien terveysvaikutuksista. Henkilöillä, jotka yhdistävät oireensa tuulivoimaloiden infraääneen on todellisia, elämänlaatua heikentäviä oireita, joiden lieventämiseksi tarvitaan toimenpiteitä.
- Tuulivoimaloiden kuuluvan äänen, valojen ja vilkkuvan varjostuksen aiheuttama häiriö tulisi olla mahdollisimman vähäistä, kun tavoitteena on vähentää oireita ja haittaa. Lisäksi on tärkeää, että lähialueiden asukkaat tulevat kuulluksi jo tuulivoimantuotantoalueen suunnitteluvaiheessa.
- Kaikessa oireilussa, myös tuulivoimaloihin liittyvässä, on mukana nosebomekanismit, joten tutkijoiden, median, poliitikkojen, kansalaisjärjestöjen ja muiden tahojen ei tule esittää perusteettomia väitteitä terveyshaitoista, sillä se lisää huolta ja oireilua. Sen sijaan väestölle tulisi välittää luotettaviin tieteellisiin tutkimuksiin perustuvaa tietoa.
- Jatkotutkimukset tulisi kohdistaa sekä teknisiin ratkaisuihin että yksilöllisiin ja yhteisöllisiin tekijöihin, joilla voidaan vähentää tuulivoimaloiden häiritsevyyttä ja oireiden syntymistä.

Viitteet

- Colloca, L. & Barsky, A. 2020. Placebo and nocebo effects. *The New England Journal of Medicine*, 382(6).
- Crichton F ym. 2014. The Link between Health Complaints and Wind Turbines: Support for the Nocebo Expectations Hypothesis. *Front Public Health*.
- Dantoft, T.M. ym. 2015. Chemical intolerance. *Current Rheumatology Reviews*, 11(2).
- Karvala, K. ym. 2018. Prevalence of various environmental intolerances in a Swedish and Finnish general population. *Environmental Research*, 161.
- Lee, S. ym. 2011. Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise. *Noise Control Engineering Journal*, 59(1).
- Lepoutre, P. ym. 2017. Evaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01590506/document>
- Leventhall, G. 2007. What is infrasound? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93(1):130–137. Effects of ultrasound and infrasound relevant to human health.
- Michaud, D.S. ym. 2018. The association between self-reported and objective measures of health and aggregate annoyance scores toward wind turbine installations. *Canadian Journal of Public Health*, 109(2).
- Michaud, D.S. ym. 2016. Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects. *Journal of Acoustical Society of America*, 139(3).
- Poulsen, A.H. ym. 2019. Long-term exposure to wind turbine noise and risk for myocardial infarction and stroke: A nationwide cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 127(3).
- Seong, Y. ym. 2013. An experimental study on annoyance scale for assessment of wind turbine noise. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(5).
- Tachibana H. ym. 2014. Nationwide field measurements, on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Engineering Journal*, 62.
- Tonin, R. ym. 2016. The effect of infrasound and negative expectations to adverse pathological symptoms from wind farms. *Journal of Low Frequency, Vibration & Active Control*, 35(1).
- Tuulivoimailoiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen 2017. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja TEM-raportteja: 28/2017. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/80067>
- van den Berg, F. ym. 2008. WINDFARMperception: Visual and Acoustic Impact of Wind Turbine Farms on Residents. University of Groningen and University of Gothenburg.
- van Kamp, I. & van den Berg, F., 2018. Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. *Acoustics Australia*, 46(1).
- Watanabe, T. & Møller, H. 1990. Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 9(3):106–115.
- Verrender A. ym. 2018. IEI-EMF provocation case studies: A novel approach to testing sensitive individuals. *Bioelectromagnetics*, 39(2).
- Yokoyama, S. ym. 2014. Perception of low frequency components in wind turbine noise. *Noise Control Engineering Journal*, 62(5).

Lisätietoja:

Tutkimushankkeen vastuullinen johtaja, TKT Panu Maijala

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, p. 020 722 3214, Panu.Maijala@vtt.fi

Lisätietoja: <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/tuulivoiman-infraaani>

Tuulivoimaloiden ääni, sen fysiologiset vaikutukset ja yhteys sairauksiin -hanke on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2018 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa.

Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtaja:

Neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola

Sosiaali- ja terveysministeriö, p. 029 516 3282, Vesa.Pekkola@stm.fi



VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA
TUTKIMUSTOIMINTA
www.tietokayttoon.fi

