



## **Kirjallisuuskatsaus – Tuulivoiman terveysvaikutukset**

Kirjoittajat: Saara Huttunen, Johanna Kohl, Nina Wessberg

Luottamuksellisuus: luottamuksellinen



<b>Raportin nimi</b>		
Kirjallisuuskatsaus – Tuulivoiman terveysvaikutukset		
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b>		<b>Asiakkaan viite</b>
Suomen Tuulivoimayhdistys ry Anni Mikkonen anni.mikkonen@tuulivoimayhdistys.fi +358407716114		VTT-V-83957-13
<b>Projektin nimi</b>		<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
Kirjallisuusselvitys tuulivoiman terveysvaikutuksista		171091
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Huoli nopeasti lisääntyvän tuulienergian ihmisiin kohdistuvista terveysvaikutuksista on lisääntynyt. Tämänhetkisen tutkimustiedon mukaan tuulivoiman äänitaso ei suoraan vaikuta lähistöllä asuvien ihmisten terveyteen. Myöskään kuulokynnyksen alle jäävillä infraäänillä ei ole todettu olevan ihmisen terveyttä alentavia vaikutuksia. Lisäksi suurin osa tuulivoimalan tuottamista infraäänistä sekoittuu ympäristön muihin infraääniin, eivätkä näin ollen lisää infraäänille altistumista. Tutkimusten mukaan pientaajuusäänien aiheuttamien terveysvaikutusten syntymiseen tarvitaan suurempia äänenvoimakkuuksia kuin mitä tuulivoimalat tuottavat, tai mitä pientaajuusäänille asetetut rajoitukset Suomessa sallivat. Tuulivoimaloiden tuottaman välkevaikutuksen on epäilty aiheuttavan kohtauksia epilepsiaa sairastaville, mutta tutkimusten mukaan tämä ei ole mahdollista modernien tuulivoimaloiden hitaan pyörimisnopeuden myötä. Suoria terveysvaikutuksia lähialueiden asukkaille ei tuulivoimaloista ole löydetty, mutta silti lähialueiden asukkaat raportoivat terveysongelmista ja –haitoista. Tuulivoimaloilla saattaa siis olla vaikutuksia koetun terveyden alueella. Tutkimuksissa on esitetty, että tuulivoimaloiden näkeminen, niiden tuottama ääni tai yksistään yksilön negatiivinen asenne tuulivoimaa kohtaan voivat tuottaa joillekin stressiä. Stressillä taas on puolestaan todettu olevan suora vaikutus fyysiseen terveyteen. Tuulienergian terveysvaikutuksista keskustellaan ja tiedotetaan myös paljon julkisesti, mikä vaikuttaa ihmisten käsitykseen omasta terveydestään sekä erilaisten oireiden kokemiseen. Koetun terveyden vaikutuksia voidaan mahdollisesti vähentää parantamalla tuulivoiman paikallista hyväksyttävyyttä sidosryhmien kesken. Keinoja hyväksyttävyyden parantamiseen ovat esimerkiksi avoin keskustelu, sidosryhmien tasa-arvoisuus, kuunteleminen, molemminpuolinen palautteen antaminen sekä seuranta.</p>		
Espoo 16.8.2013		
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>	<b>Hyväksyjä</b>
Saara Huttunen Research Scientist	Ville Lehtomäki Research Scientist	Petteri Antikainen Principal Scientist, Team Leader
<b>VTT:n yhteystiedot</b>		
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b>		
Suomen Tuulivoimayhdistys ry ja VTT		
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

## Sisällysluettelo

---

Sisällysluettelo.....	2
1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet .....	3
2. Menetelmät /toteutus .....	4
2.1 Resurssit ja projektiorganisaatio .....	4
2.2 Aikataulu ja projektin tärkeimmät tapahtumat.....	4
3. Kirjallisuuskatsaus .....	4
3.1 Johdanto.....	5
3.2 Ääni .....	5
3.2.1 Pientaajuus- ja infraääni.....	6
3.3 Välke .....	6
3.4 Häiriötekijöiden suorat terveysvaikutukset .....	6
3.5 Koettu terveys.....	7
Lähdeviitteet.....	9

## 1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet

---

Tämän toimeksiannon tarkoituksena on kartoittaa tuulivoiman aiheuttamia terveysvaikutuksia. Kartointus tehdään kirjallisuuskatsauksena, jossa kootaan yhteen julkaistua tutkimustietoa tuulivoiman terveyvaikutuksista viimeisen 10 vuoden ajalta. Katsauksessa painotetaan tuulivoimaloiden aiheuttamia yleisimpiä häiriötekijöitä: ääntä, välkettä ja muita visuaalisia vaikutuksia. Puhtaasti lääketieteellisesti mitattavien vaikutusten lisäksi myös vaikutuksia koettuun terveyteen tarkastellaan.

Lähdetietoa kerätään avoimista sekä VTT:n käytössä olevista tietokannoista. Lisäksi haetaan dokumentteja, jotka asettavat määräykset tuulivoimahankkeille aihepiiriin liittyvien tekijöiden osalta. Hauissa käytetään seuraavien hakusanojen yhdistelmiä :

- wind power
- wind energy
- wind turbine
- health
- noise
- infra sound
- low frequency sound
- shadow flicker
- health impact assessment
- wind turbine syndrome
- social acceptance
- tuulivoima
- melu
- välke

Kirjallisuuskatsaus kirjoitetaan suomeksi ja helposti ymmärrettävää kieltä käyttäen.

## 2. Menetelmät /toteutus

---

### 2.1 Resurssit ja projektiorganisaatio

Projektipäällikkö: Ville Lehtomäki, Research Scientist

Muut projektin henkilöt: Saara Huttunen, Reserch Scientist; Johanna Kohl, Senior Scientist; Nina Wessberg, Senior Scientist

### 2.2 Aikataulu ja projektin tärkeimmät tapahtumat

Projektin työ alkaa 3.6.2013. Luonnosversio katsauksesta toimitetaan asiakkaalle 14.6.2013. Saatujen kommenttien jälkeen katsaus päivitetään lopulliseen versioonsa, joka on valmis 28.6.2013.

## 3. Kirjallisuuskatsaus

---

Huoli nopeasti lisääntyvän tuulienergian ihmisiin kohdistuvista terveysvaikutuksista on lisääntynyt. Tämänhetkisen tutkimustiedon mukaan tuulivoiman äänitaso ei suoraan vaikuta lähitöillä asuvien ihmisten terveyteen. Myöskään kuulokynnyksen alle jäävillä infraäänillä ei ole todettu olevan ihmisen terveyttä alentavia vaikutuksia. Lisäksi suurin osa tuulivoimalan tuottamista infraäänistä sekoittuu ympäristön muihin infraääniin, eivätkä näin ollen lisää infraäänille altistumista. Tutkimusten mukaan pientaajuusäänien aiheuttamien terveysvaikutusten syntymiseen tarvitaan suurempia äänenvoimakkuuksia kuin mitä tuulivoimalat tuottavat, tai mitä pientaajuusäänille asetetut rajoitukset Suomessa sallivat. Tuulivoimaloiden tuottaman välkevaikutuksen on epäilty aiheuttavan kohtauksia epilepsiaa sairastaville, mutta tutkimusten mukaan tämä ei ole mahdollista modernien tuulivoimaloiden hitaan pyörimisnopeuden myötä.

Suoria terveysvaikutuksia lähialueiden asukkaille ei tuulivoimaloista ole löydetty, mutta silti lähialueiden asukkaat raportoivat terveysongelmista ja –haitoista. Tuulivoimaloilla saattaa siis olla vaikutuksia koetun terveyden alueella. Tutkimuksissa on esitetty, että tuulivoimaloiden näkeminen, niiden tuottama ääni tai yksistään yksilön negatiivinen asenne tuulivoimaa kohtaan voivat tuottaa joillekin stressiä. Stressillä taas on puolestaan todettu olevan suora vaikutus fyysiseen terveyteen. Tuulienergian terveysvaikutuksista keskustellaan ja tiedotetaan myös paljon julkisesti, mikä vaikuttaa ihmisten käsitykseen omasta terveydestään sekä erilaisten oireiden kokemiseen. Koetun terveyden vaikutuksia voidaan mahdollisesti vähentää parantamalla tuulivoiman paikallista hyväksyttävyyttä sidosryhmien kesken. Keinoja hyväksyttävyyden parantamiseen ovat esimerkiksi avoin keskustelu, sidosryhmien tasa-arvoisuus, kuunteleminen, molemminpuolinen palautteen antaminen sekä seuranta.

### 3.1 Johdanto

Tuulivoimaloiden huomattavimmat ihmisiin kohdistuvat vaikutukset ovat tuulivoimaloiden aiheuttama ääni, pyörivän roottorin aiheuttama välke sekä tuulivoimarakentamisen aiheuttama maiseman muuttuminen. Näiden tekijöiden aiheuttamia terveysvaikutuksia on käsitelty sekä yleisessä kirjallisuudessa, mediassa että tieteellisissä artikkeleissa. Tässä kirjallisuuskatsauksessa tiivistetään tieteellisesti arvioituihin artikkeleihin perustuvaa tietoa tuulivoimaloiden suorista terveysvaikutuksista. Tieteellisten artikkelien sekä yleisen kirjallisuuden avulla on selvitetty myös tuulivoiman vaikutuksia ihmisten koettuun terveyteen. Katsauksen pohjana oleva lähdeaineisto on liitetty katsauksen loppuun.

Tuulivoimalan koko ja tyyppi sekä tuulipuistojen suunnittelu vaikuttavat edellä mainittuihin ihmisiin kohdistuviin vaikutuksiin. Katsauksessa keskitytään Suomessa tällä hetkellä yleisimmin käytössä ja suunnitteilla olevien suurten, modernien, kolmilapaisten tuulivoimaloiden vaikutuksiin. Näiden laitosten tornin korkeus on tyypillisesti noin 80–140 metriä ja lapojen pituus noin 50–60 metriä. Laitosten nimellisteho on 2-5 megawattia ja yhden tuulivoimalan vuosittainen energian tuotanto maalle sijoitettuna vastaa 2000–5000 kotitalouden vuosittaista sähkön käyttöä. Katsauksessa käsitellään yksittäisen tuulivoimalan vaikutuksia. Tämä on riittävä tarkkuus tämän kirjallisuuskatsauksen aihepiirissä, sillä äänenvoimakkuuden ja välkevaikutuksen suhteen tarkastelupistettä lähinnä sijaitsevan tuulivoimalan tuottamat häiriöt ovat ratkaisevassa asemassa.

### 3.2 Ääni

Tuulivoimalan tuottama ääni voidaan jakaa mekaaniseen ja aerodynaamiseen ääneen. Mekaaninen ääni syntyy pääasiassa voimalan konehuoneessa ja aerodynaaminen ääni turbiinin lavoissa. Aerodynaaminen ääni on moderneissa tuulivoimaloissa näistä kahdesta selvästi hallitseva. (*Uosukainen 2010*)

Aerodynaaminen ääni syntyy lapojen takana ja kärjessä ilmavirran turbulenssin aiheuttamana. Turbulenttisuuteen vaikuttaa eniten roottorin pyörimisnopeus. Muita turbulenssiin vaikuttavia tekijöitä ovat lavan pinnan karheus, tuloilman turbulenttisuus ja lavan jättöreunan muoto. Turbulenssista aiheutuvaa ääntä esiintyy yleensä taajuuksilla 60–4000 Hz (*Uosukainen 2010*). Tyypillisesti ihmisen kuuloalue rajataan 20–20000 Hz taajuuksille, mutta tähän vaikuttaa myös äänenvoimakkuus. Aerodynaaminen ääni vaihtelee lavan korkeusaseman mukaan roottorin pyöriessä. Se luo tuulivoimalalle ominaisen jaksottaisen äänen, jota kuvataan toisinaan sanoilla suhahdus, sykkiminen ja jyskytys (*Uosukainen 2010*). Tämän jaksottaisen äänen tarkkaa aiheuttajaa tutkitaan edelleen, mutta äänen on todettu vaihtelevan sääolosuhteiden mukaan (*William & Palmer 2010*).

Äänen kulkeutumiseen ympäröivässä maastossa vaikuttavat pääsääntöisesti tuuliolosuhteet, lämpötilan vaihtelu korkeuden mukaan, maaston korkeuserot ja pinnanmuodot. Vaikuttavia tekijöitä ovat myös maan pinnan ominaisuudet kuten kasvillisuus, pinnan kovuus ja koostumus. (*Uosukainen 2010*)

Suomessa ympäristöministeriö (*Tuulivoimarakentamisen... 2012*) on asettanut suunnitteluohjearvot, joiden mukaan tuulivoimaloiden aiheuttama äänitaso asuinalueilla, taajama-alueilla sijaitsevilla loma-asuntoalueilla sekä virkistysalueilla saa olla päiväaikaan klo. 07-22 korkeintaan 45 dB(A) ja yöaikaan klo. 22–07 40 dB(A). Vastaavasti loma-asutusalueilla taajamien ulkopuolella, leirintäalueilla ja luonnonsuojelualueilla rajat ovat 40 dB(A) ja 35 dB(A). Nämä rajat on keskiarvotettu niiden yhden vuorokauden voimassaoloajalle (15 tuntia päiväaikaan ja 9 tuntia yöaikaan), joten hetkittäisiä ohjearvojen ylityksiä saattaa esiintyä. Tarvittava etäisyys ohjearvojen äänitasojen alittamiseen selvitetään hankkeen suunnitteluvaiheessa laskentamalleja ja voimaloiden näennäisiä äänitehotasoja käyttäen. Näennäinen ääniteho on määritettävä jokaiselle voimalaitostyypille osana tyyppihyväksyntää, ja se toimii tuulivoimalan tai -puiston aiheuttaman äänen arvioinnin

pohjana. Yleensä näennäinen äänitehotaso vaihtelee välillä 90–110 dB(A) (*Acoustic Emission, SWT-2.3-82... 2008; Acoustic Emission, SWT-2.3-93... 2007; N80... 2005; N90... 2008*). Se määritetään standardin IEC TS 61400-14 mukaisesti ja on määrittelyn pohjana käytettäviä mittauksia suurempi arvo.

Ympäristöministeriön ohjearvot tuulivoimaloiden aiheuttamalle äänelle ovat matalammat kuin valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista (*VNp 993/1992*) asettaa, johtuen tuulivoimalan tuottaman äänen erityispiirteistä. Oikeudellisesti sitovat rajat asettaa kuitenkin valtioneuvoston päätös (*VNp 993/1992*) ympäristöministeriön ohjearvojen ollessa suosituksia.

### 3.2.1 Pientaajuus- ja infraääni

Tuulivoimala tuottaa ääniä myös pienillä taajuuksilla, joilla tarkoitetaan yleisesti 20–200 Hz taajuuksia. Näille taajuuksille on asetettu omat raja-arvonsa asumisterveysohjeessa (*Sosiaali- ja terveysministeriö 2003*) ja niitä sovelletaan myös tuulivoimalahankkeissa. Raja-arvot asettavat äänenvoimakkuuden maksimiarvoksi esimerkiksi 74 dB(A) taajuudella 20 Hz ja 32 dB(A) taajuudella 200 Hz.

Infraääniä taas ovat äänet, jotka jäävät kuulokynnyksen alapuolelle. Yleisesti infraäänien ylärajaksi asetetaan noin 16–20 Hz, vaikka jopa 1,5 Hz taajuudella esiintyviä ääniä on voitu kuulla laboratorio-olosuhteissa (*Leventhall 2006*). Alhaisilla taajuuksilla äänenvoimakkuus on merkittävä tekijä kuulokynnyksen kannalta.

Raportoiduissa mittaustuloksissa (*Jakobsen 2005; Low Freq... 2008; Rogers et al. 2002; Ambrose et al. 2012; Evans et al. 2013*) erilaisten tuulivoimaloiden tuottamat äänenvoimakkuudet alle 20 Hz taajuuksilla jäävät yleisesti kuulokynnyksen alapuolelle. Näitä mittauksia on tehty vaihtelevilla etäisyyksillä tuulivoimaloista ja ne antavat suuntaa-antavan kuvan tuulivoimaloiden infraäänien tuotosta. Äänenvoimakkuus myös pientaajuus- ja infraäänien kohdalla vaimenee etäisyyden kasvaessa äänen lähteestä, mutta pienillä taajuuksilla vaimeneminen on pienempää (*Uosukainen 2010*).

## 3.3 Välke

Tuulivoimaloiden aiheuttama välkevaikutus on selostettu ympäristöministeriön julkaisussa *Tuulivoimarakentamisen suunnittelu (2012)*. Välke, eli varjon vilkkuminen, syntyy kun tuulivoimala on tarkastelupisteen ja auringon välissä, jolloin tuulivoimalan lavat aiheuttavat jaksottaisen varjon tarkastelupisteeseen. Välkevaikutuksen syntyyn vaikuttavat auringon korkeusasema, sää, tuulivoimalan pyörimisnopeus sekä tuulivoimalan ja tarkastelupisteen väliset esteet.

Suomessa ei ole asetettu erillisiä raja-arvoja tai suosituksia välkevaikutukselle, mutta tarvittaessa sovelletaan muissa maissa asetettuja rajoituksia. Esimerkiksi Saksassa ja Belgiassa on rajattu välkevaikutuksen vaikutusaika 30 tuntiin vuodessa ja 30 minuuttiin päivässä (*Brinckerhoff 2011*). Tanskassa rajoitus on 10 tuntia vuodessa ja Alankomaissa 20 minuuttia päivässä (*Brinckerhoff 2011*). Välkevaikutuksen vaikutusaika tarkastelupisteeseen on myös helppo laskea, sillä melkein kaikki sen tekijät (auringon liike, etäisyys tarkastelupisteen ja tuulivoimalan välillä, alueen metsäisyys jne.) tunnetaan. Ainoastaan pilvisyyden arviointiin tarvitaan tilastoihin ja todennäköisyyksiin perustuvia arvioita. Välke-efektin vaikutusaikaa voidaan hallita sammuttamalla tuulivoimala tarvittaessa.

## 3.4 Häiriötekijöiden suorat terveysvaikutukset

Kuulokynnyksen ylittävät äänet voivat aiheuttaa ihmiselle kuulovaurion äkillisestä yli 115 dB(A) äänenvoimakkuuden ylityksestä. Pidempikestoisesta tai toistuvasta altistuksesta yli 85 dB(A) äänenvoimakkuuksille voi myös aiheutua kuulovaurio kuten kuulon aleneminen tai tinnitus. Tuulivoimalan tuottamat äänet vaimenevat etäisyyden kasvaessa (*Uosukainen*



2010), ja noudattamalla asetettuja määräyksiä (VNp 993/1992), tuulivoimalan äänitaso ei vaikuta lähistöllä asuvien ihmisten kuuloon.

Pientaajuus- ja infraääniä tuottavat lukuisat teollisen ympäristön tekijät (liikenne, ilmanvaihto jne.), sekä myös ihmisen oma elimistö, ympäröivä luonto ja esimerkiksi merten aallot. Tämänhetkisen tiedon mukaan infraäänit, jotka jäävät kuulokynnyksen alapuolelle, eivät vaikuta ihmisen terveyteen eivätkä ole ihmisen havaittavissa (Leventhall 2003; Health Protection Agency 2010), vaikka korvan rakenteet näihin ääniin mahdollisesti reagoivatkin (Salt ja Hullar 2010). Huomattava osa tuulivoimaloiden tuottamista infraäänistä sekoittuu ympäristön muihin infraääniin myös urbaanien alueiden ulkopuolella, eivätkä näin ollen lisää infraäänille altistumista (Evans et al. 2013).

Erityisesti pientaajuusäänien on esitetty aiheuttavan esimerkiksi päänsärkyä, huimausta, värähtelyä ja sydämen tiheälyöntisyyttä (Pierpont 2009). Pierpont (2009) yhdistää nämä oireet esittämäänsä oireyhtymään, josta hän käyttää nimitystä tuulivoimasyndrooma. Pierpontin (2009) mukaan nämä oireet johtuvat pitkäkestoisesta altistuksesta pientaajuusäänille. Pientaajuusäänien vaikutusta ihmisiin on pyritty selvittämään myös tieteellisissä tutkimuksissa. Hyvin korkealla äänenvoimakkuudella myös pientaajuiset äänet voivat aiheuttaa kipua korvassa. Tämä vaatii noin 145-165 dB(A) äänenvoimakkuuden (von Gierke & Nixon 1976). Alves-Pereira ja Castelo-Branco (2007) ovat esittäneet, että pitkäaikainen altistuminen pientaajuusäänille yli 90 dB(A) äänenvoimakkuuksilla voi aiheuttaa VAD-oireyhtymän (Vibro Acoustic Disease). Pientaajuusäänien on havaittu aiheuttavan myös hengityksen rajoittumista, kakomista ja yskimistä, mikäli äänenvoimakkuus ylittää 150-154 dB(A) (Berglund et al. 1996; von Gierke & Nixon 1976). Tutkimusten mukaan pientaajuusäänien aiheuttamien terveysvaikutusten syntymiseen tarvitaan suurempia äänenvoimakkuuksia kuin pientaajuusäänille asetetut rajoitukset Suomessa millekään teollisen ympäristön tekijälle sallivat.

Välkevaikutuksen suorien terveysvaikutusten on arveltu kohdistuvan epilepsiaa sairastaviin ihmisiin. Lääketieteellisissä tutkimuksissa on todettu, että 3-30 Hz taajuuksilla tapahtuva välke voi aiheuttaa kohtauksen noin 5 % epileptikoista (Epilepsy Society 2012). Tutkimuksissa on todettu, etteivät tuulivoimalat aiheuta epileptisiä kohtauksia, sillä suurten nykyaikaisten tuulivoimaloiden pyörimisnopeus on matala (Harding et al. 2008; Smedley et al. 2010). Näiden tuulivoimaloiden lapojen kärkinopeus on suurimmillaan noin 80 m/s, jolloin 100 m halkaisijaltaan oleva roottori pyörii noin 15 kierrosta minuutissa. Kolme lapaa tuottaa tällöin noin 0.76 Hz välketaajuuden. Suuremmilla voimaloilla välketaajuus on tätäkin pienempi.

### 3.5 Koettu terveys

Tuulivoimalat eivät tämänhetkisen tutkimustiedon mukaan suoraan alenna lähialueiden asukkaiden fyysistä terveyttä, mutta silti tuulivoiman läheisyydessä asuvat ihmiset raportoivat terveysongelmista ja -haitoista. Onkin tärkeää huomata, että kokonaisvaltaisessa terveydessä on kyse sekä kehon että mielen hyvinvoinnista, kuten Maailman Terveysjärjestö (WHO) terveyden määrittelee.

Kyselytutkimuksia koetusta terveydestä on teetetty tuulivoimaloiden lähialueiden asukkaille jonkin verran (Pedersen & Persson Waye 2004; Nissenbaum et al. 2012; Bakker et al. 2012). Tutkimusten tulokset kertovat yhtenäistä kieltä siitä, että vaihteleva prosenttiosuus lähialueiden asukkaista kokee esimerkiksi unihäiriöitä, keskittymisvaikeuksia, masennusta, stressiä, tinnitusta ja päänsärkyä. Yhtä selkeää tekijää koetun terveyden alenemiselle ei ole tieteellisesti pystytty osoittamaan. Erilaisissa aiheita käsittelevissä yhteenvedoissa (Common... 2011; Knopper & Ollson 2011; Lanki 2012; Ellenbogen et al. 2012; The Potential... 2010; Colby et al. 2009) on esitetty, että tuulivoimaloiden näkeminen, niiden tuottama ääni tai yksistään yksilön negatiivinen asenne tuulivoimalaa kohtaan voivat tuottaa joillekin yksilöille stressiä. Stressillä taas on puolestaan todettu olevan suora vaikutus fyysiseen terveyteen (Lupien et al. 2009; McEwen 1998; Ylikoski 2009).

Ääni on tutkimusten mukaan pääasiallinen häiriötekijä. Esimerkiksi Pedersenin (2004) tekemän kyselytutkimuksen mukaan tuulivoimaloiden tuottama ääni on lähiasukkaiden mielestä häiritsevämpää kuin tasaisempi liikennemelu samalla äänenvoimakkuudella teiden läheisyydessä asuvien mielestä. Häiritsevyys myös lisääntyy nopeammin äänenvoimakkuuden kasvaessa. Yhdeksi syyksi tälle on arveltu tuulivoimalan jaksottaista ääntä, joka on helpommin havaittavissa tasaisesta taustamelusta myös pienemmillä äänenvoimakkuuksilla ja taajuuksilla (Uosukainen 2010). Tuulivoimaloita rakennetaan pääsääntöisesti myös seuduille, jossa taustamelua on vähemmän kuin esimerkiksi urbaanissa ympäristössä. Pedersenin (2004) mukaan näillä alueilla asuvat ihmiset määrittelevät itsensä ääniherkemmiksi kuin urbaanien alueiden asukkaat. Yksilöiden kuulokynnyksissä onkin huomattavia eroja. Tutkimusten mukaan ”normaalin” kuulon omaavien kuulokynnyksen keskihajonta on noin 5 dB riippumatta äänen taajuudesta, jolloin noin 2 prosentilla väestöstä kuulokynnys voi olla jopa 10 dB alempi keskiarvoon nähden (Pedersen 2008).

Tuulivoimalan aiheuttama maiseman muuttuminen vaikuttaa myös koettuun terveyteen. Pelkkä tuulivoimalan näkeminen asuinympäristössä voi toisille aiheuttaa stressiä. Toisaalta yksilön mielipiteen tuulivoimalan ulkonäöstä ja vaikutuksesta ympäröivään maisemaan on todettu vaikuttavan tulkintaan myös äänen häiritsevyydestä. Pedersen ja Larsman (2008) toteavat tutkimuksessaan, että yksilön negatiivinen suhtautuminen tuulivoimalan ulkonäköön vaikuttaa äänen häiritsevyyden arviointiin myös niissä tapauksissa, joissa yksilöllä ei ole suoraa näköyhteyttä tuulivoimalaan. Heidän tutkimuksensa mukaan mäkisillä seuduilla maisemallinen haitta koetaan pienemmäksi kuin tasaisilla alueilla. Tätä selitetään sillä, että tasaisessa maastossa tuulivoimalan korkea muoto on selkeämmin poikkeava ympäröivästä maisemasta. Estetiikan ja äänen välisen yhteyden ovat todenneet myös Viollan ja Lavandier (2001).

Tutkimuksissa on myös todettu, että terveydestä tiedotetulla informaatiolla on suuri merkitys ihmisten käsitykseen omasta terveydestään ja erilaisten oireiden kokemiseen. Tämän ilmiön ovat huomanneet esimerkiksi Crichton et al. (2013). Heidän tutkimuksessaan käytettiin kahta ryhmää, joista toinen altistettiin infraäänille ja toinen lumeinfraäänille. Nämä ryhmät jaettiin edelleen kahteen pienempään ryhmään, joista toiselle tarjottiin ennen altistusta negatiivista tietoa infraäänien vaikutuksista ja toiselle kerrottiin, ettei terveysvaikutuksia ole. Sekä infraäänille että lumeinfraäänille altistettujen ryhmien kesken negatiivista informaatiota saaneet ryhmät kokivat infraäänit ja lumeäänit huomattavasti häiritsevimpinä kuin positiivista informaatiota saaneet ryhmät. Infraäänien todellisella altistuksella ei ollut näihin testiryhmiin vaikutusta.

Tutkimusta koetuista terveysvaikutuksista olisi syytä jatkaa kokonaisvaltaisemman kuvan saamiseksi. Ymmärrystä koetusta terveydestä tulisi syventää ja esimerkiksi aluekohtaisista eroista ja erilaisten ihmisten kokemista vaikutuksista tulisi saada lisätietoa. Vastaavia tutkimuksia on tehty muista aihepiireistä, ja esimerkiksi tutkimusta voimalinjojen koetuista terveysvaikutuksista (Savolainen-Mäntyjärvi & Kauppinen 1999) voidaan hyödyntää. Hyödynnettävissä on myös tietoa siitä, miten ihmisten osallistuminen erilaisten hankkeiden toteuttamiseen eri vaiheissa vaikuttaa koettuihin terveysvaikutuksiin (Sairinen & Kohl 2004; Päivänen et al. 2005). Tieteellistä tietoa ihmisiin kohdistuvista vaikutuksista on sovellettavissa tuulivoimaan sekä muihin vastaaviin aihepiireihin keskittyvästä ulkomaisesta ja kotimaisesta kirjallisuudesta.

Perustuen edellä listattuihin koetun terveyden tekijöihin, koetun terveyden vaikutuksia voidaan mahdollisesti vähentää parantamalla tuulivoiman paikallista hyväksyttävyyttä sidosryhmien kesken. Keinoja hyväksyttävyyden parantamiseen ovat esimerkiksi avoin keskustelu, sidosryhmien tasa-arvoisuus, kuunteleminen, molemminpuolinen palautteen antaminen sekä seuranta (ks. Kohl 2008).

## Lähdeviitteet

---

- Acoustic Emission, SWT-2.3-82 VS, 80m hub height. 2008. Siemens Wind Power A/S.
- Acoustic Emission, SWT-2.3-93, 80m hub height. 2007. Siemens Wind Power A/S.
- Alves-Pereira, M. & Castelo-Branco, N.A. 2007. Vibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. Vol. 93. Pages 256-279.
- Ambrose, S.E. & Rand, R.W. & Krogh, C.M.E. 2012. Wind Turbine Acoustic Investigation: Infrasound and Low-Frequency Noise – A Case Study. *Bulletin of Science, Technology & Society*. Vol.32, No.2. Pages 128-141.
- Bakker, R.H. & Pedersen, E. & van den Berg, G.P. & Stewart, R.E. & Lok, W. & Bouma, J. 2012. Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Science of the Total Environment*. Vol. 425. Pages 42-51.
- Berglund, B. & Hassmen, P. & Job, R.F. 1996. Sources and effects of low-frequency noise. *Journal of the Acoustic Society of America*. Vol. 99, No. 5. Pages 2985-3002.
- Brinckerhoff, P. 2011. Update of UK Shadow Flicker Evidence Base. Department of Energy and Climate Change. UK.
- Crichton, F. & Dodd, G. & Schmid, G. & Gamble, G. & Petrie, K.J. 2013. Can Expectations Produce Symptoms From Infrasound Associated With Wind Turbines. *Health Psychology*. Advanced online publication. DOI: 10.1037/a0031760. American Psychological Association.
- Colby, W.D. & Dobie, R. & Leventhall, G. & Lipscomb, D.M. & McCunney, R.J. & Seilo, M.T. & Søndergaard, B. 2009. Wind Turbine Sound and Health Effects – An Expert Panel Review. American Wind Energy Association and Canadian Wind Energy Association.
- Common concerns about wind power. 2011. Publication of Centre for Sustainable Energy, UK. ISBN 978-0-9568981-1-1.
- Ellenbogen, J.M. & Grace, S. & Heiger-Bernays, W.J. & Manwell, J.F. & Mills, D.A. & Sullivan, K.A. & Weisskopf, M.G. & Santos, S.L. 2012. Wind Turbine Health Impact Study: Report of Independent Expert Panel. Prepared for: Massachusetts Department of Environmental Protection. Massachusetts Department of Public Health. Massachusetts, USA.
- Epilepsy Society. 2012. Photosensitive epilepsy. Factsheet 1.
- Evans, T. & Cooper, J. & Lenchine, V. 2013. Infrasound levels near windfarms and in other environments. Environment Protection Authority. Adelaide: Australia.
- Harding, G. & Harding, P. & Wilkins, A. 2008. Wind turbines, flicker, and photosensitive epilepsy: Characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia*. Vol. 49, No. 6. Pages 1095-1098.
- Health Protection Agency. 2010. Health Effects of Exposure to Ultrasound and Infrasound. Chilton, UK.
- IEC TS 16400-14. Wind Turbines – Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. Technical specification. International Electrotechnical Commission.

- Jakobsen, J. 2005. Infrasound Emission from Wind Turbines. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*. Vol.24, No. 3. Pages 145-155.
- Knopper, L.D. & Olsson, C.A. 2011. Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environmental Health*. Vol. 10:78. Doi: 10.1186/1476-069X-10-78
- Kohl, J. 2008. Agoralla – avauksia ympäristöasiantuntijoiden vuorovaikutusprosesseista. Akateeminen väitöskirja. Valtiotieteellinen tiedekunta. Helsingin Yliopisto. Saatavilla: <https://oa.doria.fi/handle/10024/42128> (14.6.2013)
- Lanki, T. 2012. Tuulivoimatuotannon terveys- ja hyvinvointihaitat. *Ympäristö ja Terveys – lehti*. Vol. 43, No. 10.
- Leventhall, G. 2003. A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. Report for Defra. Department for Environment, Food and Rural Affairs. London, UK.
- Leventhall, G. 2006. Infrasound from Wind Turbines – Fact, Fiction or Deception. *Journal of the Canadian Acoustical Association*. Vol. 34, No. 2. Pages 29-36.
- Low Frequency Noise from Large Wind Turbines – Results from Sound Power Measurements. 2008. EFP-06 Project Report. By Danish Electronics Light & Acoustics DELTA for Danish Energy Authority.
- Lupien, S.J. & McEwen B. S. & Gunnar, M.R. & Heim, C. 2009. Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*. Vol. 10. Pages 434-445.
- McEwen B.S. 1998. Protective and damaging effects of stress mediators. *The New England Journal of Medicine*. Vol. 338. Pages 171-179.
- N80 Noise levels. 2005. F008\_158\_EN. Nordex.
- N90/2500 HS Noise levels. 2007. F008\_149\_A03\_EN. Nordex.
- Nissenbaum, M.A. & Aramini, J.J. & Hanning, C.D. 2012. Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise & Health*. Vol.14, No.60. Pages 237-243.
- Pedersen, E. & Persson Waye, K. 2004. Perception and annoyance due to wind turbine noise – a dose-response relationship. *Journal of Acoustical Society of America*. Vol. 116, No. 6. Pages 3460-3470.
- Pedersen, E. & Larsman, P. 2008. The impact of visual factors on noise annoyance among people living in the vicinity of wind turbines. *Journal of Environmental Psychology*. Vol 28. Pages 379-389.
- Pedersen, C.S. 2008. Human hearing at low frequencies with focus on noise complaints. Ph.D. Thesis. Acoustics, Department of Electronic Systems. Aalborg University, Denmark.
- Pierpont, N. 2009. *Wind Turbine Syndrome: A Report on a Natural Experiment*. K-Selected Books. ISBN 978-0984182701.
- Päivänen, J. & Kohl, J. & Kytä, M. & Manninen, R. & Sairinen, R. 2005. Sosiaalinen ulottuvuus kaavoituksessa. Avauksia osallisille. Ympäristöministeriön julkaisu. <http://www.ymparisto.fi>

- Rogers, A.L. & Manwell, J.F. & Wright, S. 2002. Wind Turbine Acoustic Noise. White paper. Renewable Energy Research Laboratory, University of Massachusetts at Amherst. USA.
- Sairinen, R. & Kohl, J. 2004. Ihminen ja ympäristön muutos – Sosiaalisten vaikutusten arvioinnin teoriaa ja käytäntöjä. Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutuskeskus.
- Savolainen-Mäntyjärvi, R. & Kauppinen, T. 1999a. Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten seuranta voimalinjojen toteuttamisessa. Stakes. 43/1999.
- Savolainen-Mäntyjärvi, R. & Kauppinen, T. 1999b. Koettu terveys ympäristövaikutusten arvioinnissa. Stakes.
- Smedley, A.R. & Webb, A.R. & Wilkins, A.J. 2010. Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions. *Epilepsia*. Vol. 51, No.7. Pages 1146-1151
- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fyysiset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1. Edita Prima Oy, Helsinki. ISBN 952-00-1301-6.
- Sound Power Level E-82 E2. 2009. Enercon.
- The Potential Health Impact of Wind Turbines. 2010. Chief Medical Officer of Health (CMOH) Report. Ontario, Canada.
- Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. 2012. Ympäristöhallinnonohjeita 4/12. Ympäristöministeriö. ISBN 978-952-11-4060-0.
- Uosukainen, S. 2010. Tuulivoimaloiden melun synty, eteneminen ja häiritsevyys. VTT. Edita Prima Oy, Helsinki. ISBN 978-951-38-7571-8.
- Viollan, S. & Lavandier, C. & Drake, C. 2001. Influence of visual setting on sound rating in an urban environment. *Applied Acoustics*. Vol. 63. Pages 493-511.
- VNp 993/1992. 1992. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. 29.10.1992/993.
- von Gierke, H.E. & Nixon, C. 1976. Effect of intense infrasound on man. In: Tempest. W. (Ed.), *Infrasound and Low Frequency Vibration*. Academic Press. New York: USA.
- William, K.G. & Palmer, P. 2009. A New Explanation for Wind Turbine Whoosh – Wind Shear. Third International Meeting on Wind Turbine Noise. Aalborg, Denmark.
- Ylikoski, J. 2009. Tinnitus. *Duodecim*. Vol. 125. Pages 1859-1867.