



Tuulivoimamelun terveystvaikutukset

Mitä tällä hetkellä tiedetn?

Anu Turunen

17.11.2021

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Esityksen sisältö

- Meluun liittyviä määritelmiä
- Ympäristömelun terveysvaikutukset
- Tutkimusnäyttö tuulivoimamelun terveysvaikutuksista
 - Kansainväliset tutkimukset
 - Suomalaiset tutkimukset
- Yhteenveto

Määritelmiä 1/3

- **Ääni** = ilmassa tai muussa väliaineessa esiintyvää paineen vaihtelua, joka etenee aaltoliikkeenä ja jonka ihminen voi kuulla
 - ihmisen kuulo on herkin alueella 200 Hz–10 kHz, mutta ei ole taajuutta jolla kuuleminen loppuisi
- **Infraääni** = ääntä, jonka taajuus on alle **20 Hz** (sopimusluonteinen raja)
 - esiintyy yleisesti kaikkialla luonnossa ja rakennetussa ympäristössä **yhdessä kuultavan äänen kanssa**
 - tyypillisesti elinympäristössä kuulokynnyksen alapuolella, mutta ihminen voi kuulla/aistia korvan kautta infrataajuista ääntä, kun äänenpainetaso on riittävän suuri
 - 2 Hz:n taajuudella noin 120 dB
 - 20 Hz:n taajuudella noin 80 dB

Määritelmiä 2/3

- **Tuulivoimaloiden ääni** = pääasiassa aerodynaamista ääntä, joka syntyy pyörivien lapojen aiheuttamasta ilman liikkeestä ja pyörteilystä kun lapa ohittaa turbiinin rungon
 - äänen voimakkuuteen vaikuttavan mm. roottorin koko ja tuulen nopeus
 - laajakaistaista eli se sisältää kaikkia taajuuksia, myös pientaajuisia ja infrataajuisia ääntä
 - aiemmat myötätuuliturbiinit tuottivat enemmän infraääntä kuin nykyään käytössä olevat vastatuuliturbiinit
 - erityispiirteitä
 - syntyy korkealla ja leviää esteettä
 - ei vaimene yöksi kuten tyypillisesti muu taustamelu
 - voi sisältää voimakasta äänenvoimakkuuden jaksollista vaihtelua erityisesti tietyissä meteorologisissa olosuhteissa

Määritelmiä 3/3

- **Melu** = ei-toivottua ääntä, joka on kuulolle haitallista tai jonka ihminen kokee epämiellyttävänä, häiritsevänä tai odottamattomana
→ sisältää **yksilöllisen tulkinnan**
- **Ympäristömelu** = ei-toivottua ääntä, joka on peräisin elinympäristöstä
 - kaikki muu paitsi työpaikalla esiintyvä melu
 - keskeisin lähde on liikenne, erityisesti tieliikenne (noin 85 %)

Ympäristömelun terveysvaikutukset 1/4

- Melun vaikutuksia määrittävät
 - äänen fysikaaliset ominaisuudet, esim. voimakkuus, taajuusjakauma/kapeakaistaisuus, jaksollisuus, impulssimaisuus
 - altistuvan ympäristön ominaisuudet, esim. kaupungistumisaste
 - altistuvan henkilön toiminta, esim. lepo, virkistys, työ
 - **altistuvan henkilön ominaisuudet**, esim. asenne äänilähdettä kohtaan, tapa reagoida meluun, tottuminen ja sopeutuminen meluun, meluherkkyys

Ympäristömelun terveysvaikutukset 2/4

- **Meluherkkyys**
 - vaikuttaa siihen, kuinka häiritsevänä yksilö melun kokee, miten hän reagoi meluun (tottuuko/herkistyykö) sekä miten herkästi ja voimakkaasti yksilön elimistö reagoi meluun
 - on jatkuvaluonteinen ominaisuus, jonka yleisyys vaihtelee määrittelytavan ja väestön mukaan
 - liittyy tyypillisesti herkkyyteen muillekin ympäristön ärsykkeille ja psyykkiselle stressille

Ympäristömelun terveysvaikutukset 3/4

- Melu on yksi yleisimmistä elinympäristön stressitekijöistä ja voi aiheuttaa lähteestä riippumatta
 - **fysiologista stressiä** (tiedostamattomat hermostolliset reaktiot)
 - **psykkistä stressiä** (melun tiedostaminen, häiriön kokeminen)
 - stressi vaikuttaa autonomisen hermoston ja umpieritysjärjestelmän toimintaan
 - pitkään jatkuessaan stressi voi johtaa toimintahäiriöihin elimistössä ja edelleen esimerkiksi sydän- ja verisuonisairauksien riskin kohoamiseen
- **Oleskelun** (=viihtyvyyshaitta) **ja unen häiriintyminen**
 - ympäristömelun yleisimpiä ja tutkituimpia haittoja
 - todennäköisiä välittäviä tekijöitä melun haitallisissa terveysvaikutuksissa

Ympäristömelun terveysvaikutukset 4/4

Ympäristömelun todennetut terveys- ja hyvinvointivaikutukset (EEA 2010).

Vaikutus	Akustinen suure ¹	Kynnysarvo, dB ²	Altistuksen kesto
Uni (polysomnografia)	$L_{\max, \text{ indoors}}$	32	Akuutti, krooninen
Häiritsevyys	L_{den}	42	Krooninen
Itse raportoidut unihäiriöt	L_{night}	42	Krooninen
Oppiminen, muisti	L_{eq}	50	Akuutti, krooninen
Stressihormonit	L_{\max}, L_{eq}	-	Akuutti, krooninen
Itse raportoitu herääminen	SEL_{indoors}	53	Akuutti
Itse raportoitu terveys	L_{den}	50	Krooninen
Kohonnut verenpaine	L_{den}	50	Krooninen
Sepelvaltimotauti	L_{den}	60	Krooninen

¹ L_{den} ja L_{night} on määritelty ulkona esiintyvänä äänenpainetasoina.

² Äänenpainetaso, jonka yläpuolella vaikutus alkaa esiintyä tai ilmenee tavanomaista useammin.

L_{\max} = Suurin äänenpainetaso mittauksen aikana.

$L_{\max, \text{ indoors}}$ = Suurin äänenpainetaso mittauksen aikana sisätiloissa.

L_{den} = vuorokauden äänitaso, jossa ilta-ajan (klo 19–22) keskiäänitasa painotetaan + 5 dB ja yöaika (klo 22–07) +10 dB melun häiritsevyyden kuvaamiseksi.

L_{night} = Yöajan keskiäänitaso

L_{eq} = Keskiäänitaso

SEL = Yhden melutapahtuman aikainen äänialtistustaso (Sound Exposure Level)

Lähde: Good practice guide on noise exposure and potential health effects. European Environment Agency 2010. (muokattu)

WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018)

Suositus tieliikennemelulle	Suositus rautatieliikennemelulle	Suositus lentoliikennemelulle	Ehdollinen suositus tuulivoimamelulle
<53 dB L _{den}	<54 dB L _{den}	<45 dB L _{den}	<45 dB L _{den}
<45 dB L _{night}	<44 dB L _{night}	<40 dB L _{night}	-

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta 2002/49/EY	Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992	Valtioneuvoston asetus tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista 1107/2015
---	---	---

Raportointiraja ympäristömelulle	Ohjearvo ympäristömelulle	Ohjearvo tuulivoimamelulle
55 dB L _{den}	<58 dB L _{den} (<55 dB L _{Aeq})	<48 dB L _{den} (<45 dB L _{Aeq})
50 dB L _{night}	<50 dB L _{night}	<40 dB L _{night}

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545/2015 (nk. Asumisterveysasetus)

Toimenpideraja asuinhuoneissa ja oleskelutiloissa (SISÄLLÄ!)

38 dB L _{den} (35 dB L _{Aeq})
30 dB L _{night}

Yöaikainen (klo 22-7) musiikkimelu tai muu vastaava mahdollisesti unihäiriötä aiheuttava melu, joka erottuu selvästi taustamelusta, ei saa ylittää 25 dB yhden tunnin keskiäänitasona L_{Aeq, 1h (klo 22-7)} mitattuna niissä tiloissa, jotka on tarkoitettu nukkumiseen.

Pientaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpiderajat nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa (SISÄLLÄ!)

Kaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Yöajan L _{eq, 1h} /dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

Päiväajan (klo 7-22) pientaajuiselle melulle sovelletaan 5 dB suurempia arvoja.

Tuulivoimamelun terveystvaikutukset

- Tuulivoimalat ovat yksi ympäristömelun lähde ja tuulivoimamelun vaikutukset ovat lähtökohtaisesti samat kuin millä tahansa muullakin ympäristömelulla.
- Tuulivoimaloiden ääneen liittyvät ongelmat jakaantuvat karkeasti kahteen ryhmään
 - tilanteet, joissa kuuluva ääni häiritsee oleskelua ja/tai unta
 - koti sijaitsee tyypillisesti lähellä tuulivoimatuotantoaluetta
 - tilanteet, joissa kuuluva ääni ei häiritse, mutta asukas oireilee ja yhdistää itse omat oireensa tuulivoimaloiden infraääneen
 - koti saattaa sijaita kaukana (jopa kymmenien kilometrien päässä) tuulivoimatuotantoalueista
 - ongelmatilanteet ja huolet ovat olleet esillä julkisuudessa

WHO Environmental Noise Guidelines

- Maailman terveysjärjestön meluohjeistus (2018)

- Häiritsevyyttä lukuun ottamatta näyttö tuulivoimamelun terveysvaikutuksista on joko **heikkoa tai erittäin heikkoa**
 - pientaajuisten ja infraäänien terveysvaikutuksista sekä äänenpainetasoista sisätiloissa on vähän tutkimuksia
 - asenteiden ja varsinaisen melun vaikutuksia on vaikeaa erottaa toisistaan
- Altistuvien henkilöiden määrä on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi liikennemelulle altistuvien määrä
- A-taajuuspainotettu äänenpainetaso ei välttämättä kuvaa hyvin tuulivoimaloiden tuottamaa ääntä, joka sisältää äänenvoimakkuuden jaksollista vaihtelua ja pieniä taajuuksia

Community Noise and Health Study (CNHS)

- kanadalainen kyselytutkimus (2017)

- Kyselytutkimus 600 m–11,2 km:n etäisyydellä lähimmästä turbiinista (n=1238, vastausaktiivisuus 79 %)
 - Turbiinien nimellisteho 660 kW–3 MW (keskimäärin 2 MW), napakorkeus pääosin 80 m
 - Mallinnettu tuulivoimaloiden laajakaistainen ääni ulkona (<25, 25–30, 30–35, 35–40, 40–46 dB)
 - **Häiritsevyys:** yhteydessä mallinnettuun äänenpainetasoon, mutta myös mm. tuulivoimaloiden muuhun häiritsevyyteen, henkilökohtaiseen hyötymiseen tuulivoimaloista, meluherkkyyteen, fyysiseen turvallisuuteen liittyviin huoliin, asunnon omistussuhteeseen
 - **Oireilu** (esim. migreeni, tinnitus, huimaus): ei yhteyttä
 - **Unihäiriöt** (oma kokemus, aktiivisuusrannekkeella mitattu unenlaatu): ei yhteyttä
 - **Elämänlaatu:** ei yhteyttä
 - **Stressi** (oma kokemus, kortisolipitoisuus hiuksissa, lepoverenpaine, syketaajuus): ei yhteyttä

Wind Turbine Noise and Health

– tanskalainen rekisteritutkimus (2018)

- Rekisteritutkimus, mukana vähintään vuoden tuulivoimaloiden vaikutuspiirissä asuneet vuosina 1982–2013 (n~500 000)
 - Kaikki etäisyydellä 20xnapakorkeus asuneet ja 25 % etäisyydellä 20–40xnapakorkeus asuneista
 - Kaikki Tanskan tuulivoimatuotantoalueet
 - Mallinnettu tuulivoimaloiden laajakaistainen ääni ulkona (<24, 24–30, 30–36, 36–42, ≥42 dB) ja pientaajuinen ääni sisällä (<5, 5–10, 10–15, ≥15 dB)
 - **Uni- ja masennuslääkkeiden käyttö:** yhteys laajakaistaiseen ääneen yli 65-vuotiailla henkilöillä
 - **Verenpainelääkkeiden käyttö:** ei yhteyttä
 - **Sydäninfarkti ja aivohalvaus:** ei yhteyttä
 - **Diabetes:** ei yhteyttä
 - **Ennenaikainen synnytys ja alhainen syntymäpaino:** ei yhteyttä

Health effects related to wind turbine sound: an update – hollantilainen katsausartikkeli (2021)

- Tuulivoimaloiden äänen äänenpainetaso on **asualueilla tyypillisesti alle 45 dB**, mikä on vähän verrattuna esimerkiksi liikennemeluun
- Asuminen tuulivoimatuotantoalueen läheisyydessä tai tuulivoimaloiden äänen kuuleminen voi johtaa **krooniseen häiriökokemukseen**
 - äänen voimakkuuden lisäksi myös amplitudimodulaatio lisää häiritsevyyttä
- Näyttö tuulivoimaloiden äänen ja unihäiriöiden, unettomuuden tai henkisen hyvinvoinnin heikkenemisen välisestä yhteydestä on epä johdonmukaista tai riittämätöntä
 - unihäiriöt näyttävät olevan yhteydessä enemmänkin kokemukseen oleskelun häiriintymisestä (viihtyvyyshaitta) kuin äänenpainetasoon
- **Ei ole näyttöä siitä, että tuulivoimaloiden pientaajuisella äänellä tai infraäänellä olisi erillistä omaa vaikutusta**
- Terveyshaittailmoitukset näyttävät liittyvän pääasiassa muihin tekijöihin kuin äänenpainetasoon

THL:n Asuinympäristökysely (2015–2016)

Onko tuulivoimaloiden vaikutusalueella asuminen yhteydessä oireiluun, lääkityksiin tai sairauksiin?

- Kyselytutkimus 0–10 km:n etäisyydellä lähimmästä tuuliturbiinista (n=1411, vastausaktiivisuus 50 %)
 - Tervola (Varevaara), Honkajoki (Kirkkokallio), Hamina (Summa-Mäkelänkangas), Simo (Leipiö-Putaankangas) ja Vähäkyrö (Torkkola), kullakin alueella 3–16 turbiinia joiden nimellisteho 2,4–3,3 MW
 - Asunnon etäisyys lähimpään tuuliturbiiniin (<2,5, 2,5–5, >5–10 km)
 - **Oleskelun häiriintyminen ja unihäiriöt:** yhteydessä etäisyyteen
 - alle 2,5 km:n etäisyydellä lähimmästä turbiinista noin 2 % vastanneista koki tuulivoimaloiden tuottaman äänen häiritsevän paljon oleskelua sisällä ja nukkumista
 - yhtä suuri osa vastanneista koki liikennemelun paljon oleskelua ja unta häiritseväksi
 - **Nukahtamisvaikeudet, liian aikainen herääminen, unilääkkeiden käyttö:** ei yhteyttä
 - **Oireilu** (päänsärky, pahoinvointi, huimaus, tinnitus, paineen tunne korvassa, rytmihäiriöt, uupumus, nukahtamisvaikeudet, liian aikainen herääminen, ahdistuneisuus, stressi): ei yhteyttä
 - **Lääkkeiden käyttö** (kipulääkkeet päänsärkyyn/nivel- tai lihaskipuihin/muihin kipuihin, unilääkkeet, rauhoittavat tai masennuslääkkeet, verenpainelääkkeet): ei yhteyttä

VN TEAS –hanke Tuulivoimaloiden infraääni ja terveys (2018–2020)

Onko tuulivoimaloiden tuottamalla äänellä ja erityisesti infraäänellä haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen?

- Taustalla kansallinen energia- ja ilmastostrategia (2016):
 - ”Työ- ja elinkeinoministeriö teettää riippumattoman ja kattavan selvityksen tuulivoiman terveys- ja ympäristöhaitoista ennen tuotantotukea koskevan lain valmistelua.”
- Rahoittaja: Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta
- Tekijät: VTT Oy, HY, TTL, THL
- Äänen (ml. Infraääni) pitkäaikaismittaukset (308 vrk) kahdessa tyhjässä asunnossa ja niiden piha-alueilla sekä tuulivoimatuotantoalueilla
- Kontrolloitu kuuntelukoe
- Kyselytutkimus 0–20 km:n etäisyydellä lähimmästä tuuliturbiinista tuulivoimaloiden infraääneen itse liitetyn oireilun kuvailemiseksi

VN TEAS –hanke Tuulivoimaloiden infraääni ja terveys (2018–2020) - Kuuntelukoe

- 27 osallistujaa, joista
 - 10 ilmoitti saavansa oireita tuulivoimaloiden infraäänestä, 1 ilmoitti saavansa oireita tuulivoimaloiden kuuluvasta äänestä, 16 henkilöllä ei ollut oireita tuulivoimaloihin liittyen
- Osallistujat **eivät kyenneet havaitsemaan** infraäänien esiintymistä tuulivoimaloiden äänessä eivätkä **kokeneet tuulivoimaloiden ääntä häiritsevämpänä, vaikka se sisälsi infraääntä**
 - häiritsevyyttä lisäsi suurempi äänenpainetaso ja merkityksellinen sykintä
- Tahdosta riippumattoman hermoston **stressiä ilmentävissä vasteissa ei nähty eroa** sen suhteen, oliko esitetyssä ääninäytteessä infraääntä
- Osallistujat, jotka ilmoittivat saavansa oireita tai sairaudentunnetta tuulivoimaloiden infraäänestä
 - ilmoittivat koepäivän edetessä kuormittuvansa muita enemmän
 - ilmoittivat haittaoireista, mutta oireilu liittyi luontovideoihin ja tuulivoimaloiden ääni, joista oli poistettu infraääni

VN TEAS –hanke Tuulivoimaloiden infraääni ja terveys (2018–2020) - Yhteenveto

- Kuuntelukokeessa **ei saatu näyttöä** tuulivoimaloiden infraäänien terveysvaikutuksista.
- Oireilua selittävät todennäköisesti muut tekijät kuin tuulivoimaloiden infraääni, koska
 - altistustaso on pieni ja eikä terveysvaikutuksia tunneta niin pienillä altistustasoilla
 - näin monen tyyppiset ja eri elinjärjestelmiin liittyvät oireet eivät ole selitettävissä fysikaalisen altistumisen suorilla elimistövaikutuksilla
 - altistuskokeessa ei voitu osoittaa tuulivoimaloiden infraäänellä olevan suoraa elimistövaikutuksia
- Esimerkiksi sähkömagneettisiin kenttiin liittyen on raportoitu samanlaisia monimuotoisia oireita hyvin pienillä altistustasoilla tai tilanteissa, joissa henkilö kokee altistuvansa
- Henkilöillä, jotka yhdistävät oireensa tuulivoimaloiden infraääneen on **todellisia, elämänlaatua heikentäviä oireita**, joiden lieventämiseksi tarvitaan toimenpiteitä
- Oireilun aiheuttajasta riippumatta
 - tuulivoimaloiden kuuluvan äänen, valojen ja vilkkuvan varjostuksen aiheuttama häiriö tulisi olla mahdollisimman vähäistä, kun tavoitteena on vähentää oireita ja haittaa
 - lähialueiden asukkaita tulee kuulla jo tuulivoimantuotantoalueen suunnitteluvaiheessa

Julkaisut

- Tuulivoimaloiden tuottaman äänen vaikutukset terveyteen. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 28/2017.
 - Suomenkielinen loppuraportti <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-229-3>
- Tuulivoimaloiden ääni, sen fysiologiset vaikutukset, häiritsevyys ja yhteys sairauksiin <https://tietokayttoon.fi/en/-/tuulivoimaloiden-aani-sen-fysiologiset-vaikutukset-hairitsevyys-ja-yhteys-sairauksiin>
 - Suomenkielinen Policy Brief <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=34903>
 - Englanninkielinen loppuraportti <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-907-3>
- Tieteelliset artikkelit:
 - Turunen et al. 2021. Symptoms intuitively associated with wind turbine infrasound. Environmental Research (192), 110360. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120312573?via%3Dihub>
 - Turunen et al. 2021. Self-reported health in the vicinity of five wind power production areas in Finland. Environment International (151), 106419. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041202100043X?via%3Dihub>
 - Maijala et al. 2021. Annoyance, perception, and physiological effects of wind turbine infrasound. The Journal of the Acoustical Society of America (149), 4. <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/10.0003509>

Yhteenvedo

- Tuulivoimatuotantoalueiden läheisillä asuinalueilla
 - **kuuluvan äänen tasot** ovat tyypillisesti pienempiä kuin esimerkiksi liikenneympäristöissä (tyypillisesti alle 45 dB)
 - **infraäänitasot** ovat samaa luokkaa tai pienempiä kuin kaupunkikeskustoissa ja suurempia kuin luonnonympäristöissä - poikkeuksena merenranta (tyypillisesti enimmillään noin 80 dB)
- **Tuulivoimamelun terveysvaikutukset eivät lähtökohtaisesti poikkea muun ympäristömelun terveysvaikutuksista**
 - **Oleskelun ja unen häiriintyminen** ovat kuultavan melun yleisimmät vaikutukset!
- Tutkimusnäyttöä on siitä, että mitä lähempänä tuulivoimatuotantoaluetta asuu, sitä yleisempää on, että tuulivoimamelu häiritsee.
 - Useissa tutkimuksissa häiritsevyys on alkanut lisääntyä, kun äänenpainetaso ulkona ylittää noin 40 dB
 - Häiriökokemukseen vaikuttavat myös mm. näköyhteys tuulivoimalaan ja maiseman muuttuminen, asenteet, huolet, yksilöllinen herkkyys sekä taloudellinen hyötyminen
- Tuulivoimamelun yhteydestä unihäiriöihin on vain vähän tutkimusnäyttöä
- Muista tuulivoimaloiden kuuluvan äänen tai infraäänien terveysvaikutuksista ei ole tutkimusnäyttöä

Kiitos!

