



Tuulivoimamelun terveysvaikutukset

Mitä tällä hetkellä tiedetään?

Anu Turunen

8.11.2021

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 häiritsevästä 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 tyypillisestiherkkyyteen muillekin ympäristön ärsykkeille ja psyykkiselle stressille

Ympäristömelun terveysvaikutukset 3/4

- **Oleskelun** (=viihtyvyyshaitta) **ja unen häiriintyminen**
 - ympäristömelun yleisimpiä ja tutkituimpia haittoja
 - todennäköisiä välittäviä tekijöitä melun haitallisissa terveysvaikutuksissa
- Lähteestä riippumatta melu voi aiheuttaa
 - **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

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 yöaikaa (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)

Tuulivoimamelun terveysvaikutukset

- Tuulivoimamelu on yksi ympäristömelun lähde ja vaikutukset ovat 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 voi sijaita jopa kymmenien kilometrien päässä tuulivoimatuotantoalueista

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 tuottama 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 kaikki vähintään vuoden tuulivoimaloiden vaikutuspiirissä (40xnapakorkeus) asuneet vuosina 1982–2013 (n~500 000)
 - Mallinnettu tuulivoimaloiden tuottama ääni ulkona (<24, 24–30, 30–36, 36–42, ≥42 dB)
 - Mallinnettu tuulivoimaloiden tuottama pientaajuinen ääni sisällä (<5, 5–10, 10–15, ≥15 dB)
 - **Sydäninfarkti ja aivohalvaus** (lyhytaikainen altistus): ei yhteyttä
 - osa riskiestimaateista kohonneita, mutta ei tilastollisesti merkitseviä
 - tapauksia on hyvin vähän ja sattuman vaikutusta ei voida sulkea pois
 - **Diabetes** (pitkäaikainen altistus): ei yhteyttä
 - **Verenpainelääkkeiden käyttö** (pitkäaikainen altistus): ei yhteyttä
 - **Ennenaikainen synnytys ja alhainen syntymäpaino** (pitkäaikainen altistus): 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!



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.