VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

# Tuulivoimaloiden (infra)ääni

13.11.2018 I TkT Panu Maijala, VTT

Kaikki tämän esityksen kuvat ja grafiikka:
Copyright © 2018 Panu Maijala

# Esityksen sisältö

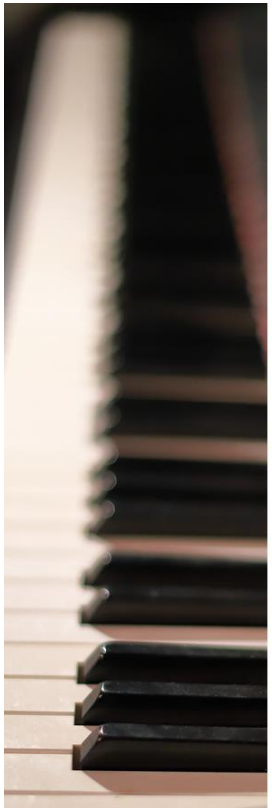
- Mistä kiikastaa?
  - Tuulivoimaloiden äänen perusteita.
  - Kysymyksiä ja joitakin vastauksia.
- Viimeisimmät selvitykset Suomessa:
  - TEM 2017-hanke ja sen tuloksia.
  - VNK TEAS 2018-2020 –hanke

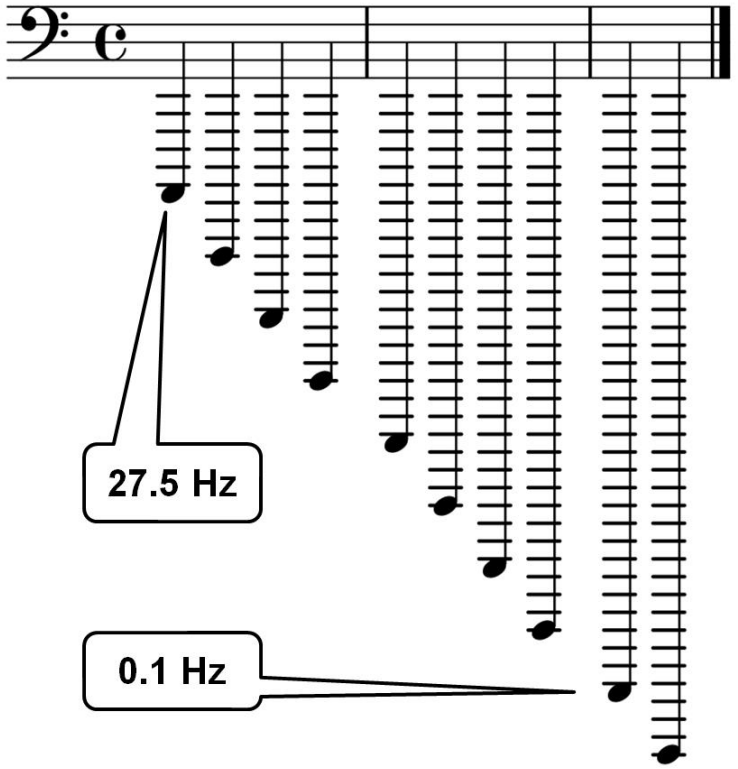
# Tuulivoimaloiden äänen perusteita

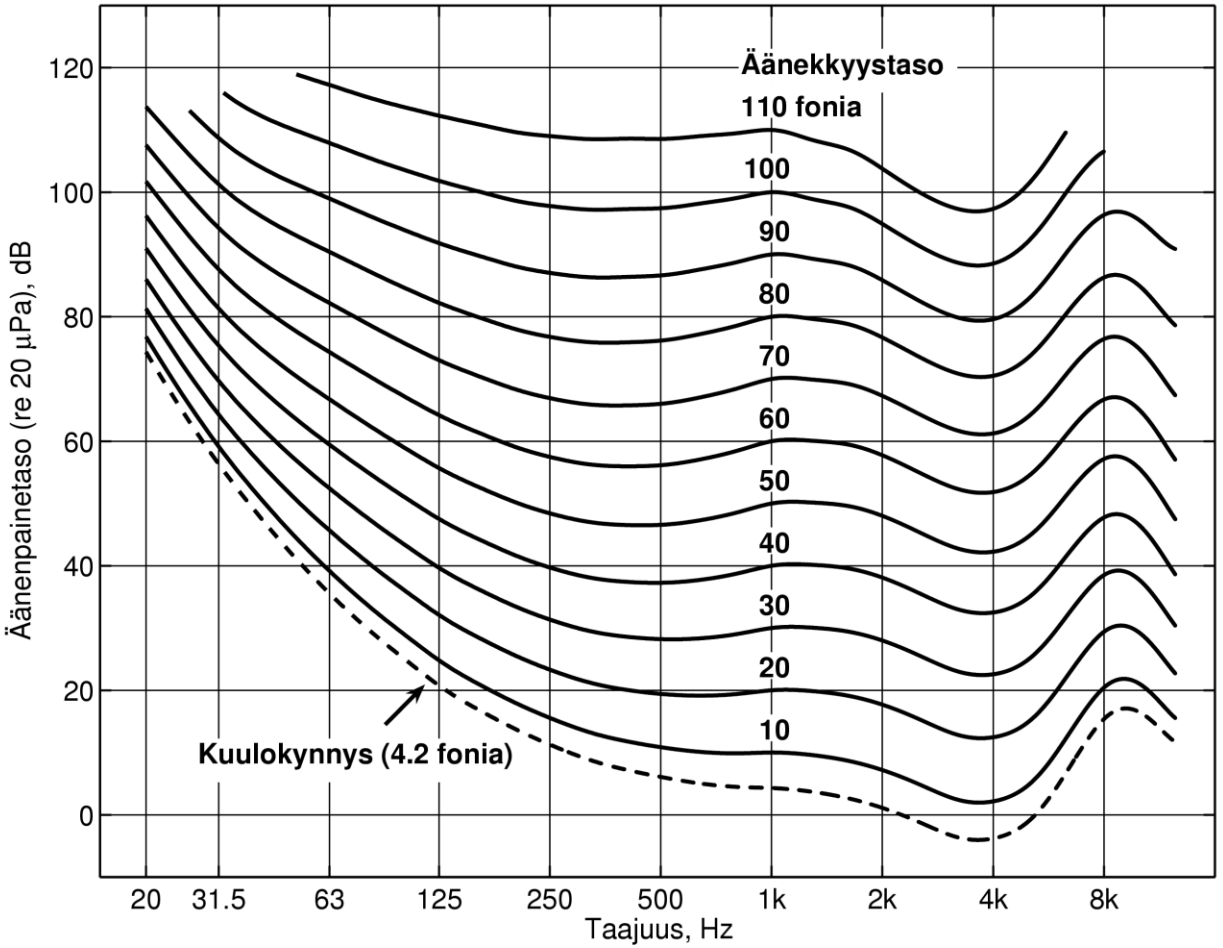
- Lähteitä: **aerodynaaminen**[1], mekaaninen ja värähtely.
  - Useita vaikuttavia tekijöitä, esim. voimalan tyyppi, rakenteet, ympäristö, toimintaolosuhteet, keskinäiset vuorovaikutussuhteet.
- Laajakaistainen, suurin osa energiasta pienitaajuista (mukaan lukien ns. infraääni[2]).
- Äänenpainetaso ei poikkea merkittävästi tuulen luonnossa aiheuttamasta äänenpainetasosta.

[1] Syntyyn vaikuttaa mm. turbulenttisuus ja virtausprofiili, siiven reunat, siiven ja rungon vuorovaikutus.
[2] IEC 60050-801:1994 International Electrotechnical Vocabulary: Ääni, joka on taajuudeltaan pienempi, mitä ihminen voi kuulla (alle 16 Hz). *Huom! Määritelmä vaatisi tarkennusta!*

# Infraääni?






Äänekkyystaso
110 fonia
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Kuulokynnys (4.2 fonia)
Äänenpainetaso (re 20 µPa), dB
120
100
80
60
40
20
0
20
31.5
63
125
250
500
1k
2k
4k
8k
Taajuus, Hz

# Näyttääkö äänitasomittari totuuden?

- Korva on äärimmäisen epälineaarinen elin, esim.:
  - Virtuaalinen äänen korkeus
  - Peittoilmiö, kriittiset kaistat
  - Akustinen epätarkkuusperiaate, $\Delta f \Delta T = 0.1$
  - Jotkin ilmiöt esiintyvät vain, kun äänen taajuudet ovat tietyssä suhteessa toisiinsa.
  - $m = 2595 \lg(1 + \frac{f}{700})$
- Temporaalisia (aikataso) ilmiöitä tunnetaan vasta vähän, ajallisesti vaihteleva ääni koetaan tavallisesti stationääristä ääntä häiritsevämpänä.

VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

# Viimeisimmät selvitykset Suomessa



# TEM 2017 (2 / 2017 – 6 / 2017)

- Tavoite: Selvittää tuulivoimatuotannon äänen merkitystä ihmisen terveydelle laajan **kirjallisuuskatsauksen** ja erityisesti infraäänen osalta lyhyen **mittauskampanjan** kautta sekä jatkotutkimustarpeiden selvittäminen.
- THL (hankkeen johto), VTT, Säteilyturvakeskus, HY, Helsinki Ear Institute
  - 9 asiantuntijaa lääketieteen, ympäristöterveyden, akustiikan ja ionisoimattoman säteilyn aloilta.
  - 130 k€.

# TEM 2017 –tuloksia

- Kirjallisuuskatsaus:
  - Häiritsevyys lisääntyy, kun äänenpainetaso ulkona ylittää 40 dB.
  - Häiritsevyyteen vaikuttavat melutason lisäksi mm. näköyhteys ja maiseman muuttuminen, asenteet, huolet, yksilöllinen herkkyys, sekä taloudellinen hyötyminen.
  - Yhteydestä unihäiriöihin on vähän tutkimusnäyttöä.
  - Tuulivoimaloiden tuottaman laajakaistaisen äänen tai infraäänen ja oireilun välistä yhteyttä ei ole juurikaan tutkittu.
  - Tutkimuksia on kuitenkin niin vähän**, ettei pitkäaikaisen altistumisen vaikutuksia voida täysin sulkea pois**. Lisätutkimukset ovat perusteltuja ja niitä on käynnissä useissa maissa.
- Mittauskampanja
  - Infraäänitasot samaa luokkaa kuin urbaanissa ympäristössä.

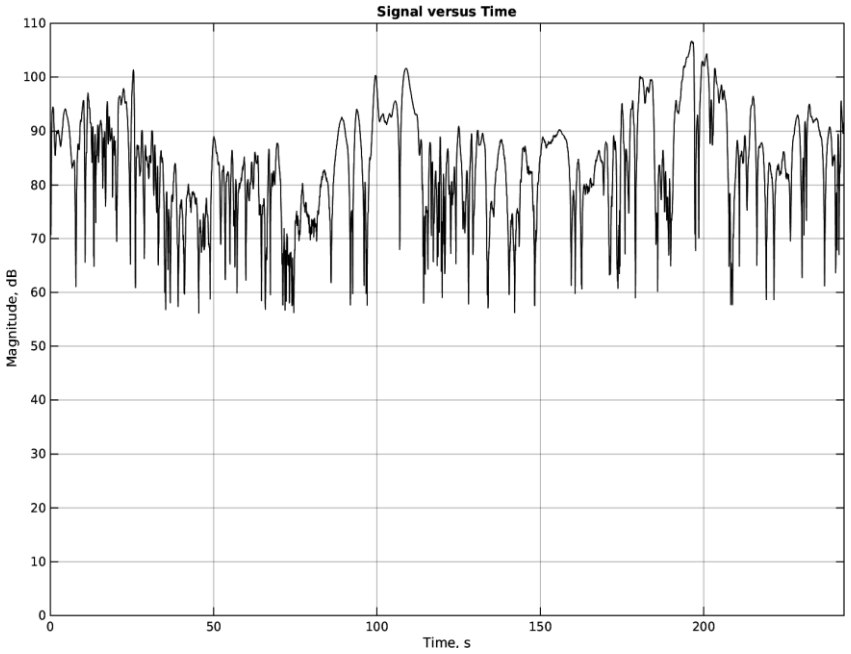


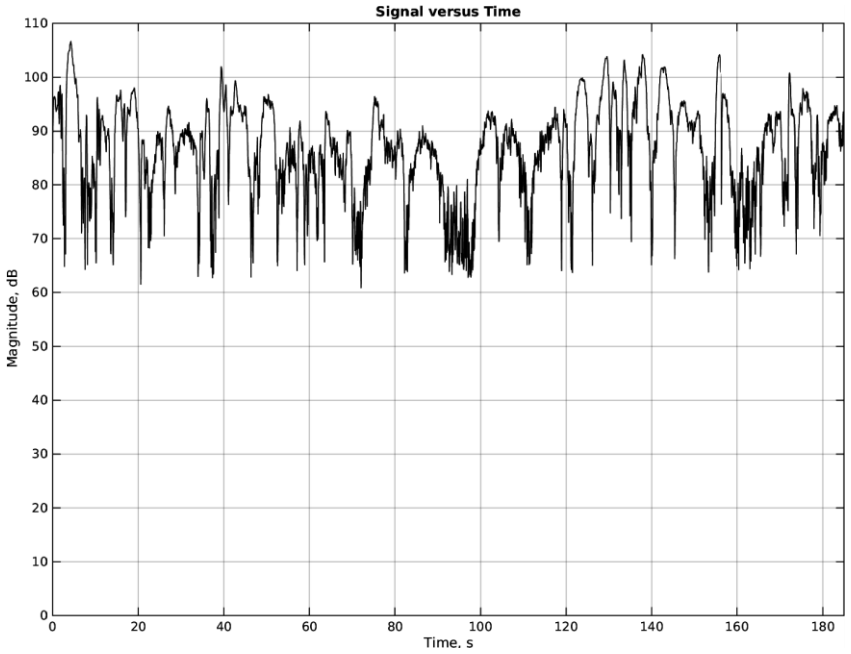

http://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/tuulivoiman-terveys-ja-ymparistovaikutuksia-selvitetty

# Mittauskampanja: keskiäänitasojen vertailu

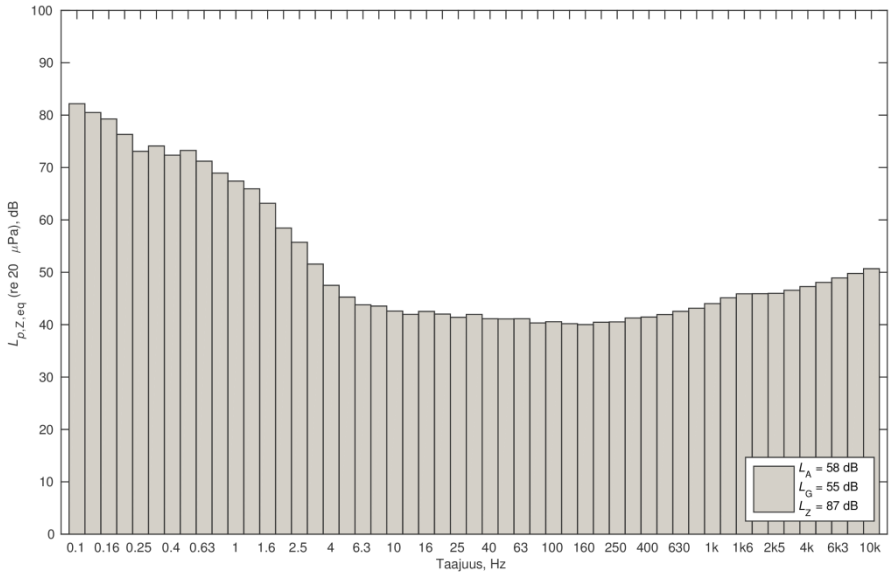
| Mittauspiste | $L_A$ | $L_G$ | $L_Z$ | $N$ | mittausajanjakso |
|---|---|---|---|---|---|
| Hervanta | 49 | 62 | 73 | 587 | 20.04. – 24.04.2017 |
| Hyytiälä | 47 | 46 | 54 | 549 | 20.04. – 24.04.2017 |
| Salo emissio | 50 | 63 | 70 | 1807 | 05.04. – 18.04.2017 |
| Salo immissio | 41 | 51 | 65 | 1822 | 05.04. – 18.04.2017 |
| Siikainen emissio | 49 | 64 | 73 | 1932 | 25.04. – 09.05.2017 |
| Siikainen immissio | 41 | 51 | 63 | 2010 | 25.04. – 09.05.2017 |

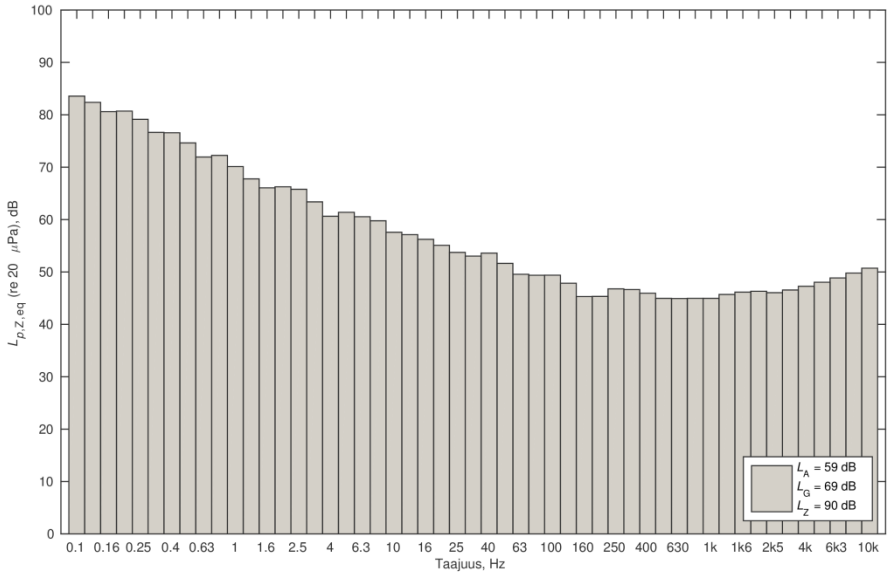
# Kontrolloitu päästömittaus, äänenpainetason vaihtelu



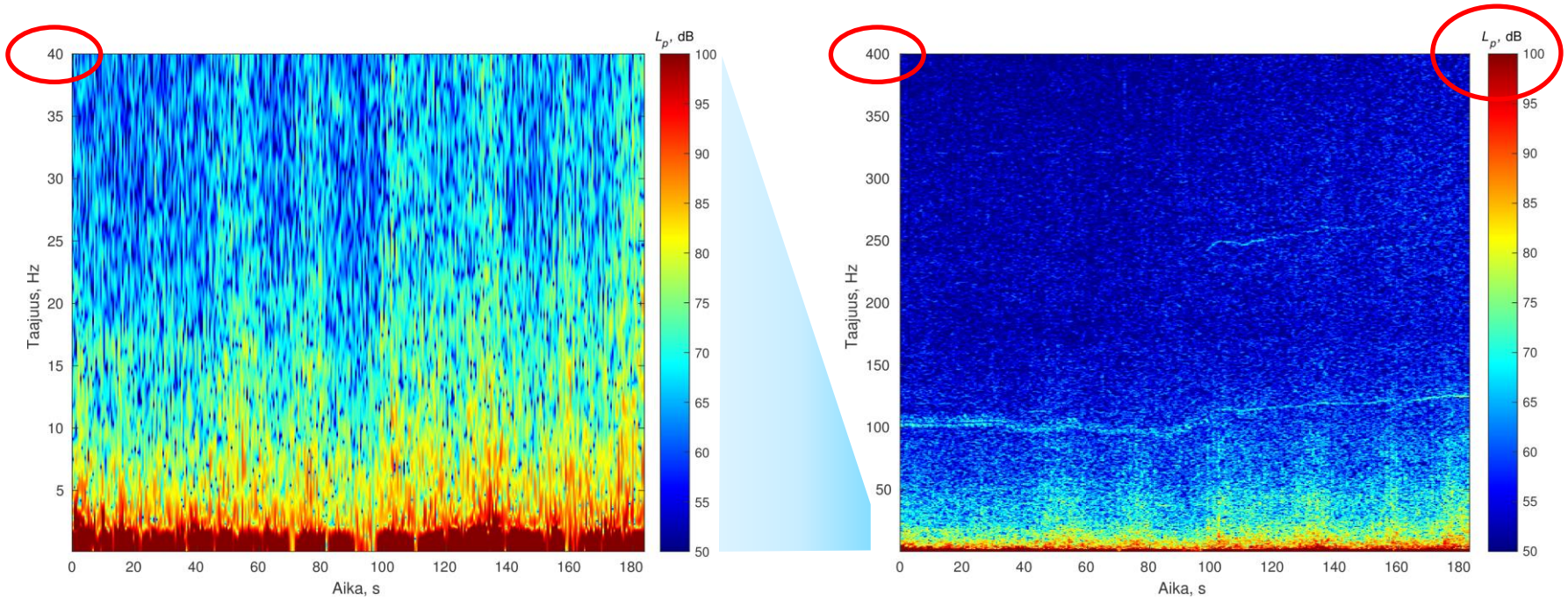



# Kontrolloitu päästömittaus, keskiäänitasot



# Esitystavoista, spektrogrammi



# Parhaillaan meneillään oleva selvitys



# VNK TEAS 2018 (8 / 2018 – 2 / 2020)

- Tavoite: selvittää tuulivoimaloiden aiheuttaman äänen potentiaalisesti haitalliset vaikutukset ihmiselle.
- Kolme osatutkimusta: kenttämittaukset, epidemiologinen tutkimus (kyselytutkimus) ja havaitsemiskokeet.
- VTT (hankkeen johto), THL, TTL ja HY
  - 15 asiantuntijaa ympäristö-, terveys- (psykologia, lääketiede ja fysiologia), tilasto- ja teknisistä (ääni, akustiikka) tieteistä.
  - 293 k€, 20 htkk.

# Työpaketti 1 – kenttämittaukset

- Tavoite: selvittää ääni- ja värähtelytasoja asuinrakennuksissa, niiden välittömässä läheisyydessä, sekä turbiinien lähellä.
- Ajallisesti vähintään kuukausi samassa paikassa.
- Tallennettuja ääninäytteitä käytetään havaitsemiskokeissa (työpaketti 3).
- Taajuusalue 0.05 – 24 000 Hz, dynamiikka yli 100 dB. Ajalliset sekä tilastolliset ominaisuudet, kuten $L_{eq}$, impulssimaisuus, tonaalisuus ja amplitudimodulaatio.

# Työpaketti 2 – epidemiologinen tutkimus

- Päätavoite: arvioida oireilun yleisyys tuulivoimatuotantoalueiden läheisyydessä.
- Mitkä tekijät ovat yhteydessä oireiluun?
- Kohteena 3-5 aluetta, joiden varmistamiseksi lyhyt kysely:
  - 20 suurimman tuulivoimakunnan viranomaisille.
  - Suomen Tuulivoimayhdistys ry:lle.
  - Tuulivoima-Kansalaisyhdistys ry:lle ja SYTe ry:lle.

# Työpaketti 3 – havaitsemiskokeet

- Tavoite: tutkia kokeellisesti, miten tuulivoimaloiden tuottama ääni vaikuttaa ihmiseen; äänen havaitseminen, fysiologisia vasteita, sekä vasteita ja oireilua selittäviä tekijöitä.
- Kaksi testiä: häiritsevyys ja kynnys.
- Fysiologiset mittaukset:
  - Sydämensyke, hengitystiheys, ihon sähkönjohtavuus.
- Koehenkilöille kerrotaan, että infraäänen osuutta vaihdellaan.
- Todelliset äänitasot.

# Yhteenveto

- Tuulivoimalat tuottavat laajakaistaista ääntä ja sisältää myös infraääntä.
  - Infraääntä ei arvioida nykyisten standardimenetelmien mukaan.
  - Keskiäänitasot ovat merkityksettömän pieniä.
  - Mahdollinen haittatekijä liittyy äänen ajalliseen vaihteluun, mutta terveysvaikutuksia ei vielä tunneta.
  - Käynnissä olevan VNK TEAS –hankkeen tavoite on löytää potentiaalisesti haitalliset vaikutukset ihmiselle.

# Kiitos!

Lisätietoja: Panu.Maijala@vtt.fi, puhelin 020 722 3214







