

Tuulivoimamelu ja sen vaikutukset

Valtteri Hongisto

valtteri.hongisto@turkuamk.fi

+358 40 5851 888

Tutkimusryhmän vetäjä, Turun ammattikorkeakoulu
Meluntorjunnan dosentti, Aalto-yliopisto
Ympäristöpsykologian dosentti, Turun yliopisto

24.4.2024 Konnevesi



Yleistä tuulivoimamelusta

Äänitaso ja melu

Melu vai ääni

- Melu on ei-toivottua, häiritsevää, tarpeetonta tai terveyshaittaa aiheuttavaa ääntä.
- Eri henkilöillä voi olla hyvin eri kokemus samasta äänestä johtuen yksilöllisistä tai tilannesyistä, mm.
 - Käsillä oleva tehtävä
 - Käsitykset äänen haitoista
 - Asenne äänilähdettä kohtaan

Desibelit ja hertsit

- Äänen taajuuden yksikkö on hertsi [Hz]
- Kuultavan äänen taajuudet: 2 - 20.000 Hz
- Korva aistii äänitasoja 0 ja 120 dB välillä.
- Yli 120 dB äänet aistitaan kipuna, aistinsoluja vaurioituu.
- Äänen voimakkuutta kuvataan A-painotetun keskiäänitason L_{Aeq} avulla, yksikkönä desibeli [dB].
- A-painotus tarkoittaa, että mikrofonin mittaamia äänentaajuuksien äänenpainetasoja painotetaan samoin kuin korvassa tapahtuu (ks. seuraavan sivun kuva).
- Työpaikoilla kuulovamman takia rajana on 85 dB $L_{Aeq,8h}$
- Tuulivoimamelun oltava alle 40 dB L_{Aeq} pihamaalla
 - Nukkumiseen tarkoitetuissa huoneissa alle 30 dB L_{Aeq}

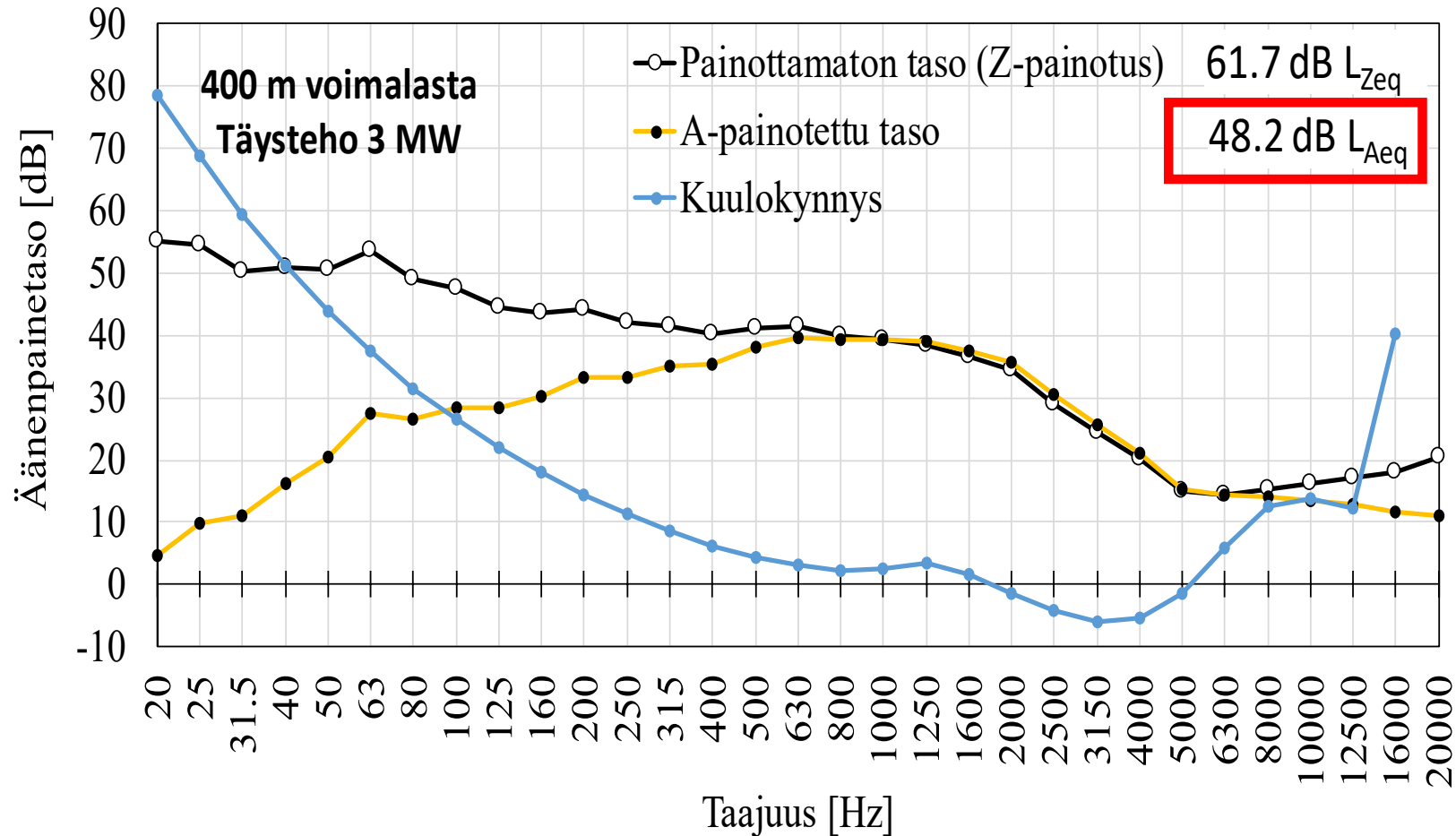
Esimerkkejä äänitasoista arkipäivän tilanteissa, L_{Aeq} :

- Alle 18 dB: ääni ei ole aistittavissa
- 18-28 dB: makuuhuone yöllä
- 30-40 dB ilmanvaihto toimistossa
- 40 dB: tuulivoimamelun ohjearvo
- 55 dB tuulivoimalan juurella
- 60 dB: keskustelu huoneessa
- 75 dB: henkilöautossa 100 km/h

HUOM: Kuuloaistimus voi myös esiintyä, vaikka ääntä ei fyysikaalisesti olisi olemassa. Kaksi mekanismia:

- Tinnitus – korvan aiheuttama äänes
- Vahva käsitys äänen olemassaolosta

Kuuleminen ja A-taajuuspainotus



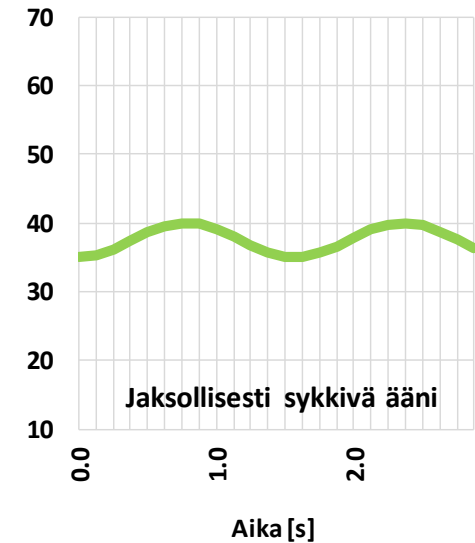
- Jos äänenpainetaso ylittää **kuulokynnyksen**, ääni on kuultavissa.
- Korva aistii herkimmin äänen taajuudet 500-6000 Hz ja bassot selvästi huonommin
- A-taajuuspainotus korjaa eri taajuuksien äänenpainetasot äänekkydeltään samanarvoiseksi
 - Mustan ja keltaisen ero
- Kuvassa tuulivoima-alueen ääni painottamattomana ja A-painotettuna 400 m päässä
- $L_{Aeq} = 48.2$ dB.

- Vaihtelee tuulen voimakkuuden ja suunnan mukaan
- Erottuu parhaiten, kun ylätuulta paljon ja alatuulta vähän
- Asuinalueilla oltava alle 40 dB L_{Aeq}
- Ulkona kuultava ääni painottuu 100 – 1000 Hz taajuuksille
- Äänitaso ei välitä kellonajasta, vain tuulen nopeudesta ja huoltoseisokeista.
- Joissakin malleissa vaihteisto voi aiheuttaa kapeakaistaista ääntä.
- Ääni on ajoittain havaittavasti amplitudimodulaatiota:
 - 1 - 5 dB suuruinen jaksollinen sykintä 1.5 s välein (lavan ohitus)
- Lavat voivat puuskatuulella aiheuttaa satunnaisesti impulssiäänien

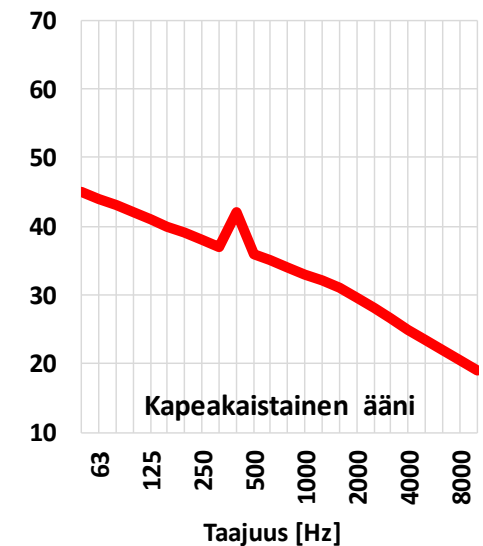
Tuulivoimalan äänen luonne

- Voimalan melupäästöä kuvataan A-painotetulla äänitehotasolla, L_{WA}
 - Arvot vaihtelevat 100-115 dB mallista riippuen
- Mittaus ympäristöministeriön ohjeen 3/2014 mukaan
- Melupäästö tarkoittaa äänenpainetasoa 28 cm päässä pisteestä, jonka keskellä voimala on.
- Melupäästö ei riipu tehosta vaan ääniteknisestä suunnittelusta (=hinnasta)
- Suomessa suositaan melupäästöltään alhaisia tyyppisiä, jotta suojaetäisyydet pieniä ja voimaloita saadaan paljon

A-painotettu taso [dB]



Painottamaton taso [dB]



Asuntoja ja asuntojen pihamaita koskevat ohjearvot

Valtioneuvoston päätös 993/1992

Sisätilat koskee kaikkia ympäristömeluja

Pihamaat ei koske tuulivoimaloita

- Sisätilat yöaikaan: **30 dB**
- Sisätilat päiväaikaan: **35 dB**
- Pihamaa yöaikaan: 45 dB
- Pihamaa päiväaikaan: 55 dB

Ympäristöministeriön asetus 1107/2015

Koskee tuulivoimalamelua pihamaalla

- Pihamaa yöaikaan: **40 dB**
- Pihamaa päiväaikaan: **45 dB**

OHJEET: <https://ym.fi/tuulivoimarakentaminen>

Tarkennuksia:

- Päivä: 07-22, T=9 h
- Yö: 22-07 T=15 h
- Arvot $L_{Aeq,T}$ paitsi * $L_{Aeq,1h}$

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545/2015

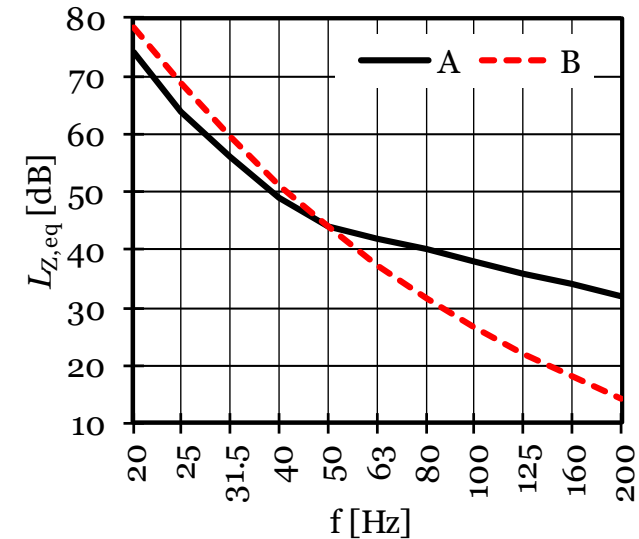
Koskee kaikkia ympäristömelun lajeja

- Sisätilat yöaikaan: **30 dB**
- Sisätilat päiväaikaan: **35 dB**
- Nukkumista häiritsevä ääni: **25 dB***
- Pientaajuiselle äänelle 20-200 Hz erillisrajat

Pientaajuinen melu nukkumiseen tarkoitetuissa huoneissa

- Pientaajuinen melu: 20-200 Hz
- STM 545-2015 toimenpiderajat (A)
- Pientaajuusmelun läpäisyä julkisivun läpi tarkastellaan aina tuulivoima-alueita lähimmissä asunnoissa.
- Laskelmissa käytetään julkisivun äänieristystä DL_{σ} (Keränen et al., 2019), joka ylittyy 84 % rakennuksista.
- Vaiheet:
 - Äänitaso L_U mallinnetaan pihamaalle
 - Tästä vähennetään DL_{σ}
 - $7_{irs} \# 'c' \# m \#$ Äänitaso sisällä L_S .
 - Tulosta L_S verrataan rajaan A.
- Ylitystä ei yleensä tapahdu, jos 40 dBA ohjearvo ei ylity pihamaalla.

f [Hz]	Yö klo 22-07 $L_{Zeq,1h}$ A	Kuulokynnys ISO 226 B
20	74	78.5
25	64	68.7
31.5	56	59.5
40	49	51.0
50	44	44.0
63	42	37.3
80	40	31.5
100	38	26.6
125	36	22.0
160	34	18.0
200	32	14.3



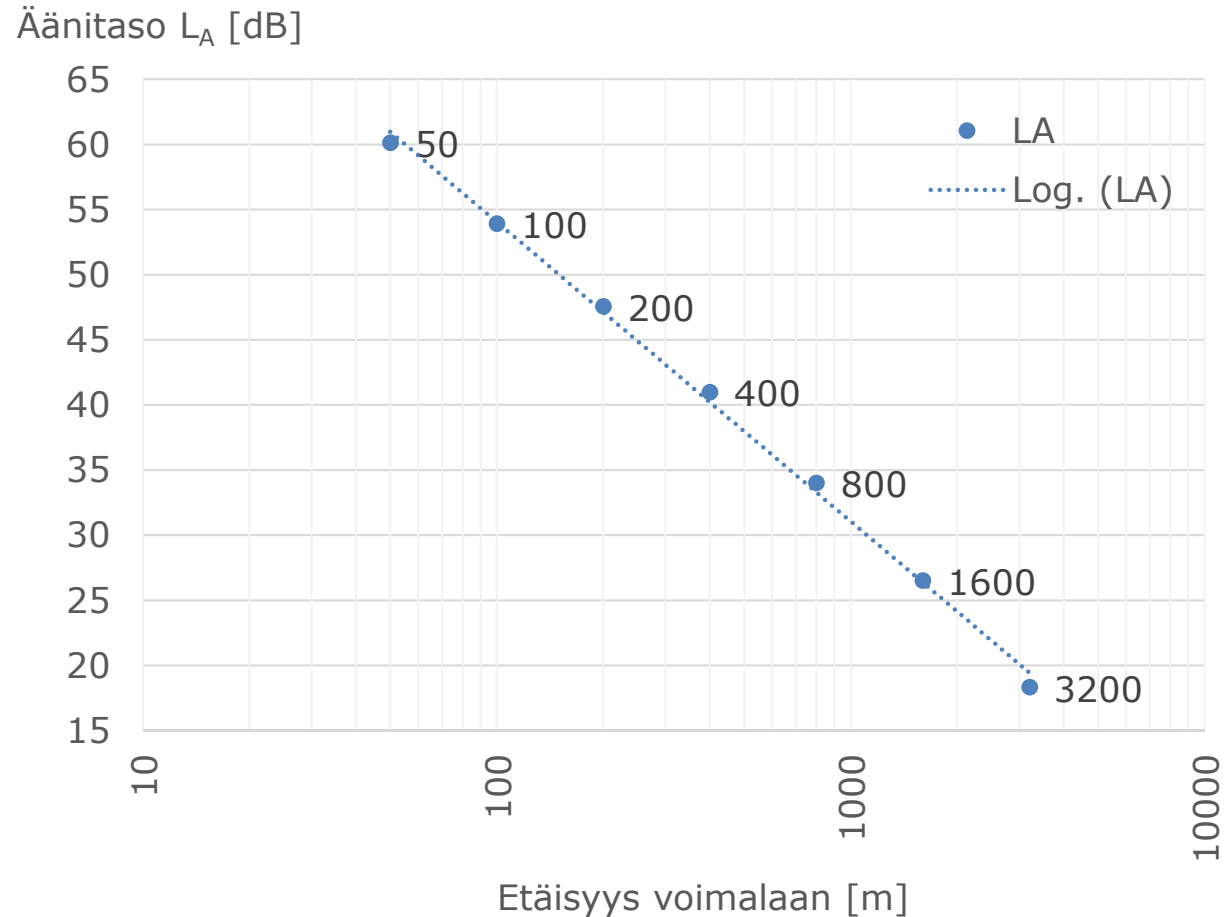
Tunnin ekvivalentin äänenpainetaso toimenpiderajat $L_{Zeq,1h}$ [dB] nukkumiseen tarkoitetuissa huoneissa. Impulssimaisuus- tai kapeakaistaisuuskorjausta ei sovelleta verrattaessa näihin toimenpiderajoihin. Kuulokynnys (ISO 226) edustaa alinta normaalikuuloisen 18-vuotiaan havaitsemaa äänenpainetasoa.

f [Hz]	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	31.5
DL_{σ} [dB]	5	6	6	6	7	7	8	8	9

f [Hz]	40	50	63	80	100	125	160	200
DL_{σ} [dB]	10	11	13	15	17	19	21	23

Tuulivoimalan melun leviäminen ympäristöön

- Kuvassa on esimerkki, miten yksittäisen tuulivoimalan tuottama A-painotettu äänitaso riippuu etäisyydestä voimalaan.
- Äänitehotasoksi on oletettu 105 dB L_{WA}
 - Äänenpainetaso 28 cm pisteäänilähteestä
- Äänitaso vaimenee 6 dB aina, kun etäisyys voimalaan kaksinkertaistuu
 - Tämä sääntö on voimassa äänitehotason arvosta riippumatta
- Ilmamolekyylit absorboivat suuria äänentaajuuksia tehokkaammin. Sen vuoksi suuritaajuinen ääni vaimenee enemmän kuin 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa.
- Inversio-olosuhteissa ääni taittuu alaspäin ja ääni voi vaimentua selvästi hitaammin kuin 6 dB etäisyyden tuplaantuessa. Ilmiö vaikuttaa yli 1 km päässä voimaloista. Ilmiö ei yleensä johda ohjearvojen ylitykseen mutta ääni kuullaan tavallista kauempana.



Äänitason L_{Aeq} [dB] mallintaminen ja mittaus

Mallintaminen

- Ympäristöministeriön ohje 2/2014
- Kaikki voimalat käyvät täysteholla, tuulen suuntaa ei huomioida.
- Huomioi
 - voimaloiden äänitehotason taajuuksilla 25-10.000 Hz
 - voimaloiden lukumäärän ja keskinäisen sijoittelun
 - maanpinnan muodot
 - maanpinnan vaimennuskyvyn
 - Vesi vai pehmeä maa
 - esteet ja heijastukset ja
 - tarkastelupisteen etäisyyden voimaloihin

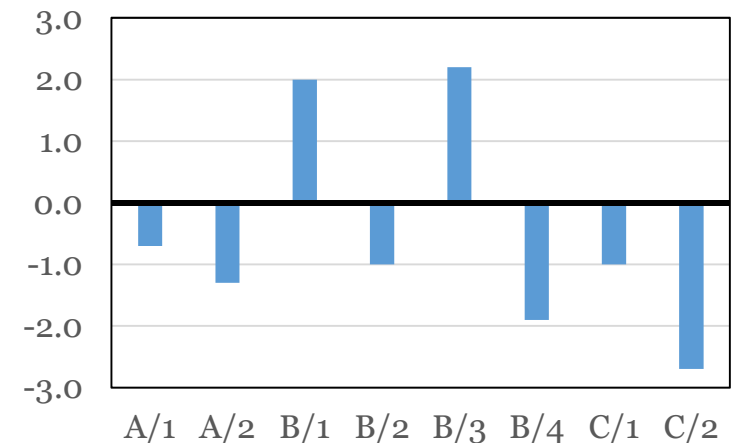
Äänitason mittaus altistuvassa kohteessa

- Ympäristöministeriön ohje 4/2014
- Tuuli käy voimaloista kohteeseen ja voimalat käyvät 80-100 % teholla
- Mittaukset ovat vaativia ja kalliita, koska
 - operaattorit tarjoavat voimaloiden sähköntuotantotiedon ja
 - operaattorit tarjoavat koko alueen sammutuksen taustamelun mittaamiseksi
 - Äänianalyysit monimutkaisia ja monipuolisia

Mallien tarkkuus

- Mallinnusohjeen tarkkuus on tutkittu (Hongisto et al., 2017) 8 eri paikassa
- Mitatut arvot erosivat mallinnetuista alle 1.5 dB.

Mallinnetun ja mitatun L_{Aeq} erotus [dB]



OHJEET: <https://ym.fi/tuulivoimarakentaminen>

Tuulivoimamelun häiritsevyys

Suomalaisen tutkimuksen tiivistelmä.

Ainoa tutkimus, joka sisältää suuria, 3-5 MW voimaloita.

Julkaistu kansainvälisesti.

Hongisto et al. (2017) **J Acoust Soc Am**

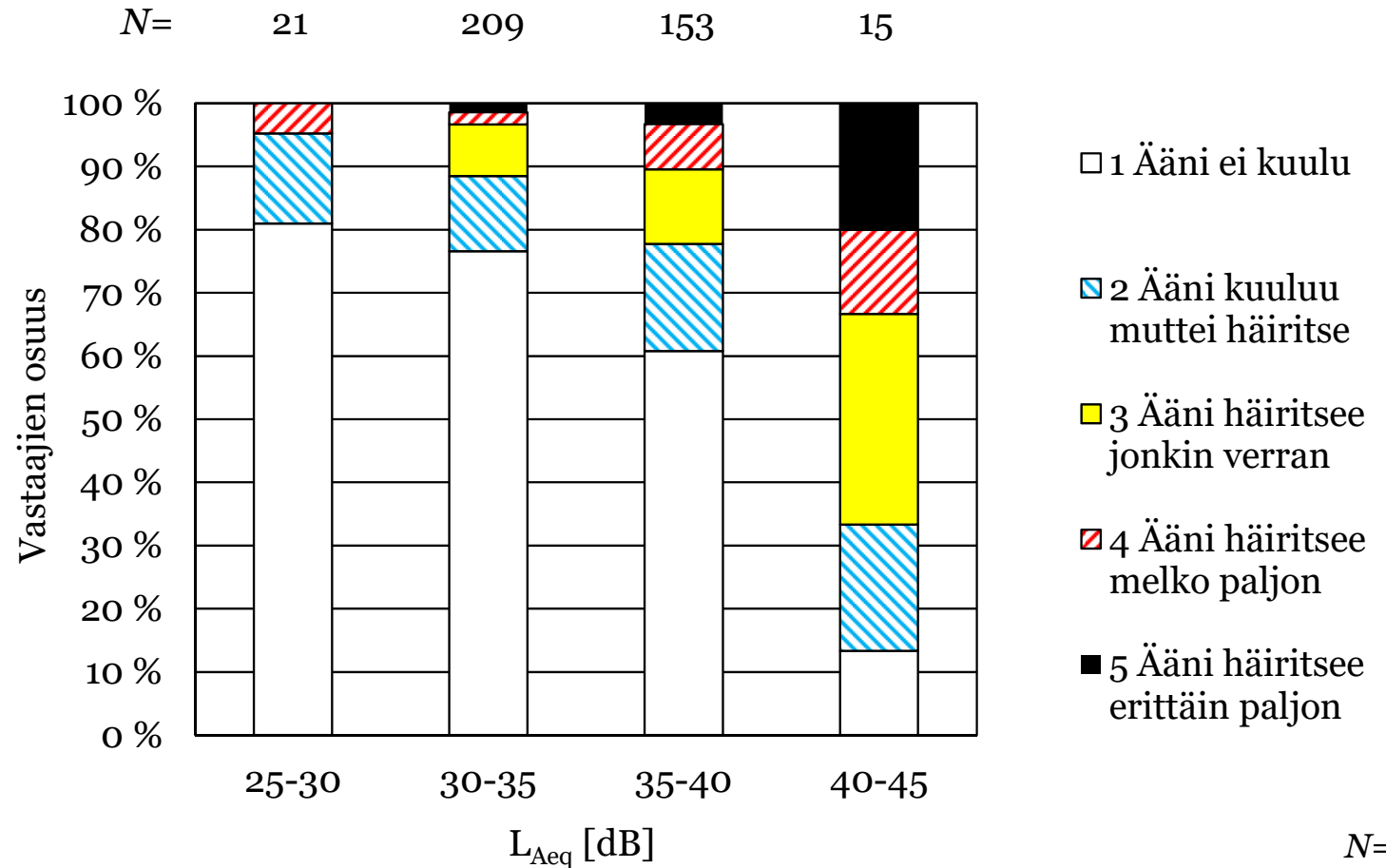
Tuulivoimamelun häiritsevyys. Menetelmät.

- **Tavoite:** Selvittää tuulivoimamelun häiritsevyys yli 3 MW voimaloilla.
- Kysely tehtiin kolmella alueella A-C
- Kaikki asukkaat alle 2 km voimaloista kutsuttiin vastaamaan kyselyyn
- Kyselyyn vastasi 429 asukasta, näistä 318 ympärivuotisia asukkaita
- Pihamaalle mallinnettiin äänitaso L_{Aeq} CadnaA –ohjelmistolla.
- Mallinnusten tarkkuus varmistettiin mittauksin.

	Tuulivoima-alue		
	A	B	C
Tuulivoimaloiden lukumäärä	12	11	3
Voimaloiden nimellisteho [MW]	4.5	3.0 / 3.3	5
Äänitehotaso, L_{WA} [dB]	108.8	106.7 / 107.6	109.6
Tuulivoima-alueen valmistumisajankohta	12-2013	12-2012	12-2014
Kyselytutkimuksen ajankohta	1-2015	5-2015	9-2015
Sijainti	Pori, Peitto	Ii, Olhava	Salo, Märynummi

Tuulivoimamelun häiritsevyys. Tulokset.

- Melun häiritsevyys sisätiloissa pihamaan äänitasosta L_{Aeq} riippuen.
- Yksilölliset erot suuria!
- Tulos oli sama kuin ulkomailla saatu tulos, vaikka se tehtiin paljon 0.05-1.5 MW voimaloilla.
- Äänitaso selitti vain 9% häiritsevyyden vastauksista
- On siis muita tekijöitä, kuin äänitaso, jotka selittävät häiritsevyyttä.



N=398

%HA on niiden vastaajien osuus, jotka vastasivat 5.
%HA arvot ovat 0 %, 1 %, 3 % ja 20 %.

Tuulivoimalamelun häiritsevyys. Muut tekijät kuin äänitaso.

- Yksilölliset erot häiritsevyydessä olivat siis valtavia.
- Esimerkiksi äänitasolla 30-35 dB noin 70% ei kuullut ääntä ja toisaalta 2 % koki erittäin voimakasta häiritsevyyttä.
- Kyselymme sisälsi myös kysymyksiä ympäristön kokemuksista, asenteista ja mielipiteistä.
- Toisessa tutkimusartikkelissamme selvitettiin, miten häiritsevyys on yhteydessä näihin ei-akustisiin tekijöihin.
- Tuulivoimalamelu koettiin todennäköisemmin melko tai erittäin häiritseväksi, jos
 - vastaaja oli huolestunut tuulivoimalamelun terveysvaikutuksista,
 - vastaaja asui Peittoossa eikä Olhavassa tai Märynummella,
 - vastaajan meluherkkyys oli suurempi,
 - vastaaja oli nainen, tai
 - vastaajan asenne tuulienergiaa kohtaan oli negatiivinen.

Johtopäätös

- Äänitaso ei selitä kokemuksia
- Häiritsevyys suurempaa jos huolet terveysvaikutuksista suuria.
- Jos henkilö asuu alueella, jossa vastustus on suurta, häiritsevyys on todennäköisesti suurempaa.

Tuulivoimamelun terveysvaikutukset

Laajin kansainvälinen vertaisarvioitu tutkimus, jossa on selvitetty tuulivoiman äänitason yhteyttä terveyteen alueella, jossa ohjearvo 40 dB täyttyy.

Vertaisarvioitu alkuperäisjulkaisu

- Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R., Hongisto, V. (2022). *Health effects of wind turbine and road traffic noise on people living near wind turbines*. **Renewable & Sustainable Energy Reviews** 157 (2022) 112040 (13 pp).

Artikkeli (PDF) on kaikkien ladattavissa osoitteessa:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121013022>



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Renewable and Sustainable Energy Reviews

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser



Health effects of wind turbine noise and road traffic noise on people living near wind turbines

Jenni Radun^{*}, Henna Maula, Pekka Saarinen, Jukka Keränen, Reijo Alakoivu, Valtteri Hongisto

Turku University of Applied Sciences, Joukahaisenkatu 7, FI-20520, Turku, Finland

ARTICLE INFO

Keywords:

Wind turbine noise
Road traffic noise
Health effects
Annoyance
Noise exposure measurements
Case-control study

ABSTRACT

Very few surveys have investigated the health effects of both wind farms and road traffic so that the public health effects of environmental stressors are broadly understood. This case-control study examined the influences of both wind turbine noise and road traffic noise on self-reported symptoms and diseases close to wind turbines and in a control area. Wind turbine sound levels 17–39 dB L_{Aeq} met new national regulation (40 dB). Daytime road traffic noise levels were 32.5–63.5 dB, sometimes exceeding the regulation (55 dB). Altogether 676 residents responded to a masked living environment questionnaire. Higher wind turbine sound level was only associated with more likely reporting wind turbine noise annoyance and not with reporting of other symptoms or chronic diseases. On the other hand, higher road traffic sound level was associated with increased odds for road traffic noise annoyance, migraine or headache, dizziness, impaired hearing, pressure in ears, tachycardia or heart palpitations, and heart disease. Road traffic exposure seems to deserve attention especially if daytime levels exceed 55 dB. The health effects of wind farms seem to be limited to noise annoyance in areas where all residents are exposed to sound levels under 40 dB.

Yleistajuinen suomenkielinen lyhennetty artikkeli

- Hongisto, V., Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R. (2022). *Tuulivoiman ja tieliikenteen melun terveysvaikutukset*. **Ympäristö ja Terveys -lehti** 1 52-59.
- Tiedote:
 - <https://www.turkuamk.fi/fi/artikkelit/3010/tutkimus-tieliikennemelu-on-tuulivoimamelua-vakavampi-terveysriski/>
- Artikkelin on ladattavissa tiedotteesta



Tausta ja tavoite

- Tuulivoimamelun väitetään aiheuttavan terveyshaittoja - tieteellisistä tutkimuksista väite ei ole saanut tukea, pois lukien melun häiritsevyys.
- Väittämät esillä, kun tuulivoimaa tulossa asutuksen lähelle.
- Tuulivoima lisääntyy merkittävästi. Siksi on tärkeä tietää sen terveysvaikutukset, kun ohjearvoa 40 dB noudatettu.
- Tuulivoima-alueiden lähellä on aina teitä + valtateitä.
- Kansanterveydelliseltä näkökannalta olennaisen tärkeää tarkastella tie- ja tuulivoimamelua yhtä aikaa.
- Tällaisia tutkimuksia ei ole tehty edes ulkomailla.
- **Tavoite:** selvittää tieliikenne- ja tuulivoimamelun terveysvaikutukset tuulivoima-alueella, jossa tuulivoimamelu täyttää ohjearvot.

Melutason ohjearvot pihamaalla, L_{AeqT}

Tuulivoimamelu

Valtioneuvoston asetus
1107/2015

- Päivällä 45 dB
- Yöllä 40 dB

Käytännössä 40 dB toteutuu myös päivällä.

Tieliikennemelu

Valtioneuvoston päätös
993/1992

- Päivällä 55 dB
- Yöllä 50 dB

Tutkimusalueet

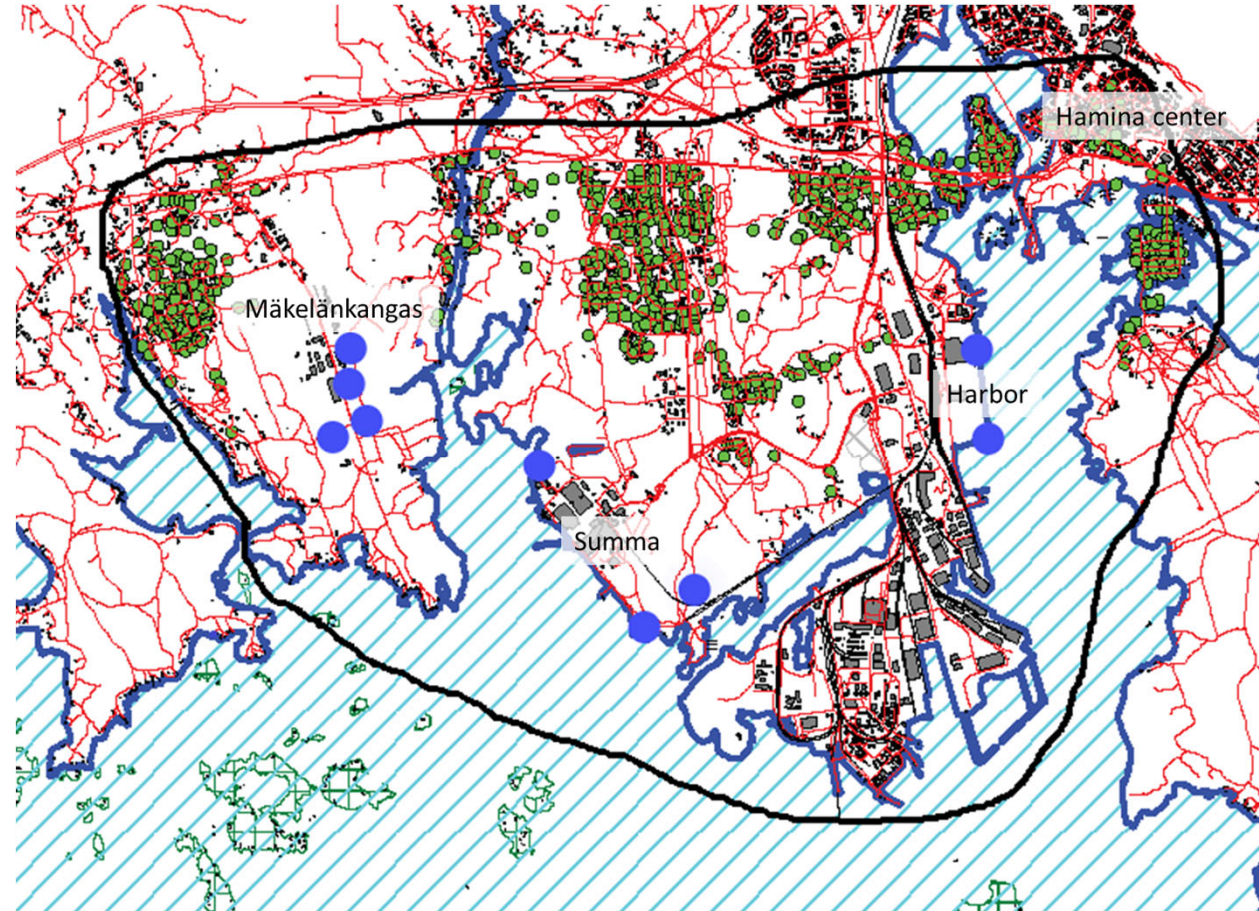
- Tutkimukseen valittiin tuulivoima-alueita, joiden lähellä on paljon asukkaita. Tässä suhteessa soveltuvin alue on **Hamina**, jossa on kolme lähekkäistä tuulivoima-aluetta.
- Altisteen terveysvaikutuksen osoittaminen vaatii aina kontrolliryhmän, joka on ilman altistetta. Täksi valikoitui **Kotkasta** (Itä-Karhulasta) alue, jossa on hyvin saman tyyppistä monipuolista asutusta kuin Haminaassa.



Tuulivoima-alueet

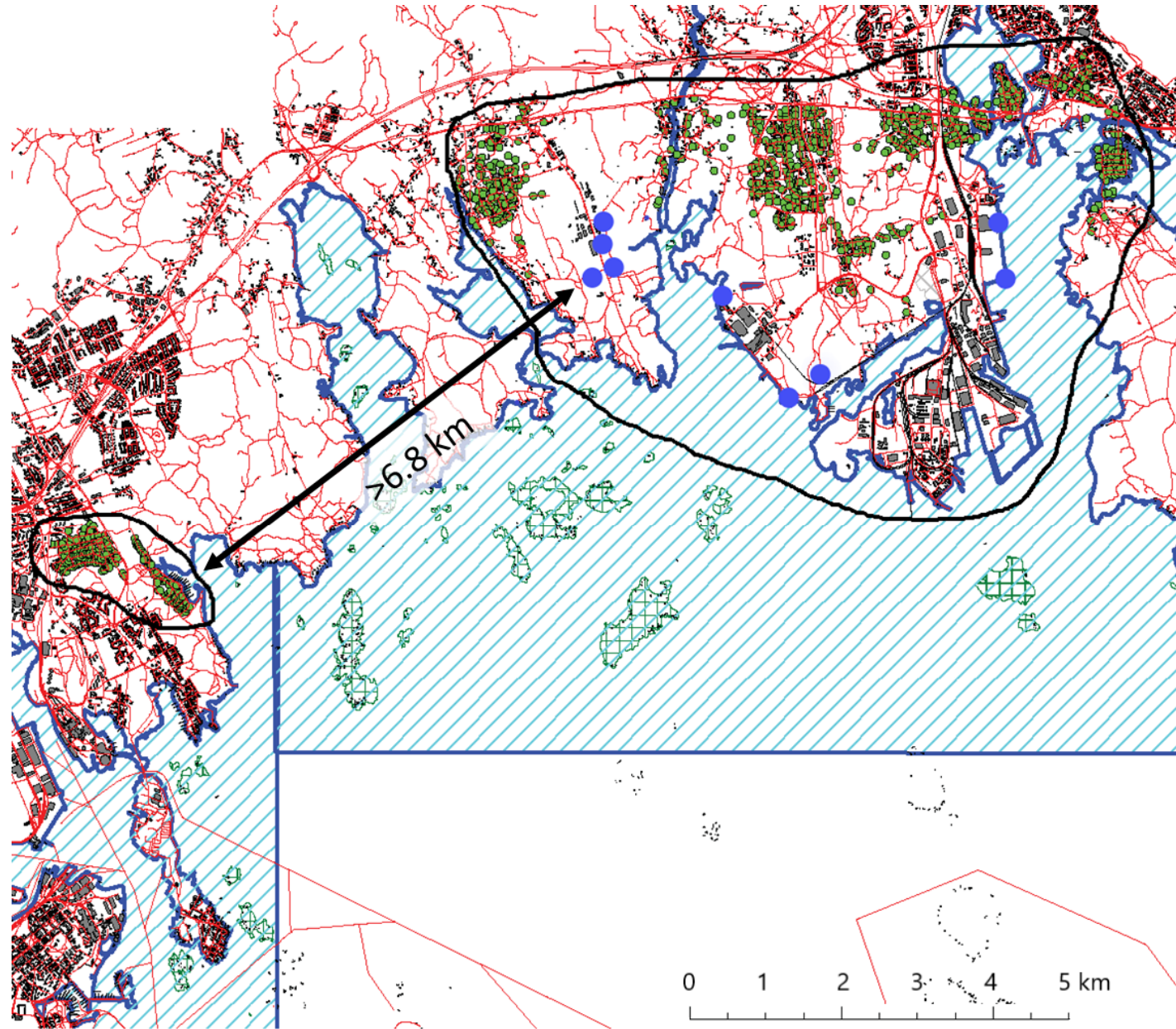
Kolme tuulivoima-aluetta:

- Mäkelänkangas: 4 kpl 2.0 MW
- Summa: 3 kpl 3.0 MW
- Satama 2 kpl 3.0 MW



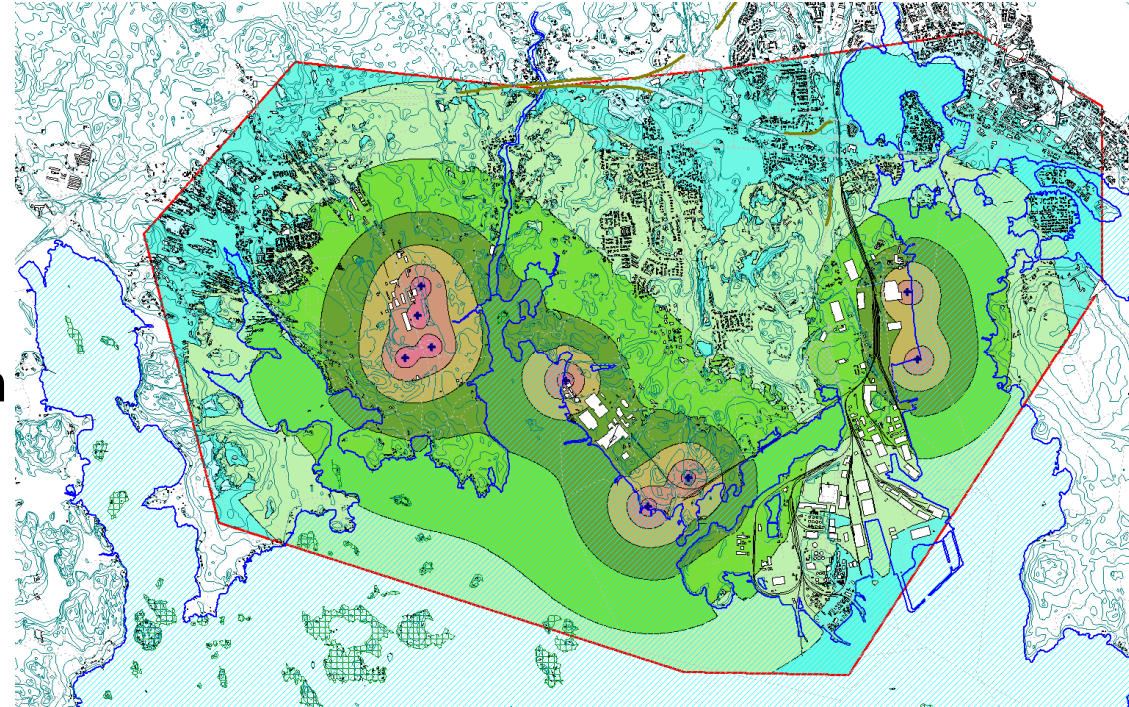
Tutkittavat

- **Tuulivoima-alueet:** vakituiset asukkaat Haminassa enintään 2,5 km tuulivoimaloista
 - Jako kolmeen äänitasoryhmään
- **Kontrolliryhmä:** Itä-Karhula
 - Etäisyys voimaloihin > 6,8 km
 - Voimalat ei kuulu, eikä näy.
- Talouksia alueilla on 3058 kpl. Kaikille postitettiin kysely.
- Saatiin 684 vastausta (22.4 %)
 - Tuulivoimaryhmät: 563
 - Kontrolliryhmä: 121



Melualtistuksen määrittäminen pihamaille

- **Tuulivoimamelun äänitaso** $L_{Aeq,TV}$ tutkittavien pihamaille mallinnettiin ympäristöhallinnon ohjeen 2/2014 mukaisesti tilanteessa, jossa syntyy voimakkain ääni:
 - Kaikki voimalat käyvät täydellä teholla
- Voimaloiden äänitehotasot määritettiin mittauksin.
- **Tiemelun äänitaso** $L_{Aeq07-22,TL}$ mallinnettiin pohjoismaisen mallin mukaisesti huomioiden tienpinta, liikennemäärät, raskasliikenteen osuus ja nopeudet.
- Äänitasot mallinnettiin Cadna A ohjelmistolla.
- Asukkaan kokema äänitaso on näiden kahden melun summa.

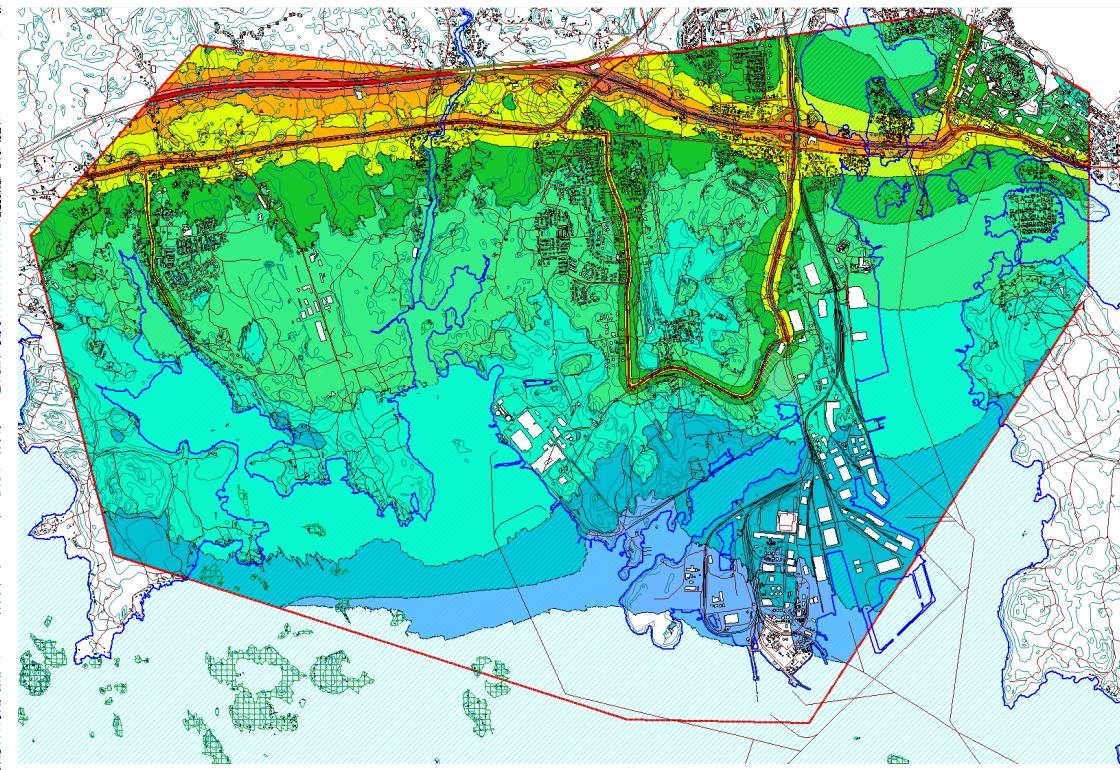
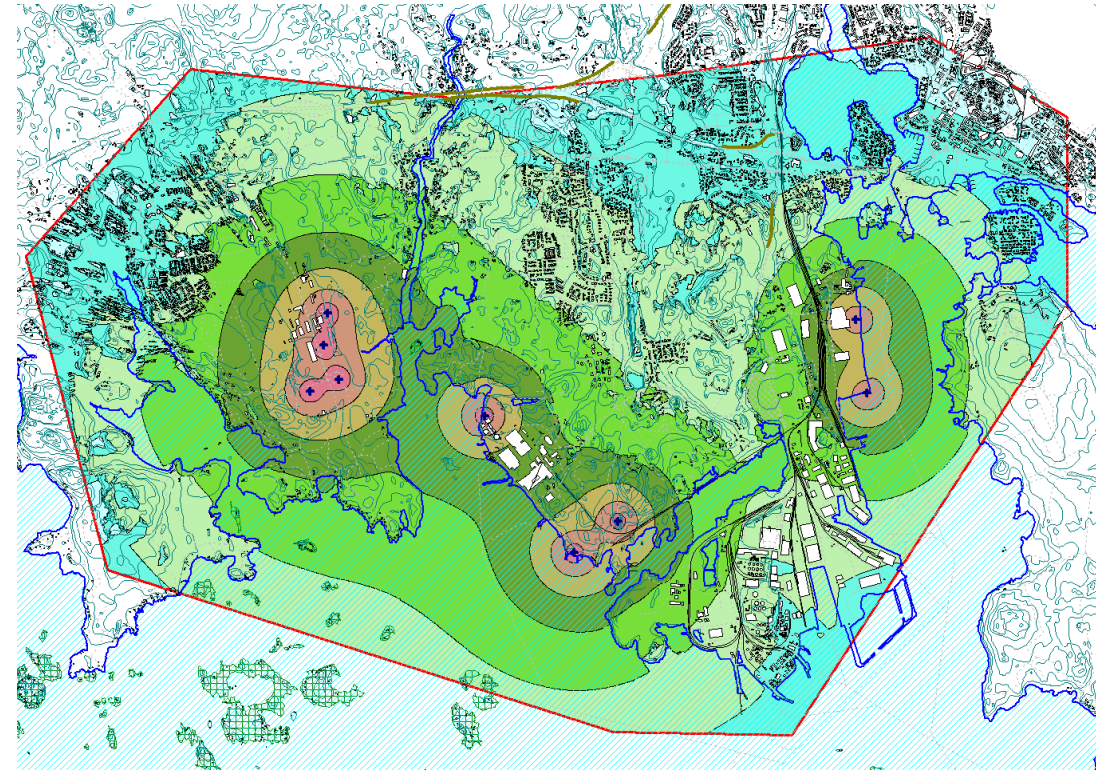


Periaatteellinen äänikartta kaikkien yhdeksän tuulivoimalan yhdessä aiheuttamasta äänitasosta, kun kaikki voimalat käyvät täydellä tehollaan.

Melualtistuksen määrittäminen pihamaille

- **Tuulivoimamelun äänitaso** $L_{Aeq,TV}$ tutkittavien pihamaille mallinnettiin ympäristöhallinnon ohjeen 2/2014 mukaisesti tilanteessa, jossa syntyy voimakkain ääni:
 - Kaikki voimalat käyvät täydellä teholla
- Voimaloiden äänitehotasot määritettiin mittauksin.
- **Tiemelun äänitaso** $L_{Aeq07-22,TL}$ mallinnettiin pohjoismaisen mallin mukaisesti huomioiden tienpinta, liikennemäärät, raskasliikenteen osuus ja nopeudet.
- Äänitasot mallinnettiin Cadna A ohjelmistolla.
- Asukkaan kokema äänitaso on näiden kahden melun summa mutta analyysissä niitä tarkasteltiin erikseen.

Äänitasokartat



Periaatteellinen äänitasokartta kaikkien yhdeksän tuulivoimalan yhdessä aiheuttamasta äänitasosta, kun kaikki voimalat käyvät täydellä teholla.

Periaatteellinen äänitasokartta tieliikenteen äänitasosta päiväaikaan klo 07-22.

Radun et al. (2022) *Renew. Sust. Energ. Rev.*

Pihamailla vallinneet äänitasot

- **Tuulivoima-alue (Hamina):**
 - Tuulivoimamelu, $L_{Aeq,TV}$, välillä 17-39 dB
 - Tuulivoimamelun mukaan vastaajat jaettiin johonkin kolmesta ryhmästä 17-25 dB, 25-30 dB, tai 30-40 dB
 - Tieliikennemelu, $L_{Aeq,07-22,TL}$, välillä 32-63 dB
- Asukkaat 900-2700 m päässä voimaloista
- **Kontrolliryhmä (Itä-Kotka):**
 - Tuulivoimamelu, $L_{Aeq,TV}$, keskimäärin 15 dB
 - Tieliikennemelu, $L_{Aeq,07-22,TL}$, välillä 36-54 dB

Melutason ohjearvot pihamaalla, L_{AeqT}

Tuulivoimamelu:

Valtioneuvoston asetus
1107/2015

- Päivällä klo 07-22: 45 dB
- Yöllä klo 22-07: 40 dB

Tieliikennemelu:

Valtioneuvoston päätös
993/1992

- Päivällä klo 07-22: 55 dB
- Yöllä klo 22-07: 50 dB

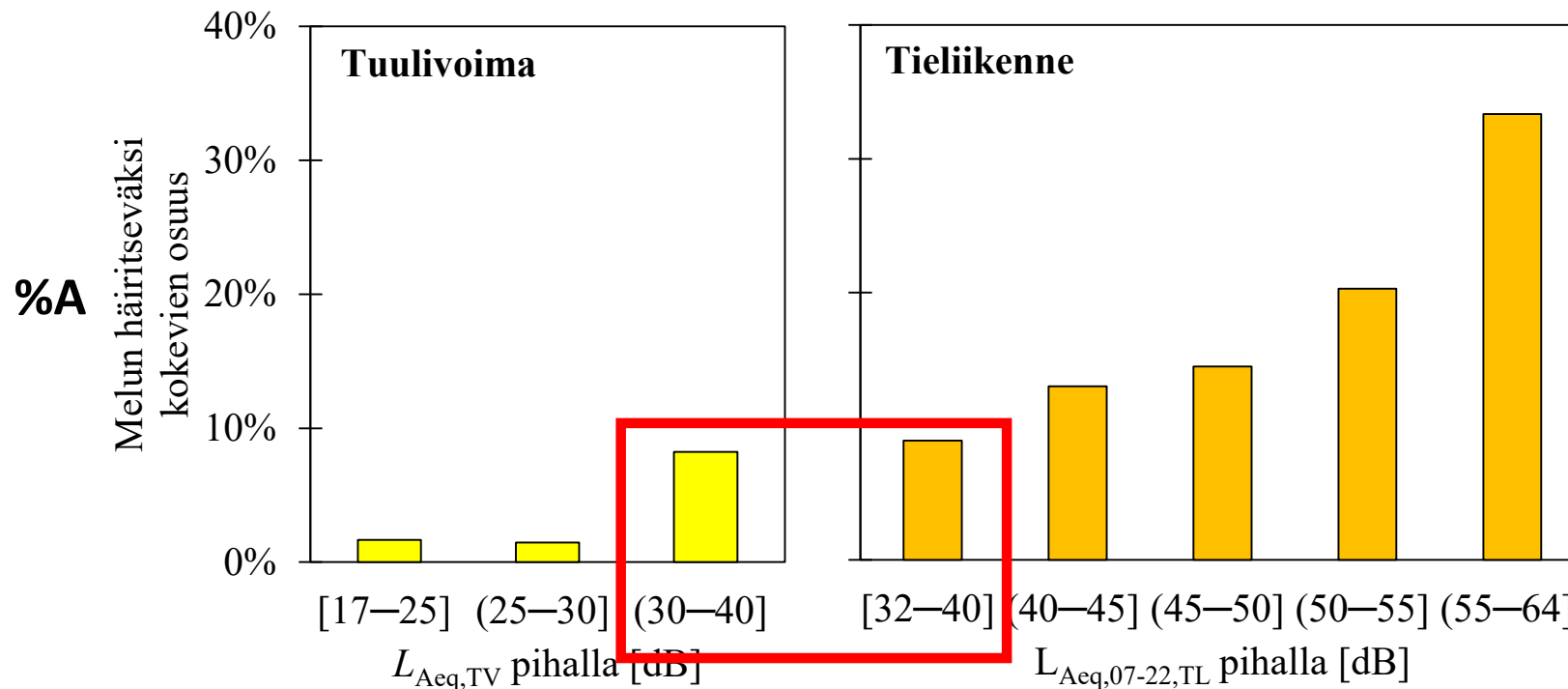
Asuinympäristökysely

- Paperikysely (10 s) postitettiin suomeksi, verkossa FI, SE, EN
- Vastausaika 4 viikkoa + muistutus
- Kyselyn tarkoitus oli peitetty: kyselyn tarkoitusta ei voinut varmuudella päätellä.
- Vastausprosentin nostamiseksi arvoimme 10x100 eur lahjakortit.
- Kysely on artikkelissa ja julkinen.
- Asuinympäristöön ja hyvinvointiin liittyviä tekijöitä kartoitettiin laajasti.

- Tässä tutkimuksessa keskityttiin vain terveysvaikutuksiin ja stressiin:
 - **Melun häiritsevyys**
 - **Oireilun esiintyvyys**
 - lähes joka kuukausi tai useammin
 - Migreeni/päänsärky, huimaus, tinnitus, kuulokyky, korvien lukkiintuminen, ihottuma, selkäkipu, vatsavaivat, näön sumentuminen, sydämen tiheälyöntisyys, keskittyminen, paniikkikohtaukset
 - **Sairastelun esiintyvyys**
 - 12 viimeisen kuukauden aikana
 - Krooniset kivut, astma, niveltulehdus, syöpä, masennus, verenpaine, keuhkosairaudet, diabetes, sydänsairaus, unihäiriöt, levottomien jalkojen oireyhtymä
 - **Stressi**
 - 10-kohtainen kysely "*Perceived Stress Scale*"

TULOKSET – Häiritsevyys

- Eri melulajien häiritsevyyttä tiedusteltiin asteikolla 0 Ei lainkaan ... 10 Erittäin paljon
- Melu selvästi häiritsevää, jos henkilön vastaus on 5, 6, 7, 8, 9 tai 10 (kuuluu joukkoon **%A**)
- Melun häiritsevyyttä kokevien osuus kasvoi, kun äänitaso pihalla kasvoi.
- UUTTA: Tieliikenteen melu häiritsi asukkaita enemmän kuin tuulivoimamelu
- UUTTA: Tasoilla 30-40 dB **ei eroa melulajeilla**. Tuulivoima ei olekaan tiemelua häiritsevämpää!



TULOKSET – Oireet, terveys ja stressi

TUULIVOIMAMAMELU

- Tuulivoimaryhmien (Hamina) ja kontrolliryhmän (Kotka) välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja oireiden, sairauksien tai stressin raportoinnissa.
- Tuulivoima-alueella tuulivoiman äänitaso ei ollut yhteydessä oireiden, sairauksien tai stressin raportointiin.



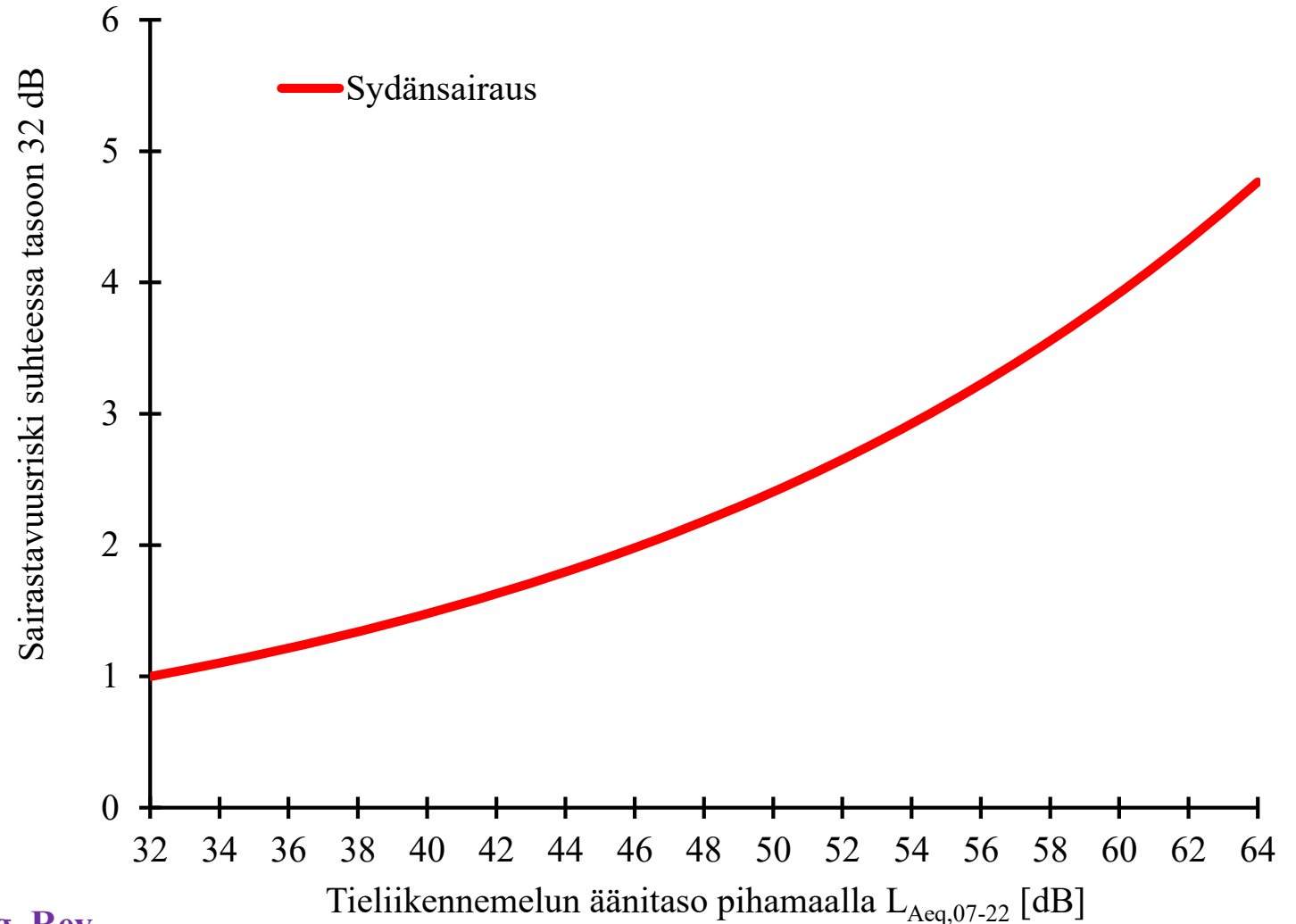
TIELIIKENNEMELU

- Korkeampi tieliikenteen äänitaso oli yhteydessä:
 - korkeampaan oireiden esiintyvyyteen:
 - migreeni/päänsärky
 - huimaus
 - kuulokyvyn heikentyminen
 - korvien lukkiutuminen/paineentunne
 - sydämen tiheälyöntisyys
 - Korkeampaan sairastavuuteen:
 - Sydänsairaus
- Äänitaso ei ollut yhteydessä stressiin



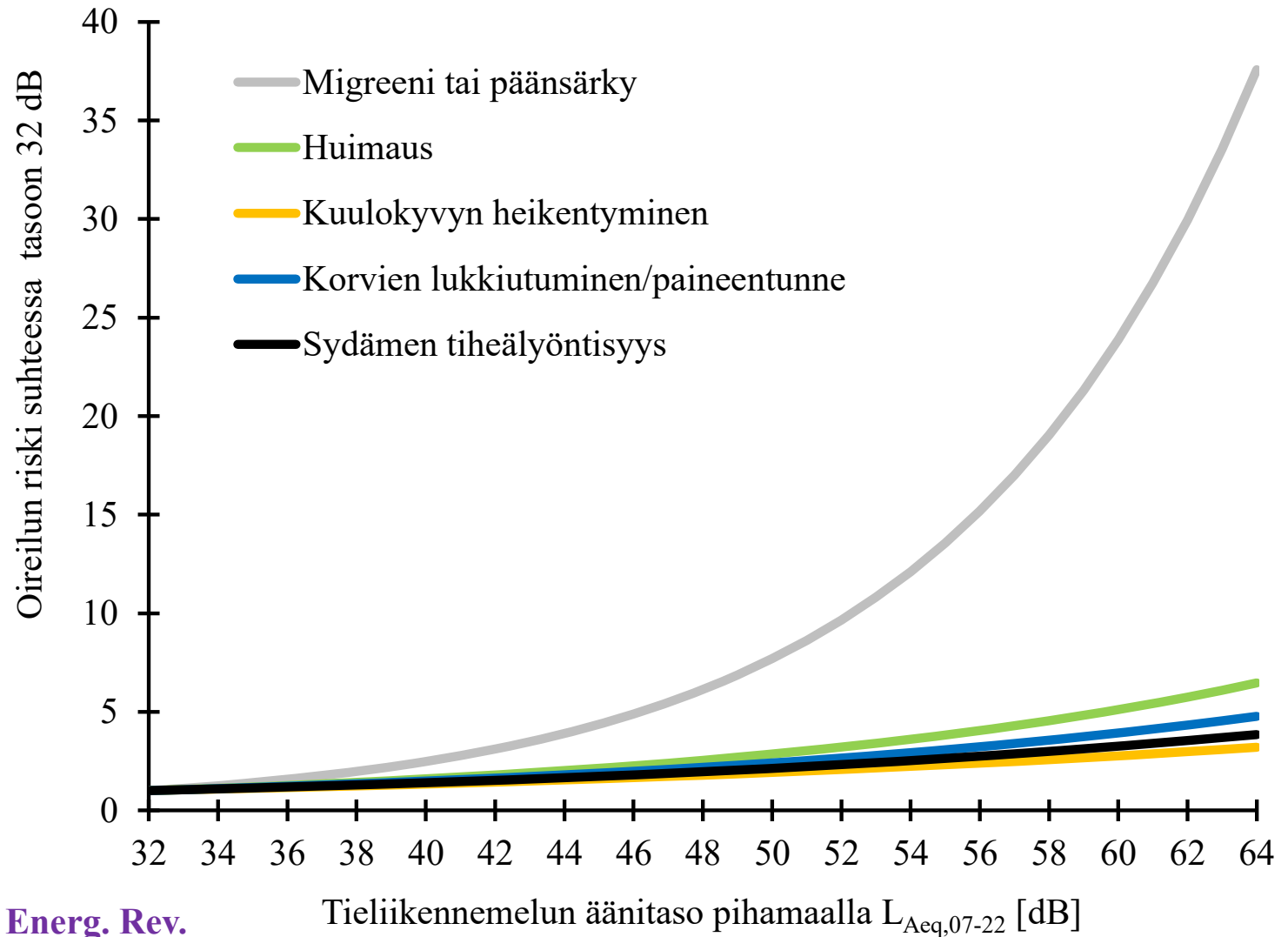
TULOKSET – Tieliikenteen äänitason yhteys sydänsairauden riskiin

- Äänitasolle 64 dB altistuvalla on viisinkertainen riski äänitasolle 32 dB altistuvaan nähden.



TULOKSET – Tieliikenteen äänitason yhteys oireilun riskiin

- Äänitasolle 64 dB altistuvalla on 35-kertainen riski migreenin tai päänsäryn kokemiseen äänitasolle 32 dB altistuvaan nähden.



Johtopäätökset

- VnA 1107/2015 tuulivoiman äänitason ohjearvoista pihamailla (40 dB) on kansanterveydellisesti turvallinen.
- Ainoa tuulivoiman terveyshaitta alle 40 dB tasoilla oli häiritsevyys: Tämä on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa globaalisti.
- Koska häiritsevyys on kohtuullisella tasolla, eikä sairauksia tai oireita havaittu, tuulivoimamelun ohjearvoja ei ole perusteltua enää kiristää nykyisestään.
- **Koska tuulivoiman äänitasolla ei havaittu olevan yhteyttä sairauksiin tai oireisiin, ei myöskään tuulivoiman aiheuttamalla infraäänellä ei ole näitä vaikutuksia.**
- Kansanterveyden kannalta on tärkeämpää kiinnittää jatkossa huomiota tieliikennemelun torjuntaan, nykyinen tuulivoimamelun torjunta toteutuu jo ohjearvoilla riittävästi.

Turku AMK:n tuulivoimameluun tai sen hallintaan liittyvät tutkimukset

KANSAINVÄLISET VERTAISARVIOIDUT JULKAISUT

- Rajala, V., Hakala, J., Alakoivu, R., Koskela, V., Hongisto, V. (2022). Hearing threshold, loudness, and annoyance of infrasonic versus non-infrasonic frequencies. *Applied Acoustics* 198 108981 13+6 pp. Open access at: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108981>.
- Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R., Hongisto, V. (2021). Health effects of wind turbine and road traffic noise on people living near wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 157 112040 (13 pp). Open access at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121013022>.
- Virjonen, P., Hongisto, V., Radun, J. (2019). Annoyance penalty of periodically amplitude-modulated wide-band sound. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(6) 4159–4170.
- Keränen, J., Hongisto, V., Hakala, J. (2019). The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz. *Building and Environment*, 156 12–20.
- Radun, J., Hongisto, V., & Suokas, M. (2019). Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance. *Building and Environment*, 150 339–348.
- Hongisto, V., Keränen, J., Oliva, D. (2017). Indoor noise annoyance due to 3-5 MW wind turbines - an exposure-response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America* 142(4) 2185–2196. Open access at: <http://dx.doi.org/10.1121/1.5006903>.

KANSAINVÄLISET KONGRESSIJULKAISUT

- Hongisto, V., Virjonen, P. (2019). Annoyance penalty of amplitude-modulated sound. Paper 976. Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, 9-13 Sep, 2019, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000976.pdf>.
- Radun, J., Hongisto, V. (2019). Non-acoustic and acoustic variables associated with wind turbine noise annoyance. Paper 610. Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, 9-13 Sep, 2019, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000610.pdf>.
- Keränen, J., Hongisto, V. (2018). Long-term measurement of noise immission from wind turbines. Conf. Proc. Euronoise 2018. 2859-2863. ISSN 1116-5147. 27-31 May 2018, Hersonissos, Crete, Greece. Open access at: http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/472_Euronoise2018.pdf.
- Keränen, J., Hakala, J., Hongisto, V. (2018). Façade sound insulation of residential houses within 5 – 5000 Hz. Conf. Proc. Euronoise 2018. 1549-1553. ISSN 1116-5147. 27-31 May 2018, Hersonissos, Crete, Greece. Open access at: http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/259_Euronoise2018.pdf.
- Hongisto, V., Oliva, D. (2017). Noise annoyance caused by large wind turbines – a dose-response relationship, 12th ICEN Congress on Noise as a Public Health Problem, paper 4059, 5 pp., 18-22.2017 Zurich, Switzerland. Available at: http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea06_Hongisto_0610_4059.pdf.

SUOMENKIELISET JULKAISUT

- Hongisto, V., Radun, J., Maula, H., Saarinen, P., Keränen, J., Alakoivu, R. (2022). Tuulivoiman ja tieliikenteen melun terveysvaikutukset. *Ympäristö ja Terveys -lehti* 1 52–59. Available at: <https://www.turkuamk.fi/fi/artikkelit/3010/tutkimus-tieliikennemelu-on-tuulivoimamelua-vakavampi-terveysriski/>
- Radun, J., Hongisto, V. (2019). Tuulivoimamelun häiritsevyyteen liittyvät ei-akustiset ja akustiset tekijät. *Akustiikkapäivät 2019*, Oulu, 28-29.10.2019, 301-306, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s301.pdf.
- Hongisto, V., Virjonen, P. (2019). Amplitudimoduloitun äänen häiritsevyys ja sanktiointi. *Akustiikkapäivät 2019*, Oulu, 28-29.10.2019, 284-287, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s284.pdf.
- Hongisto V, Keränen J, Hakala J, Julkisvirakenteiden ääneneristävyys pientaajuuksilla, *Rakennusfysiikka 2017*, 24-26.10.2017, Tampere, 571-576, Tampereen teknillinen yliopisto. ISBN 978-952-15-4023-3.
- Hongisto V, Oliva D, Keränen J, Tuulivoimamelun häiritsevyyden riippuvuus äänitasosta, *Akustiikkapäivät 2017*, s. 164-169, 24-25.8.2017 Espoo, Akustinen Seura ry., Espoo, 2017 (ISBN 978-952-60-3734-9). Open access at: http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s164.pdf
- Hongisto V, Keränen J, Tuulivoimamelun pitkäaikaismittaus, *Akustiikkapäivät 2017*, s. 158-163, 24-25.8.2017 Espoo, Akustinen Seura ry., Espoo, 2017 (ISBN 978-952-60-3734-9). Open access at: http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s158.pdf
- Keränen J, Hakala J, Hongisto V, Pientalojen ääneneristävyys ympäristömelua vastaan taajuuksilla 5–5000 Hz - infraäänitutkimus, *Akustiikkapäivät 2017*, s. 123-128, 24-25.8.2017 Espoo, Akustinen Seura ry., Espoo, 2017 (ISBN 978-952-60-3734-9). Open access: http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s123.pdf.
- Hongisto V. ja Oliva D. (2017). Tuulivoimaloiden infraäänit ja niiden terveysvaikutukset. Turun ammattikorkeakoulun raportteja 239, Turku. ISBN 978-952-216-653-1 (pdf). Available at: <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522166531.pdf>.
- Hongisto, V., Suokas, M., Varjo, J., Yli-Kätkä, V.-M. (2015). Tuulivoimalamelun häiritsevyys kahdella tuulivoima-alueella, *Ympäristö ja Terveys -lehti*, 6 2015 54-59. Available at: https://tuulivoimayhdistys.fi/media/794-hongisto_ym_2015_ymparisto_ja_terveys.pdf
- Hongisto, V. (2014) Tuulivoimalamelun terveysvaikutukset, 64 s., Työterveyslaitos, Helsinki, Lokakuu 2014. Available at: <https://www.julkari.fi/handle/10024/116854>.

Infraääni

Äänen taajuuksista

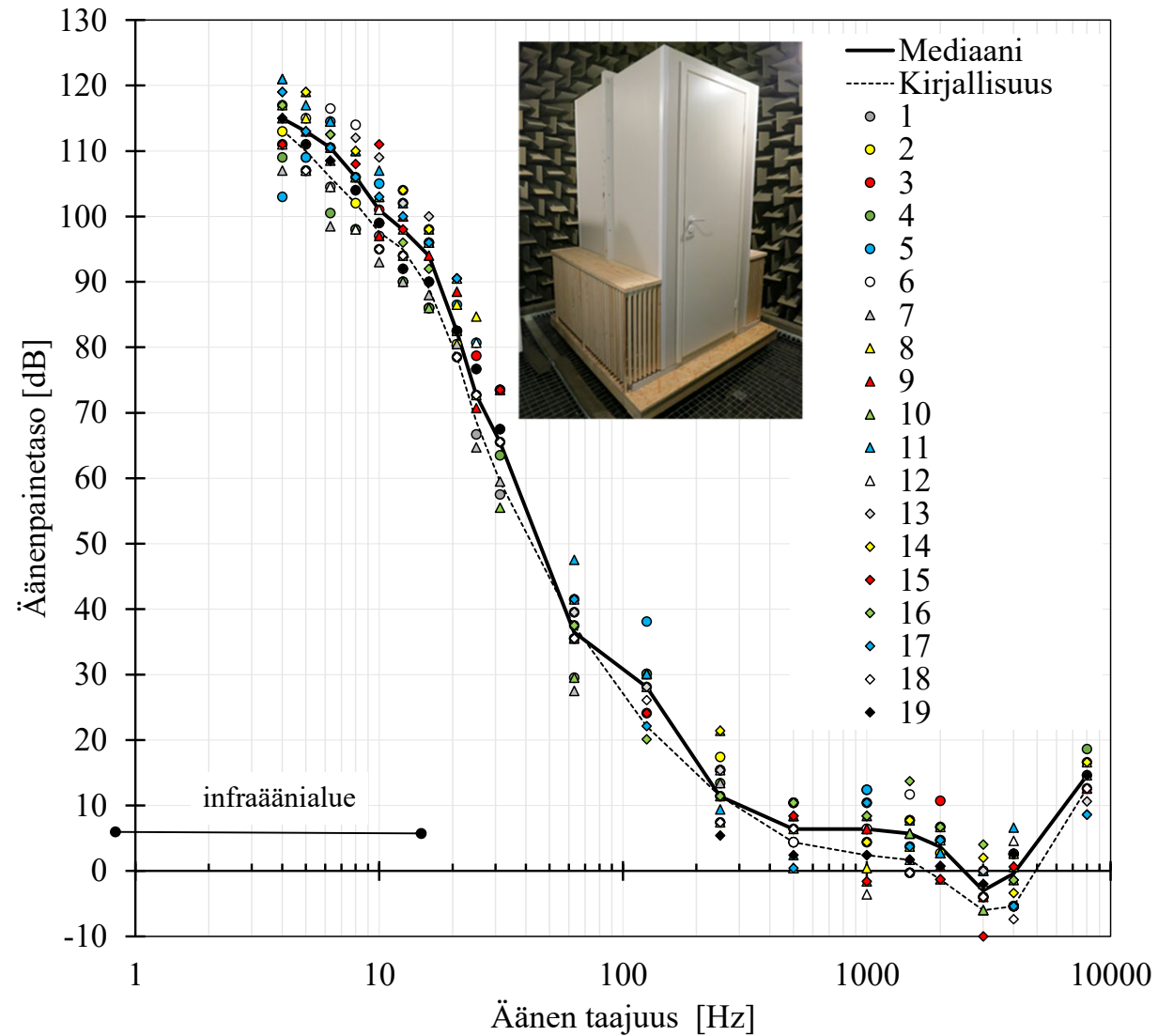
- Pianon matalin ääni (A0) on 27.5 Hz
- Pianon korkein ääni (C8) on 4186 Hz
- Infraäänit: alle 20 Hz.
- Pianosta saisi infraääniä lisäämällä oktaavin alas, jolloin matalin ääni (A) 13.75 Hz.
- Infraäänillä sävelkorkeutta ei tunnisteta

13.75 Hz



Infraääni on ääntä siinä kuin muutkin äänet

- Kuulokynnystaso on alin äänitaso [dB], jolla yli 50 % ihmisistä kuulee sen.
- Suuret taajuudet kuullaan herkemmin kuin pienet taajuudet.
- 20-20.000 Hz taajuuksilla kuulokynnys standardoitu (ISO 226)
- Infraäänellä 4-16 Hz kuulokynnystaso ei standardisoitu
- Teimme tutkimuksen 19 koehenkilöllä (Rajala et al., 2022)
- Kuulokynnystaso löytyi myös 4-16 Hz taajuuksilla kaikilta koehenkilöiltä:
- **Infraääni on siis kuultavaa ääntä siinä kuin yli 20 Hz taajuudet.**
- Ei-kuuluvalla äänellä (viivan alla) ei ole havaittu terveysvaikutuksia.



Rajala et al. (2022)

Infraäänten esiintyminen ympäristössämme

- **Ei-kuultavia** infraääniä:

- Juokseminen, sydämenlyönti
- Lattialla kävely: lattian resonanssit yleensä alle 20 Hz
- Ilmakehän painenvaihtelut
- Tuuli korvanlehdissä
- Oven avaus ja sulkeminen
- LVI-koneet, ilmanvaihto
- Keinuminen (ilmanpaine riippuu korkeudesta maanpintaan nähden)
- Hidaskäyntiset moottorit; esim. laivat, bussit
- Pesukoneen linkous kevytvälipohjan päällä
- Nykyaikaiset vastatuulivoimalat

- **Kuultavia** infraääniä:

- Maanalaisista räjäytyksistä aiheutuva rakennejytinä
- Auton ikkuna auki moottoritiellä täydessä vauhdissa
- 90-luvulla käytetyt myötätuulivoimalat

Tuulivoiman infraääni suhteessa muuhun elinympäristön infraääneen

Tavoite

- Tavoitteena oli mittauksilla kartoittaa tuulivoimaloiden aiheuttamien infraäänien äänenpainetasoja [dB] ja verrata sitä arkielämässä esiintyvien infraäänien tasoihin
- Taajuusalue 0,4 - 20.000 Hz.
- Ensimmäinen alan tutkimus Suomessa.

Kohteet Suomessa

- Yhteensä 31 mittausta eri paikoissa.
 - A. Asuntojen sisätilat (10 kpl)
 - B. Pihamaat ja ulkoalueet (7 kpl)
 - C. Luontoympäristöt (7 kpl)
 - D. Ajoneuvot ja liikenne (7 kpl)

Johtopäätökset.

Tuulivoima-alueiden lähellä mitattu infraäänien äänenpainetaso ei olennaisesti poikkea siitä, mitä mitattiin erilaisissa elinympäristöissä kaukana tuulivoima-alueista.

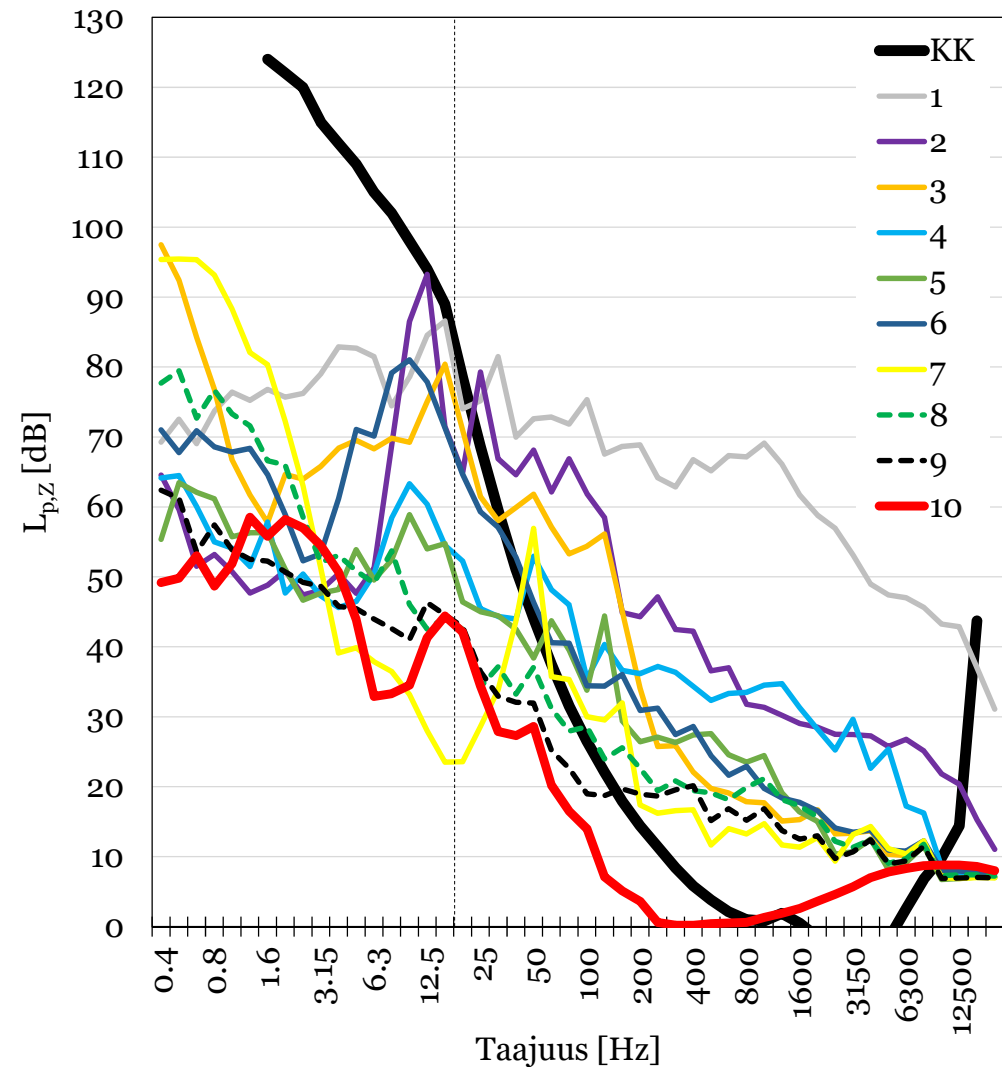
Tulokset ovat linjassa aiempien tutkimusten kanssa.

Mittaukset sisätiloissa

Piste	Ryhmä	Kuvaus
1	A	Oven avaus ja sulkeminen, kolahdusääni mukana.
2	A	Pesukoneen linkous 1000 rpm puutalon puuvälipohjalla. Mittaus alakerran asuinhuoneessa.
3	A	Kävely puutalon puulattialla. Mittaus alapuoleisessa keittiössä.
4	A	Vesikiertoisen lämmityksen ääni pattereista. Mittaus pannuhuoneen viereisessä huoneessa.
5	A	Tieliikenteen ääni puutalon sisällä.
6	A	Kävely puulattialla. Alakerran olohuone.
7	A	Maalämpöpumpun käynti. Mittaus pannuhuoneen viereisessä huoneessa (vrt. 4).
8	A	Taustamelutaso puutalon olohuoneessa.
9	A	Taustamelutaso puutalon keittiössä (vrt. 3).
10	A	Puutalon sisällä yöllä. Tuulivoima-alue 1.7 km päässä. Tuotantoteho 19.3 MW (maksimi 26.4 MW).

- Kuvassa mitatut tasot 1-10 ja kuulokynnystaso KK (alin kuultava taso)
- Sisällä esiintyy runsaasti infraääniä, joiden dB-taso ylittää tuulivoimaloiden aiheuttaman infraäänien tason sisällä
- Tuulivoimaloiden taso (**punainen**) on mitattu 1.5 km päässä puutalon sisällä, kun voimalat käyvät lähes täysteholla

Ryhmä A: Asunnon sisätilat

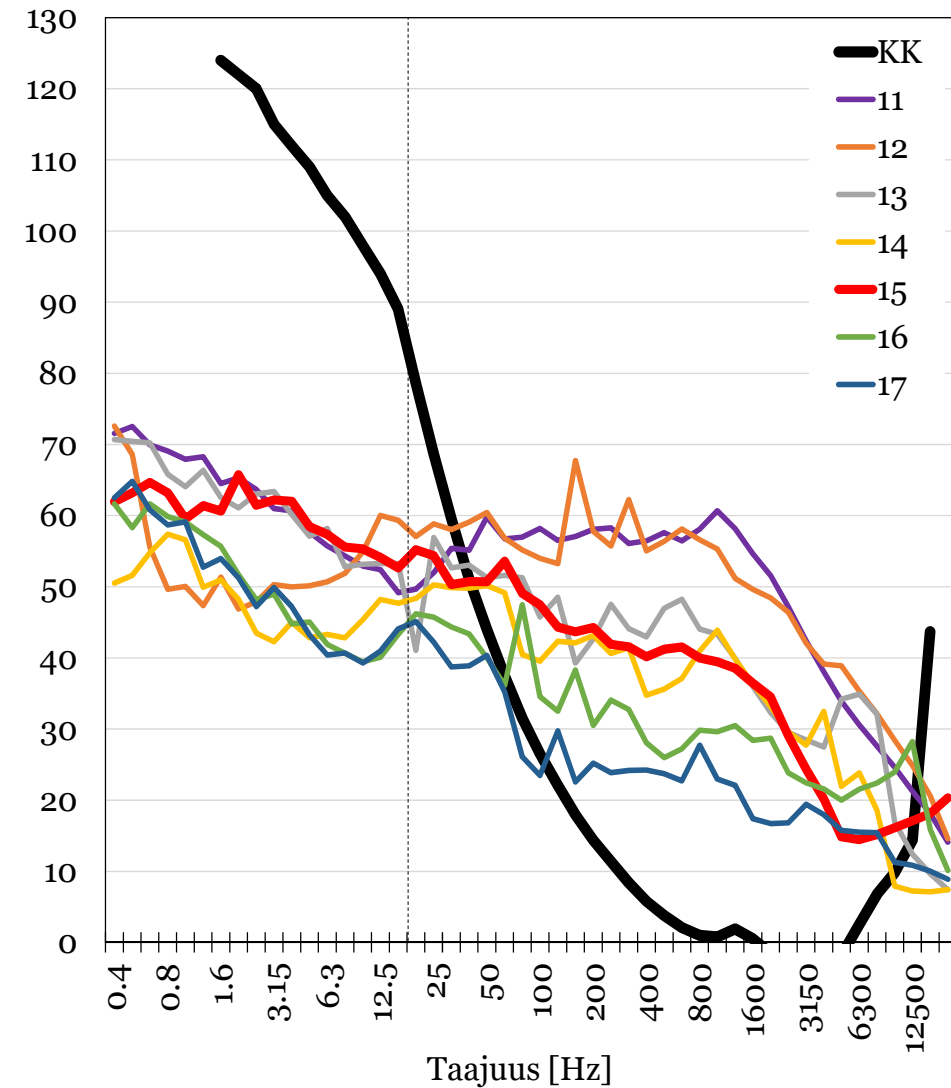


Mittaukset ulkona

11	B	Tieliikenteen ääni vilkkaan kadun varrella.
12	B	Oppilaitoksen poistoilmapuhallin. Mittaus pihamaalla.
13	B	Kerrostalon pihamaa lähiöalueella. Mäntämoottorivoimalaitos (16 MW) 35 m päässä.
14	B	Tieliikenteen ääni asunnon pihamaalla.
15	B	Tuulivoima-alueella 0.4 km tuulivoimalasta. Sähköntuottoteho maksimissa (3.3 MW).
16	B	Lentokoneen ääni asunnon pihamaalla.
17	B	Asunnon pihamaa, hiljainen kaupunginosa.

- Kuvassa mitatut tasot 1-10 ja kuulokynnystaso KK (alin kuultava taso)
- Ulkona esiintyy infraääniä, joiden dB-taso on samaa luokkaa kuin tuulivoimaloiden aiheuttaman infraäänien taso
- Tuulivoimaloiden taso (**punainen**) on mitattu 400 m päässä tuulivoimaloista niiden käydessä täysteholla

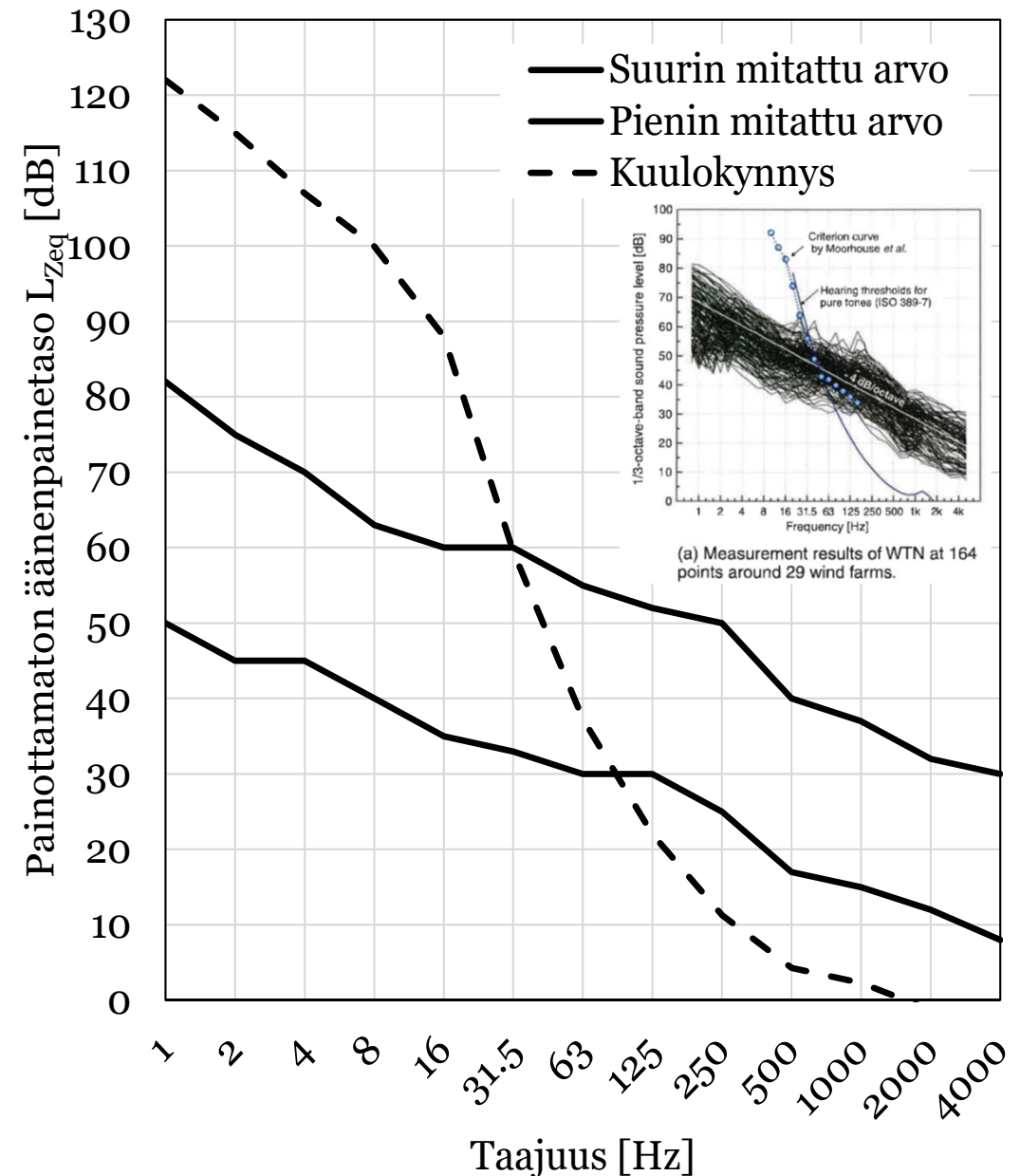
Ryhmä B: Pihamaat ja ulkoalueet



Ulkomainen tieto tuulivoimaloiden infraäänitasoista

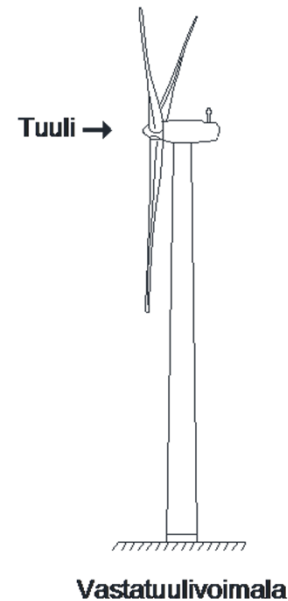
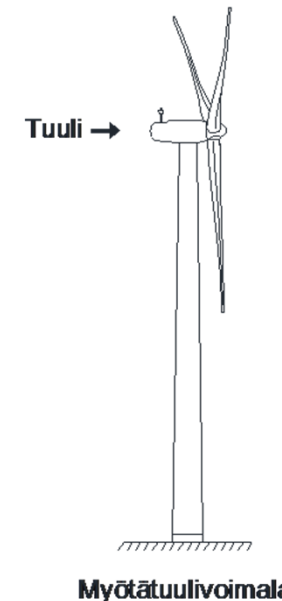
- Kattavin tutkimus tehty Japanissa
 - 29 tuulipuistoa, yht. 164 pistettä
 - 5 päivän mittaus per piste
- Etäisyys voimaloihin 100-1000 m
- Voimalakoko 1-3 MW
- Infraäänten tasot (voimalat + tuuli) jäivät aina alle kuulokynnyksen, kun taajuus alle 31.5 Hz.
- Tuulivoimaloiden ääni kuultavissa vain taajuuden 31.5 Hz yläpuolella.
- Tulos yhteneväinen edellisen sivun suomalaisen tutkimuksen kanssa.

Tachibana et al. 2014. *Noise Con Eng J*



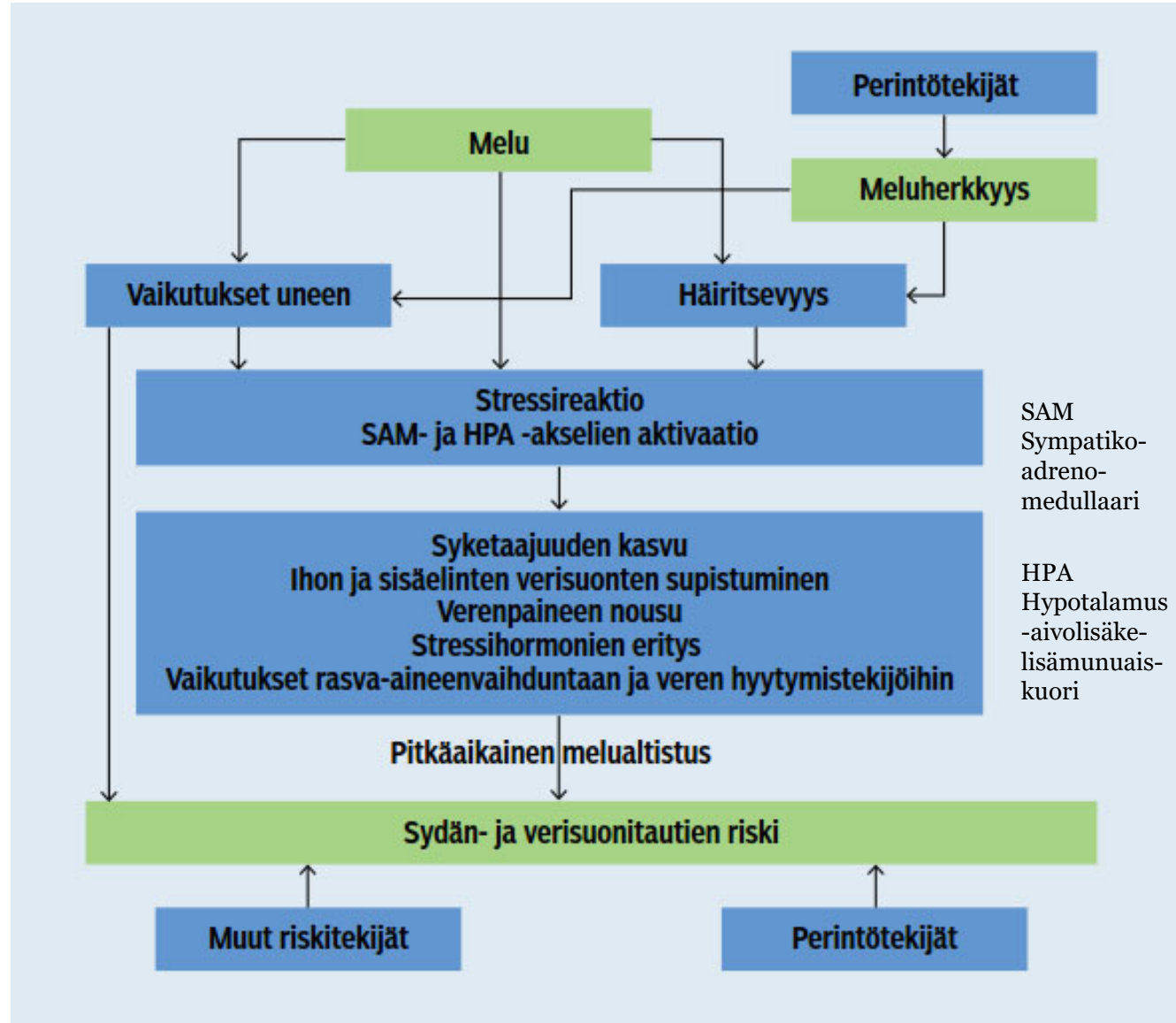
Mistä väittämät tuulivoimaloiden infraäänistä?

- Tutkimus erityyppisten ja eri kokoisten tuulivoimaloiden infraäänistä:
 - *Jacobsen 2005 J Low Freq Noise Vibr Act Con*
 - Kartoitti 18 turbiinityyppiä, 0.05-4.2 MW
- 80-luvulla yleiset myötätuulivoimalat aiheuttivat 10-30 dB voimakkaampia infraäänitasoja kuin saman tehoiset vastavirtavoimalat
- Lähellä suuria myötätuulivoimaloita infraäänit jopa kuultavissa (kuulokynnyksen yläpuolella)
- Myötätuulivoimaloita ei käytetä suomalaisilla alueilla, koska niiden pientaajuinen melu on liian suurta.
- Vastavirtavoimaloiden infraäänitasot ovat selvästi alle kuulokynnyksen tyypillisillä asuntojen etäisyyksillä (yli 300 m) ja tätä kauempana.



Melun fysiologisten vaikutusten ketju

- Lääketieteellisen tutkimuksen perusteella kuultavan äänen haitalliset terveysvaikutukset välittyvät aina kuuloaistin kautta.
- Valveajan terveysvaikutuksia edeltää melun häiritsevyys tai pelästymisrefleksi.
- Unen laadun heikkeneminen melusta tapahtuu tiedostamatta tai tiedostetusti (herääminen).
- Koska kuulokynnystä hiljaisempi infraääni ei aiheuta kuuloaistimusta, ei tässä kuvattuja terveysvaikutuksiakaan todennäköisesti esiinny.
- Ilmääni aiheuttaa aistittavaa kehon värähtelyä mutta normaalikuuloisilla sen aistimiskynnystaso on 30 dB korkeampi kuin kuulokynnystaso – kuuleminen tapahtuu aina ennen värähtelyaistimusta.



KUVA: Heinonen-Guzejev ym. 2012 Suomen Lääkärilehti

Millä joidenkin yksilöiden kokemat oireet tuulivoima-alueilla voisivat selittyä? - Tiedekirjallisuuden kooste

- **Nosebovaikutus:** uskomukset tuulivoimaloiden terveyshaitoista voivat aiheuttaa uusia tai lisätä aiemmin alkaneita oirekokemuksia.
- **Perusteeton aiheuttajaksi lukeminen:** jo ennen tuulivoiman käynnistymistä esiintyneiden oireiden aiheuttajaksi luetaan joskus tuulivoima, vaikka tähän ei ole perusteita (*misattribution*).
- **Huolestuneisuus:** huolestuneisuus ja ahdistuneisuus uudesta ympäristöriskistä voivat lisätä koettujen tai muistettujen oireiden määrää, vaikka tuulivoima ei oireita väestössä aiheuta.
- **Melun häiritsevyys:** jos ääntä kuuluu, ja se koetaan häiritseväksi meluna, voi se lisätä joillakin yksilöillä huolestuneisuutta terveysvaikutuksista mikä taas voi aiheuttaa oirekokemuksia.
- **Persoonallisuustekijät:** eräät niistä ovat yhteydessä oireiden todennäköisyyteen.
- **Median luoma käsitys:** osa tuulivoimaa koskevasta uutisoinnista luo kuvaa, jonka mukaan tuulivoima aiheuttaisi selittämättömiä terveysvaikutuksia - tämä väärä tieto voi lisätä oireita niillä, jotka ovat huolestuneita.
- **Amplitudimodulaatio:** jaksollinen äänitason vaihtelu tekee äänestä erottuvaa. Sykkinen taajuus 0.7 Hz puolestaan sekoitetaan infraäänien taajuuksiin. Infraäänien taas uskotaan olevan terveydelle haitallista. Käsitteiden väärinkäsitys ja tiedon puute voi lisätä oireilua.
- **Ympäristöherkkyys:** koettu viihtyvyyshaitta voi johtaa stressiin ja sitä kautta voimaloiden välttelyyn vaikka todellisena syynä ei olisi voimaloiden infraääni vaan käsitys infraäänien aiheuttamasta terveyshaitasta. Kyseessä on keskushermoston aiheuttama suojamekanismi, jota on vaikea purkaa (vrt. yksilön kokemana homeo-oireilu talossa, jossa suurin osa ei oireile).

Ympäristöherkkyys

- Idiopathic Environmental Intolerance, IEI
- Tuli 2015 Suomen ICD-10-tautiluokitukseen:
 - R68.81: Jatkuva tai toistuva poikkeuksellinen herkkyys ympäristön tavanomaisille tekijöille.
 - LISÄTIETOA: <http://stm.fi/ymparistoherkkyydet>
- Tila, jossa henkilö saa merkittävää toiminnallista haittaa tai elämäntavan rajoittumista aiheuttavia oireita tietyssä työ- tai elinympäristössä, vaikka sama ympäristö ei suurimmalle osalle henkilöistä aiheuta oireita.
- Voi liittyä mihin vain ympäristötekijään:
 - tuoksuyliherkkyys, sähköyliherkkyys, sisäilmayliherkkyys, kemikaaliyliherkkyys, äänyliherkkyys, infraäänyliherkkyys

OIREILU

- Moninaisia ja yleisluonteisia
- Voivat ilmetä esimerkiksi keskittymisvaikeutena, hengenahdistuksena tai vatsakipuna.
 - vrt. tuuliturbiinisyndrooma
- Ei johdu altisteiden suorista fysikaalisista, kemiallisista tai biologisista elinvaikutuksista
- Ei ole varsinaista sairautta, joka selittäisi oireita.
- **Selittyy elimistön puolustusjärjestelmien vasteilla keskushermostossa, tahdosta riippumattomassa hermostossa ja immunologisessa järjestelmässä.**
- Elimistön hälytysjärjestelmät aktivoituneet kroonisen pelon tai huolen vuoksi.

Mekanismi

Sisäilmaan liittyvän ympäristöherkkyyden kehittyminen.

- Ympäristöherkkyys lähtee yleensä liikkeelle viihtyvyyshaitasta.
- Sitä seuraa altistuksen välttäminen (aversio), uhasta aiheutuva keskushermoston aktivoituminen (stressi) ja stressioireet.
- Kyseessä on voimakas ehdollistuminen, jonka purkaminen vaatii uhkamerkityksen vähittäisen poistamisen.
- Prosessi voi vaatia vertaistukea tai terapeutin apua.

