

# ANOJANSI –PROJEKTIN TULOKSET: YMPÄRISTÖMELUN HÄIRITSEVYYS

Valtteri Hongisto, Jenni Radun, Ville Rajala, Henna Maula, Jukka Keränen, Pekka Saari-  
nen, Petra Virjonen, Jarkko Hakala

Turun ammattikorkeakoulu  
Joukahaisenkatu 3  
20520 Turku  
valtteri.hongisto@turkuamk.fi

## Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulun akustiikkaryhmä toteutti vuosina 2016-2019 laajan julkisen tutkimusprojektin ”Anojanssi – Ympäristömelun häiritsevyyden mittaluvut”. Projektin tavoite oli saavuttaa tieteellisesti korkeatasoinen ymmärrys seuraaviin kysymyksiin. A. Miten pientalojen julkisivurakenteet eristävät pienitaajuista ääntä? B. Miten melun erityispiirteistä tulisi sanktioida subjektiivisen häiritsevyyden kannalta? C. Miten äänitaso ja yksilölliset ei-akustiset tekijät selittävät melun häiritsevyyttä asuinympäristöissä eri melulajeilla? D. Mitä vaikutuksia erityyppisillä melulajeilla on ihmiseen? Kysymykseen A vastattiin mittaamalla 26 pientalon ääneneristys. Kysymykseen B vastattiin toteuttamalla 7 psykoakustista laboratoriokeetta, joihin osallistui yli 250 tutkittavaa. Kysymykseen C vastattiin toteuttamalla asukaskysely teiden, murskaamojen ja tuulivoima-alueiden lähellä. Vastajia saatiin yli 2000. Kysymykseen D saatiin vastaus laboratoriokeesta, jossa 102 osallistujalta mitattiin eri melulajien fysiologisia, kognitiivisia ja subjektiivisia vaikutuksia. Artikkelissa esitetään päälöydöksiä kustakin osatutkimuksesta.

## 1 JOHDANTO

Ympäristömelun ohjearvot asuinympäristöissä [1,2,3] pyrkivät siihen, ettei melusta aiheutuisi merkittävää terveys- tai viihtyvyyshaittaa. Asunnon pihamaan ohjearvot huomioivat keskiäänitason, vuorokaudenajan, äänilähdeyytin ja äänen erityispiirteet. Eri-tyispiirteistä tulee antaa sanktio  $k$  (*penalty, adjustment*), joka lisätään mitattuun keskiäänitasoon  $L_{Aeq}$  ennen ohjearvoon vertaamista. Makuuhuoneita koskevat myös pientaajuisen melun toimenpidearvot [2]. Melu voi silti häiritä, vaikka ohjearvot täyttyvät. Keskiäänitaso ei selitä hyvin äänen häiritsevyyttä. Yritykset ja viranomaiset tarvitsivat parempaa tietämystä, miten äänenlaatu ja ei-akustiset tekijät selittäisivät eri melulajien häiritsevyyttä. Projektin tavoite oli saavuttaa tieteellisesti korkeatasoinen ymmärrys neljään tiivistelmän pääkysymykseen. Näihin vastaamiseksi toteutettiin neljä työpakettia.

## 2 TYÖPAKETTI 1 – JULKISIVUN ÄÄNENERISTYS

Ympäristömelu  $L_{Aeq}$  asunnon sisätiloissa ei saisi ylittää 35 dB päiväaikaan ja 30 dB yöaikaan [1]. Tämän lisäksi pientaajuisen melun 20–200 Hz toimenpidearvot eivät saa ylittyä



© 2019 Valtteri Hongisto, Jenni Radun, Ville Rajala, Henna Maula, Jukka Keränen, Pekka Saari-  
nen, Petra Virjonen, Jarkko Hakala. Tämä on avoimesti julkaistu teos,  
joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Ei sovitettu –lisenssiä (CC BY 4.0).  
Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdan-  
naisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

[2].  $L_{Aeq}$  voidaan laskea taajuuksittain pihamaalle mutta asunnon sisäpuolisen  $L_{Aeq}$ :n laskea vaatisi tietoa julkisivun ilmaääneneristävyydestä  $R$ . Koska  $R$  vaihtelee talokohtaisesti, on laskelmissa käytetty estimaattia siitä, mikä  $R$  vähintään yleensä on. Tämä tieto on otettu tanskalaisesta tutkimuksesta [4]. Suomalaisista julkisivuista ei ole vastaavaa tutkimusta. Lisäksi kansainvälisesti tieto puuttuu rakenteiden eristyskyvystä lähes kokonaan taajuuksien 20 Hz alapuolelta. Tavoitteena oli selvittää, miten pientalojen julkisivurakenteet eristävät pientaajuuksista ääntä.

Rakennettiin 2 ihmisen kannateltavissa oleva infraäänikaiutin. Valittiin 13 pientaloa ja 26 julkisivurakennetta niin, että edustettuina oli kevyitä, raskaita, uusia ja vanhoja julkisivurakenteita. Mitattiin ilmaääneneristävyys standardin ISO 16283-3:2016 mukaan alueella 50–5000 Hz ja äänitasoero 5–200 Hz. Tuloksista johdettiin 84 % persentiili, joka kertoo arvon, joka ylittyi 84 % mitatuista suomalaisista pientaloista.

Äänitasoeron 84 % persentiili, eli  $DL_{\sigma}$ , on esitetty taulukossa 1. Yksityiskohtainen tutkimus [5] sisältää myös taajuusalueen 50–5000 Hz tulokset. Tuloksia voidaan hyödyntää arvioitaessa ympäristömelun äänenpainetaso asunnon sisätiloissa, kun taso tunnetaan pihamaalla taajuuksilla 5–200 Hz. Ympäristömelun äänenpainetaso sisällä saadaan vähentämällä  $DL_{\sigma}$  rakennuksen julkisivulla vallitsevasta ympäristömelun taajuuskaistoittaisista tasoista ilman julkisivun aiheuttamaa heijastusta. Saatava äänenpainetaso on yläarvio, sillä 84 % mitatuista julkisivuilla äänitasoero oli suurempi kuin  $DL_{\sigma}$ . Tuloksilla voidaan Suomessa korvata tähän asti käytetyt tanskalaiset arvot [4].

**Taulukko 1.** Suomalaisen pientalon julkisivun äänitasoeron alalikiarvo.

$f$ [Hz]	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
$DL_{\sigma}$ [dB]	5.5	5.7	5.9	6.2	6.6	7.1	7.6	8.3	9.2	10.3	11.5	13.0	14.8	16.8	18.8	21.1	22.8

### 3 TYÖPAKETTI 2 – PSYKOAKUSTISET LABORATORIOKOKKEET

Työpaketin tavoitteena oli selvittää, miten melun erityispiirteistä tulisi sanktoida, jotta se vastaisi subjektiivista häiritsevyyden kokemusta. Projektissa toteutettiin 7 psykoakustista koetta. Koe 1 käsitteli kapeakaistaisuutta, koe 2 amplitudimodulaatiota, kokeet 3 ja 4 tiemelun spektriä, koe 5 kapeakaistaisuutta yhdistettynä erilaisiin spektreihin ja koe 6 impulssimaisuutta. Koe 7 sisälsi ääniä kaikista erityispiirretyypeistä, jolloin kunkin erityispiirteen sanktiointitarpeita voidaan verrata keskenään. Tässä käsitellään kokeet 1, 2 ja 6, koska niistä on julkaisuja ja kyseiset erityispiirteet ovat keskeisimpiä.

#### 3.1 Kapeakaistamelu

Suomalainen melulainsäädäntö [1,2,3,6] sisältää vakiosanktioita 3, 5 ja 6 dB kapeakaistamelulle. Kapeakaistamelu (tonaalinen tai ääneksiä sisältävä melu) tarkoittaa, että äänessä on selvästi erottuva yksittäinen tai useampi taajuus. Standardin ISO 1996-2:2007 mukaan sanktio riippuisi ääneksen taajuudesta  $f_T$  ja ääneksen erotettavuudesta  $A_T$  (spektriin korkeudesta), jolloin vakiosanktio ei olisi perusteltu. Standardi esittää suoraviivaisen ja toimivan menetelmän kapeakaistaisuuden mittaamiseksi FFT-spektristä. Sen sijaan standardin sanktiomallin tieteelliset perusteet ovat löyhät: kirjallisuudessa ei ole tutkimuksia siitä, mistä tekijöistä kapeakaistamelun sanktio riippuu etenkin hiljaisilla äänitasoilla (alle 50 dB  $L_{Aeq}$ ). Tämä on sanktioinnin kannalta olennaisin, koska korjatut arvot voivat vaikuttaa tulosten tulkintaan. Tavoitteena oli määrittää, miten  $f_T$  ja  $A_T$  vaikuttavat

kapeakaistamelun sanktioon, kun  $L_{Aeq}$  on 25 dB tai 35 dB.

Sanktion riippuvuus eri  $f_T$  ja  $A_T$  arvoista on esitetty kuvassa 1a. Sanktio oli korkeimmillaan jopa 12 dB. Tämä tapahtui suurilla  $f_T$ -arvoilla. Vakiosanktiointia on vaikea perustella. Esimerkiksi pienillä  $f_T$ -arvoilla sanktiota ei havaittu, vaikka  $A_T$  oli suuri. Yksityiskohtaista tietoa antavat viitteet [7, 8].

### 3.2 Amplitudimoduloitu melu

Tuulivoimalamelu on usein amplitudimoduloitua (AM). AM tarkoittaa, että äänessä on jaksollista voimakkuuden vaihtelua, jolloin äänen havaitseminen helpottuu ja tämä voi lisätä häiritsevyyttä. AM äänellä tärkeimmät ominaisuudet ovat modulaatiotaajuus  $f_m$  (vaihtelun nopeus) ja modulaatiosyvyys  $D_m$  (vaihtelun voimakkuus). Tuulivoimalamelun asetusta [3] valmisteltaessa keskusteltiin, tulisiko AM:sta asettaa sanktio mutta asetukseen ei tullut tästä mainintaa. Sama tilanne on muissa maissa. Sanktiota on vaikea perustella tieteellisen näytön vähyyden vuoksi. Tavoitteena oli määrittää, miten  $f_m$  ja  $D_m$  vaikuttavat AM:n äänen sanktioon, kun  $L_{Aeq}$  on 35 dB.

Sanktion riippuvuus eri  $f_m$  ja  $D_m$  arvoista on esitetty kuvassa 1b. Sanktio oli korkeimmillaan 12 dB. Vakiosanktiointia on vaikea perustella, koska alhaisilla  $f_m$  arvoilla sanktiota ei havaittu, vaikka  $D_m$  oli suuri. Tuloksista voidaan myös arvioida tuulivoimalamelun sanktio, kun  $f_m$  ja  $D_m$  tunnetaan. Yksityiskohtaista tietoa antaa viite [9].

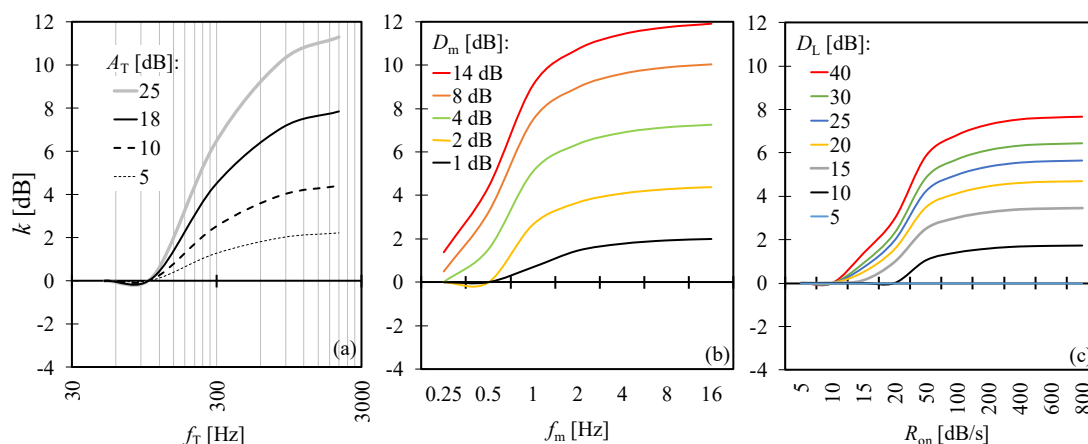
### 3.3 Impulssimelu

Suomalainen melulainsäädäntö [1,2,3,6] sisältää vakiosanktioita 3, 5 ja 10 dB impulssimelulle. ISO 1996-1:2016 mukaan sanktio on 5 tai 12 dB. Arvot perustuvat laajoihin ampumamelun tutkimuksiin 80- ja 90-luvuilta [10]. Nordtest [11] esittää toimivan menetelmän impulssimaisuuden mittaamiseksi äänisignaalista. Impulssilla on kaksi ominaisuutta: nousunopeus (*onset rate*)  $R_{on}$  [dB/s] ja tasoero (*level difference*)  $D_L$  [dB]. Edellinen kuvaa impulssin terävyyttä ja jälkimmäinen sen voimakkuutta. Impulssi rekisteröidään, kun nousunopeus ylittää 10 dB/s. Tämän kriteerin voi täyttää mm. ohiajava auto tai tuulivoimalan AM ääni. Jostain syystä tasoerolle ei ole kriteeriä. Nordtest esittää myös sanktion arviointimallin: sanktio riippuu  $R_{on}$  ja  $D_L$  arvoista. Sanktiomallin tieteelliset perusteet ovat löyhät. Tavoitteena oli määrittää, miten  $R_{on}$  ja  $D_L$  vaikuttavat impulssimelun sanktioon, kun  $L_{Aeq}$  on 55 dB ja verrata havaintoja Nordtest-mallin ennustamaan sanktioon.

Sanktion riippuvuus eri  $R_{on}$  ja  $D_L$  arvoista on esitetty kuvassa 1c. Sanktio oli korkeimmillaan 8 dB. Vakiosanktiointia on vaikea perustella. Nordtestin malli antoi suurempia sanktioarvoja kuin tuloksemme, kun  $R_{on} \geq 200$  dB/s. Yksityiskohtaista tietoa antaa viite [12].

### 3.4 Työpakettin 2 johtopäätökset

Työpaketissa tehdyt kokeet ovat kansainvälisesti ottaen ainutlaatuisia ja uraa uurtavia: aiemmin ei ole tehty lainsäädäntöä näin suoraan hyödyttäviä psykoakustisia kokeita. Tuloksia voidaan hyödyntää mahdollisten sanktiomenettelyjen kehittämisessä tulevaisuudessa, meluntorjunnassa sekä myös tuotekehityksessä. Tuloksilla pyritään vaikuttamaan standardisointiin. Tätä kautta on mahdollista, että tulokset vaikuttavat joskus mittausmenetelmiin ja lainsäädäntöön. Tuloksia voidaan soveltaa oikeuskäsittelyissä, joissa on arvioitava melun erityispiirteistä aiheutuvaa häiriötä ohjearvoja yksityiskohtaisemmin.



**Kuva 1.** (a) Kapeakaistamelun sanktion riippuvuus ääneksen taajuudesta  $f_T$  ja ääneksen erottuvuudesta  $A_T$ . (b) Amplitudimoduloidun äänen sanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta  $f_m$  ja modulaatiosyvyydestä  $D_m$ . (c) Impulssimelun sanktion riippuvuus nousunopeudesta  $R_{on}$  ja tasoerosta  $D_L$ . Käyrät perustuvat sovituskäyriin, joilla psykoakustisissa kokeissa 1, 2 ja 6 saadut sanktioarvot voitiin ennustaa  $\pm 2$  dB tarkkuudella.

## 4 TYÖPAKETTI 3 – ÄÄNIYMPÄRISTÖ ASUINYMPÄRISTÖISSÄ

Tavoitteena oli selvittää, miten äänitaso ja yksilölliset ei-akustiset tekijät selittävät melun häiritsevyyttä asuinympäristöissä eri ympäristömelun lajeilla. Tutkimuksessa pyrittiin saamaan vähintään 200 vastaajaa kutakin äänilajia kohti. Tähän päästiin 3 melulajin kohdalla. Erityisintressinä oli määrittää kunkin äänilajin *annosvastesuhde* käyttäen samantyyppistä melun häiritsevyyden kysymystä. Annosvastesuhde kertoo, kuinka suuri osa väestöstä kokee melun erittäin häiritsevänä eri  $L_{Aeq}$  arvoilla.

1	2	3	4	5
Ääni ei kuulu	Kuuluu muttei häiritse	Häiritsee jonkin verran	Häiritsee melko paljon	Häiritsee erittäin paljon

**Kuva 2.** Melun häiritsevyyttä sisällä koskevan kysymyksen vastausasteikko. Vastaukset sijoitettiin jatkuvalla 4-portaiselle asteikolle 0–100 % niin, että vastaukset 1 ja 2 saivat arvon 12.5, vastaus 3 arvon 37.5, vastaus 4 arvon 62.5 ja vastaus 5 arvon 87.5. Tähän sovitettiin polynomifunktio. Melun erittäin häiritsevänä kokeneiden osuus (%HA) laskettiin siitä, kuinka suuri osa vastaajista sijoittui polynomimallissa rajan 72 % yläpuolelle.

### 4.1 Tieliikennemelu

Yhteensä 3077 taloutta 18 eri asuinalueelta kutsuttiin tutkimukseen. Mukana oli asukkaita pientaloista ja kerrostaloista sekä moottoriteiden, keskinopeiden teiden ja kaupunkiteiden varsilta. Kyselyyn vastasi 834 asukasta (vastausaste 27 %). Tieliikennemelu pihamaalla mallinnettiin liittämällä rakennusten julkisivujen korkeimmat  $L_{Aeq}$  arvot kyselyvastauksiin. Melun häiritsevyyttä sisätiloissa mitattiin kysymyksellä ”*Kuinka häiritsevinä koet tieliikenteen äänet sisällä kotonasi?*” Vastausasteikko sekä melun erittäin häiritsevänä kokeneiden osuuden (%HA, *percentage of highly annoyed*) laskentamenetelmä on esitetty kuvassa 2.

Tieliikennemelun annosvastesuhde on kuvassa 3. %HA käyrä lähtee nousemaan vasta,

kun  $L_{Aeq}$  pihalla ylittää 60 dB. %HA ei ylitä 15:ttä %, vaikka  $L_{Aeq}$  pihalla ylittää 70 dB. Vyöhykkeellä 70–75 dB tulokseen liittyy epävarmuuksia, koska vastaajia oli vain 12. Kaikkien kyselymuuttujien perusteella tehdyn logistisen regressioanalyysin perusteella tiemelun häiritsevyys sisällä oli todennäköisempää, jos henkilö oli huolestunut tiemelun terveysvaikutuksista, tieliikennemelun äänitaso oli korkeampi, jos henkilö kärsii yleisesti univaikeuksista, henkilö asui pientalossa eikä kerrostalossa, henkilö oli huolestunut yleensä tieliikenteen terveysvaikutuksista tai henkilö ei luottanut viranomaisiin. Lisätietoja antaa viite [13].

#### 4.2 Murskaamomelu

Yhteensä 683 taloutta 5 toiminnassa olevan kivimurskaamon läheltä (alle 2 km) kutsuttiin tutkimukseen. Kyselyyn vastasi 197 asukasta (vastausaste 29 %). Kunkin murskaamon äänitehotaso määritettiin toiminnan aikana mittauksin.  $L_{Aeq}$  pihamaalla määritettiin mallintamalla. Rakennusten julkisivujen korkeimmat  $L_{Aeq}$  arvot liitettiin kyselyvastauksiin. Murskaamomelun häiritsevyyttä sisätiloissa mitattiin kysymyksellä ”*Kuinka häiritsevinä koet kivimurskaamon äänet sisällä kotonasi?*” Vastausasteikko on esitetty kuvassa 2.

Murskaamomelun annosvastesuhde on kuvassa 3. %HA käyrä lähtee nousemaan, kun  $L_{Aeq}$  pihalla ylittää 40 dB. %HA pysyy 15 % alapuolella, kun  $L_{Aeq}$  pihamaalla on ohjearvon 55 dB tuntumassa. Vyöhykkeellä 50–55 dB tulokseen liittyy epävarmuuksia, koska vastaajia oli vain 14. Lisätietoja antaa viite [14].

#### 4.3 Tuulivoimalamelu 1

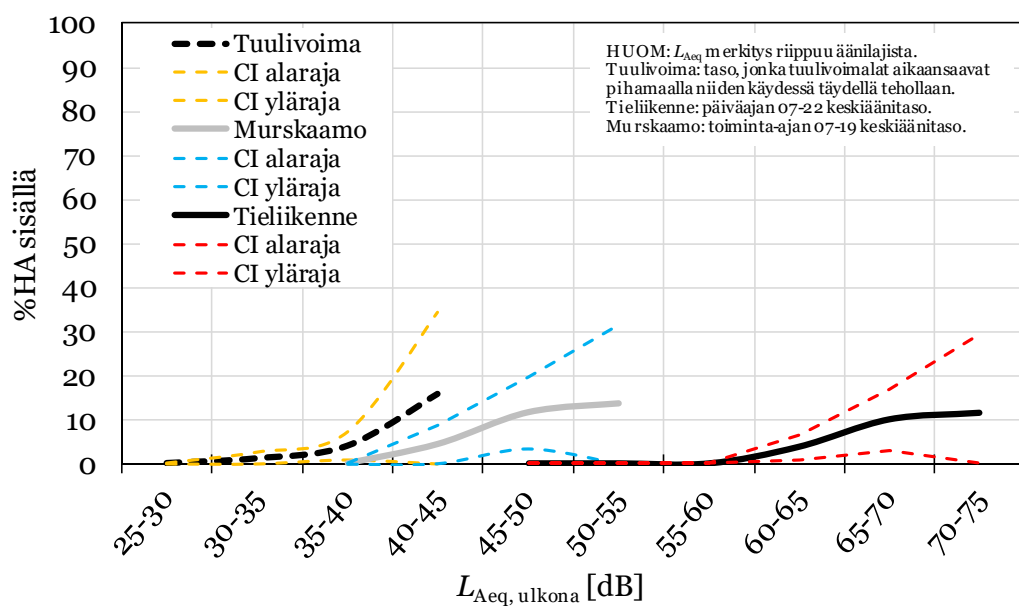
Tutkimuksen tavoitteena on määrittää tuulivoimalamelun annosvastesuhde sekä sen häiritsevyyteen liittyviä ei-akustisia tekijöitä. Yhteensä 753 taloutta kolmen toiminnassa olevan tuulivoima-alueen läheltä (alle 2 km) kutsuttiin tutkimukseen. Kysymykseen melun häiritsevyydestä vastasi 400 asukasta (vastausaste 57 %). Tuulivoimaloiden äänitehotaso määritettiin kullekin voimalatyypille erikseen.  $L_{Aeq}$  pihamaalla määritettiin mallintamalla. Rakennusten julkisivujen korkeimmat äänitasot liitettiin kyselyvastauksiin. Tuulivoimalamelun häiritsevyyttä sisätiloissa mitattiin kysymyksellä ”*Kuinka häiritsevinä koet tuulivoimaloiden äänet sisällä kotonasi?*” Vastausasteikko on esitetty kuvassa 2.

Tuulivoimalamelun annosvastesuhde on kuvassa 3. %HA käyrä lähtee nousemaan, kun  $L_{Aeq}$  pihalla ylittää 35 dB. %HA saavuttaa arvon 15 %, kun  $L_{Aeq}$  pihamaalla ylittää 40 dB. Vyöhykkeellä 40–45 dB tulokseen liittyy epävarmuuksia, koska vastaajia oli vain 15. Kyselymuuttujien perusteella tehdyn logistisen regressioanalyysin perusteella tuulivoimalamelu sisällä koettiin todennäköisemmin häiritseväksi, jos henkilö oli huolestunut tuulivoimalamelun terveysvaikutuksista, henkilö asui Peittoossa eikä Olhavassa tai Märynummella, henkilön meluherkkyys oli suurempi, henkilö oli nainen tai asenne tuulienergiaa kohtaan oli negatiivinen. Lisätietoja antavat viitteet [15,16].

#### 4.4 Tuulivoimalamelu 2

Tuulivoiman läheisyyden on väitetty vaikuttavan negatiivisesti terveyteen. Aihetta on tutkittu Suomessa kerran [17], eikä siinä havaittu yhteyttä tuulivoiman läheisyyden ja terveysoireiden välillä. Tutkimuksessa oli alle 2.5 km säteellä tuulivoimaloista vain 378 vastaajaa eikä kyseisen vyöhykkeen sisällä tehty analyysiä äänialistutusvyöhykkeittäin. Tavoitteena oli selvittää, onko tuulivoimaloiden äänitasolla yhteyttä häiritsevyyteen, terveyteen ja hyvinvointiin. Toteutimme ympäristöepidemiologisen kyselytutkimuksen

kolmen tuulivoima-alueen lähellä asuvien parissa (900–2700 m). Kontrolliryhmä sijaitsi yli 8 km päässä mistään tuulivoimalasta. Kysely lähetettiin 3051 asukkaalle. Vastauksia saatiin kontrolliryhmästä 118 ja tuulivoimaloiden läheltä 558. Vastausaste oli 22.2 %. Äänitaso mallinnettiin pihamaalle käyttäen valmistajan ilmoittamia äänitehotasoja, jotka oli varmistettu emissiomittauksin. Rakennusten julkisivujen korkeimmat äänitasot liitettiin kyselyvastauksiin. Kysely oli 10-sivuinen ja se kartoitti hyvin laajasti asukkaan terveydentilaa, elintapoja, elämänlaatua (WHO-QOL BREF), terveysoireita ja eri melulajeista koettua häiritsevyyttä ja unen häiriintymistä. Kyselyn tarkoitus oli peitetty asuin- ympäristökyselyksi eikä siitä voinut päätellä, että se koskee nimenomaan tuulivoimaa. Vastajat tuulivoima-alueelta jaettiin 3 tuulivoimaryhmään: <25 dB (N=151), 25-30 dB (N=321) ja 30-36 dB (N=86). Tuloksia ei ole vielä julkaistu.



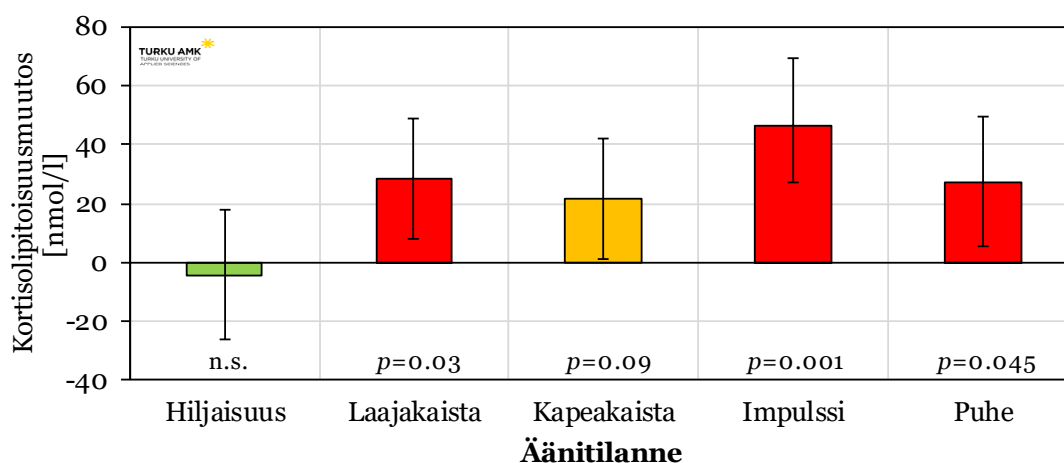
**Kuva 3.** Eri äänilajien annosvastesuhteet sekä näiden 95 % luottamusvälit (CI-katkoviivat). Vaaka-akselilla esitetään keskiäänitaso rakennuksen äänekkäimmällä sivulla ja pystyakselilla melusta erittäin paljon häiritsevyyttä raportoivien osuus. Mitä suurempi arvo on, sitä suurempaa osuutta vastanneista kyseinen äänitaso häiritsi erittäin paljon.

**Työpaketin 3 johtopäätökset.** Eri äänilajien annosvastesuhteet jouduttiin määrittämään eri äänitasovyöhykkeillä, koska lainsäädäntö on vaikuttanut siihen, minkälaisille äänitasoille ylipäättään saa altistua. Tästä johtuen tuulivoimalamelusta ei ole tutkimustietoa 45 dB:n yläpuolelta ja murskaamoista 55 dB:n yläpuolelta. Erittäin häiritseväksi melun kokevien osuus sisällä alkoi poiketa nolasta tuulivoimalamelun tapauksessa, kun  $L_{Aeq}$  ylitti 35 dB. Murskaamomelun tapauksessa poikkeaminen alkoi 40 dB:stä ja tieliikennemelun tapauksessa vasta 60 dB:stä. Työpaketin 2 psykoakustisten kokeiden perusteella uskaltava väittää, että näin suuret erot eivät selity pelkästään äänen psykoakustisista ominaisuuksista vaan häiritsevyyteen voisivat vaikuttaa myös ei-akustiset tekijät. Tulokset aikaansaatiin samanlaisella kysymyksellä ja vastausasteikolla, joten tulosten pitäisi olla äänilajien osalta vertailukelpoisia. 11-portaisella vastausasteikolla %HA-arvot olivat murskaamo- ja tieliikennemelulla selvästi suurempia kuin kuvassa 3 [13,14]. Eri tutkimusten annosvastesuhteita ei kannata ehkä vertailla vakavasti, jos niissä on käytetty eri vastausasteikkoja.

## 5 TYÖPAKETTI 4 – MELUN VAIKUTUKSET

Tavoitteena oli selvittää, mitä vaikutuksia erityyppisillä melulajeilla on ihmiseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin melun vaikutuksia fysiologisiin ja psykologisiin vasteisiin ja suoriutumiseen. Erityisesti oltiin kiinnostuneita akuuteista fysiologisista stressihormonivasteista, joiden tuloksia esitetään tässä. Laboratoriokokeeseen rekrytoitiin viisi noin 20 tutkittavan ryhmää, yhteensä 102 tutkittavaa. Kukin ryhmä altistettiin erilaisille äänitilanteille. Äänitilanteet olivat hiljaisuus (laajakaistaääni 35 dB  $L_{Aeq}$ ), laajakaistaääni (65 dB), kapeakaistaääni (65 dB), impulssiääni (65 dB) sekä puheääni (65 dB). Koko koe kesti keskimäärin 3 h 20 min. Koska kortisolipitoisuus laskee voimakkaasti aamupäivällä, koe toteutettiin iltapäivisin aina samaan aikaan. Tutkittavilta mitattiin veriplasman kortisolipitoisuus kuusi kertaa kokeen aikana. Äänialtistuksen aikana tehtiin erilaisia työmuistitehtäviä ja se kesti 50 min. Yksilöiden välisen vaihtelun takia tarkasteltiin kortisolipitoisuuden muutosta äänitilanteessa suhteessa lepotilanteeseen. Näin saatua kortisolipitoisuuden muutosta verrattiin muilla ääniryhmillä hiljaisuusryhmän arvoihin.

Kortisolitason muutos lepotilanteeseen nähden on esitetty kuvassa 4. Odotusten mukaan hiljaisuudessa kortisolitaso ei muuttunut merkitsevästi lepotilanteeseen nähden. Koska tämä vastaa tilannetta ilman mitään äänialtistusta (hiljaisuus), muiden äänitilanteiden muutoksia voidaan verrata siihen. Kortisolipitoisuus oli merkitsevästi suurempi äänitilanteissa laajakaistamelu, impulssimelu ja puhemelun kuin hiljaisuudessa. Kapeakaistamelun kohdalla ero hiljaisuuteen oli lähes merkitsevä. Tutkimus on ainutlaatuinen, koska se sisälsi useita äänilajeja kattaen kaikki tärkeimmät melun erityispiirteet. Lähes kaikilla äänillä voitiin havaita akuutteja fysiologisia stressivaikutuksia. Tulokset vaikuttavat merkittävästi käsityksemme melun vaikutuksista ihmiseen. Lisätietoja antaa viite [18].



**Kuva 4.** Pylväät kertovat kortisolipitoisuuden muutoksen lepotilanteeseen nähden eri äänitilanteissa. Viikset kertovat muutoksen 95 % luottamusvälin kaikkien tutkittavien osalta. Muutos lepotilanteeseen nähden oli tilastollisesti merkitsevä, jos  $p < 0.05$ .

## KIITOKSET

Anojanssi-projektia rahoittivat Business Finland, Turun ammattikorkeakoulu, Ympäristöministeriö, Sosiaali- ja terveysministeriö sekä yhteistyöyritykset.

## Viitteet

- [1] Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista, 29.10.1992, Helsinki.
- [2] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545-2015 asunnon ja muun oleskelutilan olosuhteista. 23.4.2015, Helsinki.
- [3] Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista.
- [4] Danish Ministry of the Environment (2011). Order No. 1284, Copenhagen, Denmark.
- [5] Keränen, J., Hongisto, V., Hakala, J. (2019). The sound insulation of façades at frequencies 5–5000 Hz. *Build. Environ.* 156 12–20.
- [6] Ympäristöministeriön asetus 796-2017 rakennuksen ääniympäristöstä
- [7] Oliva, D., Hongisto, V., Haapakangas, A. (2017). Annoyance of low-level tonal sounds - factors affecting the penalty, *Build. Environ.* 123 404–414.
- [8] Hongisto, V., Saarinen, P., Oliva, D. (2019). Annoyance of low-level tonal sounds – A penalty model. *Appl. Acoust.* 145 358–361.
- [9] Hongisto, V., Virjonen, P. (2019). Annoyance penalty of amplitude-modulated sound. Paper 976. *Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, Aachen, Germany.*
- [10] Rice, C. G. (1996). Human response effects of impulse noise. *J. Sound Vib.* 190(3) 525–543.
- [11] Nordtest (2002). NT ACOU 112:2002 – Acoustics – Prominence of impulsive sounds and for adjustment of LAeq. Approved 2002-05, Taastrup, Denmark.
- [12] Rajala, V., Hongisto, V. (2019). Annoyance of impulsive sounds – a psychoacoustic experiment involving synthetic sounds. Paper 530. *Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, 9-13 Sep, Aachen, Germany.*
- [13] Maula, H., Hongisto, V., Saarinen, P. (2019). Tieliikennemelun häiritsevyys elinympäristöissä eri äänitasoilla. *Akustiikkapäivät 2019. 28-29.10, Oulu, Akustinen Seura ry.*
- [14] Maula, H., Hongisto, V., Keränen, J., Saarinen, P. (2019). Murskaamomelun häiritsevyys elinympäristöissä. *Akustiikkapäivät 2019. 28-29.10, Oulu, Akustinen Seura ry.*
- [15] Hongisto, V., Keränen, J., Oliva, D. (2017). Indoor noise annoyance due to 3–5 MW wind turbines. An exposure-response relationship. *J. Acoust. Soc. Am.* 142 2185–2196.
- [16] Radun, J., Hongisto, V., & Suokas, M. (2019). Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance. *Build. Environ.* 150 339–348.
- [17] Turunen, A., Tiittanen, P., Lanki, T. (2016). Meluhaittojen kokeminen ja oireilu yhdeksällä tuulivoima-alueella Suomessa. *Ympäristö- ja Terveys-lehti* 5 76-81.
- [18] Radun, J., et al. (2019). Eri tyyppisten äänten fysiologiset, psykologiset ja suoriutumisvaikutukset. *Akustiikkapäivät 2019. 28-29.10, Oulu, Akustinen Seura ry.*