

# Miksi ympäristömelu häiritsee?

Anojanssi-projektin loppuraportti



Valtteri Hongisto, Jenni Radun, Ville Rajala, Henna Maula,  
Jukka Keränen & Pekka Saarinen

# Miksi ympäristömelu häiritsee?

Anojanssi-projektin loppuraportti

Kirjoittajat:

Valtteri Hongisto, tutkimusryhmän vetäjä, TkT, dosentti, Turun ammattikorkeakoulu

Jenni Radun, erikoistutkija, PsT, Turun ammattikorkeakoulu

Ville Rajala, tutkija, DI, Turun ammattikorkeakoulu

Henna Maula, erikoistutkija, TkT, Turun ammattikorkeakoulu

Jukka Keränen, erikoistutkija, TkT, Turun ammattikorkeakoulu

Pekka Saarinen, tutkija, FT, Turun ammattikorkeakoulu

### **Turun ammattikorkeakoulun raportteja 265**

Turun ammattikorkeakoulu

Turku 2020

Kansikuva: Shutterstock.

ISBN 978-952-216-760-6 (pdf)

ISSN 1459-7764 (elektroninen)

**Jakelu:** <http://loki.turkuamk.fi>

# Sisältö

<b>Tiivistelmä</b> .....	<b>4</b>
<b>Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Tausta ja tavoitteet</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Tulokset</b> .....	<b>8</b>
2.1 Päätulokset ja keskeiset läpimurrot	8
2.2 Julkaisut	9
2.3 Verkostoituminen ja vaikuttavuus	10
2.4 Rinnakkaisprojektissa aikaansaadut julkiset tuotokset	10
2.5 Muut projektiin liittyvät tuotokset	11
2.6 Aineistot	12
2.7 Ohjausryhmän workshopit	12
<b>3 Tulostiivistelmät osatutkimuksittain</b> .....	<b>13</b>
3.1 Pientalojen julkisivun ääneneristävyys	13
3.2 Kapeakaistaisen äänen häiritsevyys	14
3.3 Amplitudimoduloidun äänen häiritsevyys	16
3.4 Impulssimaisen äänen häiritsevyys	17
3.5 Tielikennemelun häiritsevyys eri äänitasoilla ja spektreillä	19
3.6 Kapeakaistaisuuden ja spektrin yhteisvaikutus häiritsevyyteen	20
3.7 Erityyppisten äänten häiritsevyys	21
3.8 Tuulivoimalamelun häiritsevyys asuinympäristöissä	22
3.9 Tielikennemelun häiritsevyys asuinympäristöissä	24
3.10 Murskaamomelun häiritsevyys asuinympäristöissä	27
3.11 Polttovoimalaitoksen melun häiritsevyys asuinympäristöissä	28
3.12 Asumisterveys tuulivoima-alueen läheisyydessä	28
3.13 Melun aiheuttama stressi	29
<b>4 Jatkotutkimustarpeet</b> .....	<b>33</b>
<b>Liitteet</b> .....	<b>34</b>
Liite 1. Projektin tuottama kirjallisuus	34
Liite 2. Tutkimuksen johto ja toteuttajat	41
Liite 3. Muu kirjallisuus	44

# Tiivistelmä

Valtteri Hongisto, Jenni Radun, Ville Rajala, Henna Maula, Jukka Keränen & Pekka Saarinen: Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti

**VIITE:** Hongisto, V., Radun, J., Rajala, V., Maula, H., Keränen, J. & Saarinen, P. (2020). Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti. 45 s. Turun ammattikorkeakoulu, Turku. ISBN 978-952-216-760-6 (pdf).

---

**TAUSTA.** Ympäristömelun äänekkyyttä arvioidaan ensisijaisesti A-äänitason,  $L_A$  [dB], avulla. Jos melussa on erityispiirteitä, kuten kapeakaistaisuutta tai impulssimaisuutta, lisätään sanktio eli korjaus  $k$  [dB]. Näiden summan,  $L_A+k$  [dB], arvioidaan selittävän äänen häiritsevyyttä paremmin kuin pelkän äänitason  $L_A$ . Tavanomaista melua koskevassa lainsäädännössä  $k$  ja standardeissa vaihtelee 0 ja 10 dB:n välillä. Tieteellistä näyttöä lainsäädännön eri  $k$ -arvoille on erittäin vähän. Häiritsevyyteen voivat olla voimakkaasti yhteydessä erilaiset yksilölliset ei-akustiset tekijät, kuten huolestuneisuus äänen terveysvaikutuksista, asenteet äänen tuottajaa kohtaan, äänilähteen näkyminen ja meluherkkyys. Erityispiirteiden fysiologisia vaikutuksia ihmiseen ei myöskään tunneta. Lisäksi julkisivurakenteilla on erilainen ääneneristävyys taajuusriippuvuus.

**TAVOITTEET.** (A) Miten pientalojen julkisivurakenteet eristävät 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) Onko tuulivoimaloiden läheisyys yhteydessä terveydentilaan tai hyvinvointiin? (E) Mitä fysiologisia vaikutuksia erityyppisillä äänilajeilla on ihmiseen?

**MENETELMÄT.** Tutkimus käsitti (A) julkisivun äänieristysmittauksia (26 julkisivua), (B) 7 psykoakustista koetta (360 tutkittavaa), (C–D) viisi kyselytutkimusta elinympäristöissä murskaamojen tieliikenteen, tuulivoimaloiden ja polttovoimaloiden läheisyydessä (2 200 vastaajaa) ja (E) lääketieteellisen laboratorion (102 tutkittavaa). Tutkimukset toteutti Turun ammattikorkeakoulu vuosina 2016–2019. Ryhmään kuului akustiikan ja psykologian tutkijoita.

**TULOKSET.** Projekti tuotti 48 julkaisua, joista 10 oli vertaisarvioituja. Lisää julkaisuja on tulossa vuosina 2020–2023. Tulokset kertovat, mikä on suomalaisten pientalojen ääneneristys (A), miten erityispiirteitä omaavan äänen häiritsevyyssanktio määritetään (B), mitkä ei-akustiset tekijät selittävät melun häiritsevyyttä elinympäristöissä (C), onko tuulivoimalla terveystaikutuksia (D) ja mitä fysiologisia ja psykologisia vaikutuksia eri äänilajeilla on (E).

# Summary

Valtteri Hongisto, Jenni Radun, Ville Rajala, Henna Maula, Jukka Keränen & Pekka Saarinen: Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti  
Reference: Hongisto, V., Radun, J., Rajala, V., Maula, H., Keränen, J. & Saarinen, P. (2020). Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti. 45 s. Turun ammattikorkeakoulu, Turku, Finland (In Finnish). ISBN 978-952-216-760-6 (pdf).

---

**BACKGROUND.** Loudness of environmental noise is assessed in the first place using A-weighted sound level,  $L_A$  [dB]. If noise has specific properties, such as tonality or impulsivity, a penalty of  $k$  [dB] is applied. The outcome,  $L_A+k$  [dB], is expected to predict annoyance better than  $L_A$ . Value of  $k$  applied for typical noise varies between 0 in 10 dB in legislation and standards. Scientific evidence for these  $k$ -values is very limited. Annoyance can be associated with different non-acoustic factors such as concern about health effects of noise, attitudes towards the noise producer, visibility of sound source, and noise sensitivity. Physiological effects of specific properties of sound are unknown. In addition, façade constructions have different frequency-dependency of sound insulation.

**OBJECTIVES.** (A) What is the sound insulation of façades against sound and infrasound? (B) Which penalty values should be applied for sounds carrying specific properties? (C) How do noise level and non-acoustic factors explain the noise annoyance in living environments for different environmental noise types? (D) Is the vicinity of wind turbines associated with changes in health status? (E) What are the physiological effects of various noise types?

**METHODS.** The research contained (A) sound insulation measurements (26 façades), (B) 7 psychoacoustic experiments (360 participants), (C–D) 5 questionnaires in living environments nearby wind turbines, road traffic, a rock crushing plant, and a power plant (2 200 respondents) and (E) a medical laboratory experiment (102 participants). The research was conducted by Turku University of Applied Sciences in Finland during 2016–2019. The group contained scientists from acoustics and psychology.

**RESULTS.** The project resulted in 48 publications out of which 10 were peer-reviewed. More publications will be available during 2020–2023. The results depict the sound insulation of Finnish façades (A), the annoyance penalty of sounds carrying specific properties (B), the effects of noise level and non-acoustic factors on noise annoyance in living environments (C), the health effects of wind turbines (D) and physiological effects of various noise types (E).

# 1 Tausta ja tavoitteet

Ympäristömelun ohjearvot asuinympäristöissä (VN 1992, VN 2015, STM 2015) pyrkivät siihen, että suurin osa väestöstä ei kokisi melusta merkittävää viihtyvyyshaittaa tai että melusta olisi mahdollisimman vähän terveyshaittaa. Asunnon pihamaan ohjearvot huomioivat keskiäänitason, vuorokaudenajan, äänilähdetyypin ja äänen erityispiirteet. Erityispiirteistä tulee antaa sanktio  $k$  (*penalty, adjustment*), joka lisätään mitattuun keskiäänitasoon  $L_{Aeq}$  ennen ohjearvoon vertaamista. Nukkumiseen tarkoitettuja huoneita koskevat myös pientaajuisen melun toimenpitearvot. Melu voi silti häiritä osaa väestöstä, vaikka ohjearvoja ei ylitetäisi. Keskiäänitaso ei selitä hyvin äänen häiritsevyyttä eri äänilajien yli. Yritykset ja viranomaiset tarvitsivat parempaa tietämystä, miten äänenlaatu ja ei-akustiset tekijät selittävät eri melulajien häiritsevyyttä.

Turun ammattikorkeakoulun akustiikan tutkimusryhmä toteutti vuosina 2016–2019 laajan julkisen tutkimusprojektin **Anojanssi – Ympäristömelun häiritsevyyden mittaluvut**. Projektin nimi on epävirallinen käännös englanninkielisestä termistä *annoyance* (ärsyttävyys, häiritsevyys). Se on vakiintunut melun häiritsevyyden päämuuttujaksi englanninkielisessä kirjallisuudessa, mutta sille ei ole olemassa tarkoituksenmukaista suomenkielistä käännöstä. 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. Onko tuulivoimaloiden läheisyydellä yhteyttä terveyteen tai hyvinvointiin?
- E. Aiheuttaako melu fysiologista stressiä ja miten eri äänilajit poikkeavat tässä suhteessa toisistaan?

Tämän raportin tavoitteena on esittää kooste 13 osatutkimuksesta, joilla tutkimuskysymyksiin vastattiin. Osatutkimukset on lueteltu alla. Sulkeissa on kirjattu mihin tutkimuskysymykseen osatutkimus vastaa ja millä tutkimusmenetelmällä osatutkimus toteutettiin.

1. Pientalojen julkisivun ääneneristävyys (A, kenttätutkimus)
2. Kapeakaistaisen äänen häiritsevyys (B, psykoakustinen laboratoriotutkimus)
3. Amplitudimoduloidun äänen häiritsevyys (B, psykoakustinen laboratoriotutkimus)
4. Impulsiivisen äänen häiritsevyys (B, psykoakustinen laboratoriotutkimus)
5. Tieliikennemelun häiritsevyys eri äänitasoilla ja spektreillä (B, psykoakustinen laboratoriotutkimus)
6. Kapeakaistaisuuden ja spektrin yhteisvaikutus häiritsevyyteen (B, psykoakustinen laboratoriotutkimus)
7. Erityyppisten äänten häiritsevyys (B, psykoakustinen laboratoriotutkimus)
8. Tuulivoimalamelun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus väestössä)
9. Tieliikennemelun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus väestössä)
10. Murskaamomelun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus väestössä)
11. Polttovoimalaitoksen melun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus väestössä)
12. Asumisterveys tuulivoima-alueen läheisyydessä (D, kyselytutkimus väestössä)
13. Melun aiheuttama stressi (E, lääketieteellinen laboratoriotutkimus)

Luvussa 3 esitetään tiivistelmät jokaisesta osatutkimuksesta. Yksityiskohtaiset lopputulokset löytyvät osatutkimuksista luoduista julkaisuista, jotka on lueteltu **liitteessä 1**. Joidenkin osatutkimusten julkaisut ovat kesken.



# 2 Tulokset

## 2.1 Päätulokset ja keskeiset läpimurrot

Päätulokset tutkimuskysymyksiin A–E liittyen ovat seuraavat:

**A. Julkisivun ääneneristys.** Osatutkimuksessa 1 mitattiin 26 julkisivurakenteen ilmaääneneristävyys taajuuksilla 5–5 000 Hz. Mittaukset ulotettiin infraäänitaajuuksille erityisrakenteista infraäänikaiutinta käyttäen. Ulkomaila ei ole julkaistu vastaavalla menetelmällä saatuja yhtä laajoja tuloksia. Niiden avulla voidaan laskea ympäristömelun äänenpainetaso sisätiloissa eri taajuuksilla, kun äänenpainetaso pihamaalla tunnetaan. Tuloksilla korvataan tanskalaiset arvot, joita on tähän asti käytetty tässä laskennassa.

**B. Melun erityispiirteiden sanktiointi.** Osatutkimuksissa 2–4 luotiin näyttöä melun erityispiirteiden aiheuttamasta häiritsevyyssanktiosta (kapeakais-tainen, amplitudimoduloitu tai impulssimainen ääni). Tulokset ovat kansainvälisesti ottaen ainutlaatuisia ja uraauurtavia. Aiemmin ei ole tehty melulainsäädäntöä näin suoraan hyödyttäviä koehenkilötutkimuksia näin laajoilla psykoakustisilla kokeilla. Tuloksia voidaan hyödyntää melulainsäädännön tarvitsemien sanktiomenettelyjen kehittämisessä tulevaisuudessa, meluntorjunnassa sekä myös tuotekehityksessä. Tuloksilla pyritään vaikuttamaan standardisointiin. Tätä kautta on mahdollista, että ne vaikuttavat joskus mittausmenetelmiin ja lainsäädäntöön. Tuloksia voidaan soveltaa myös oikeuskäsittelyissä, joissa on arvioitava melun erityispiirteistä aiheutuvaa häiritsevyyttä ohjearvoja ja niiden perustelumustioissa olevia tietoja yksityiskohtaisemmin.

**C. Ympäristömelulajin häiritsevyys elinympäristöissä.** Tutkimus tuotti ensimmäiset suomalaiset ympäristömelun häiritsevyyden annosvastesuhteet neljälle eri ympäristömelun lajille (tie-, murskaamo-, polttovoimalaitos- ja tuulivoimalamelu). Annosvastesuhde kuvaa, miten suuri osuus väestöstä kokee melun erittäin häiritsevänä eri äänitasoilla. Annosvastesuhteet eivät kuitenkaan selittäneet häiritsevyydestä kuin murto-osan. Huomattavasti voimakkaammin häiritsevyyteen olivat yhteydessä ei-akustiset tekijät, kuten huolestuneisuus melun terveysvaikutuksista, asenne äänilähdettä kohtaan tai yksilöllinen meluherkkyys. Äänitaso ei selitä äänen erittäin suurta häiritsevyyttä

juuri lainkaan, kun tarkastellaan annosvastesuhteita eri ympäristömelulajien kesken. Tuloksilla voi olla pitkällä aikavälillä vaikutusta alueidenkäytön suunnitteluun ja ympäristölainsäädäntöön, mutta ennen kaikkea niillä voidaan vaikuttaa yleiseen tietämykseen siitä, mitkä tekijät selittäisivät poikkeavaa melun häiritsevyyttä.

**D. Tuulivoiman terveysvaikutukset.** Ympäristöepidemiologinen tutkimus käsitti 563 vastaajaa tuulivoima-alueiden läheltä ja 121 vastaajaa kaukana tuulivoima-alueista. Tuulivoima-alueen läheisyys ei ollut terveydellinen tai hyvinvoinnin riskitekijä. Tuloksella voi olla pitkällä aikavälillä vaikutusta alueidenkäytön suunnitteluun ja ympäristölainsäädäntöön, mutta ennen kaikkea sillä voidaan vaikuttaa käsityksiin tuulivoiman terveysvaikutuksista.

**E. Melun aiheuttama stressi.** Laboratoriokokeessa tutkittiin neljän erilaisen äänilajiin vaikutuksia akuuttiin fysiologiseen stressiin. Äänilajeina olivat laajakaista-, kapeakaista-, impulssi- ja puheääni. Ääni esitettiin tasolla 65 dB. Verrokkina oli hiljaisuus (35 dB  $L_{Aeq}$ ). Kaikki äänilajit aiheuttivat fysiologista stressiä, mutta eniten stressiä aiheutti puheääni. Tuloksilla on merkittävä vaikutus yleistietoomme melun akuuteista vaikutuksista.

## 2.2 Julkaisut

Projekti on 12.4.2020 mennessä tuottanut 48 julkaisua ja kaksi julkaistavaksi lähetettyä käsikirjoitusta:

- 10 vertaisarvioitua tieteellistä julkaisua [1–10]
- 12 ulkomaista kongressijulkaisua [11–22]
- 18 kotimaista seminaarijulkaisua [23–40]
- 4 opinnäytetyötä [41–44]
- 4 suomenkielistä artikkelia tai raporttia, mukaan lukien tämä raportti [45–48].

Vuosina 2020–2023 arvioidaan valmistuvan 12 vertaisarvioitua tieteellistä käsikirjoitusta tai julkaisua. Osa artikkeleista hyödynnetään väitöskirjassa (Petra Virjonen, Turun yliopisto, väittelee 2021). Aineistoja on mahdollista hyödyntää myös 1–2 muussa väitöskirjassa.

Julkaisujen viittaustiedot on esitetty **Liitteessä 1**. Internetlinkki annetaan, jos julkaisu on vapaasti saatavilla internetissä. Muussa tapauksessa julkaisut ovat ostettavissa ja ne löytyvät helpoiten *Google Scholarin* avulla.

## 2.3 Verkostoituminen ja vaikuttavuus

Yksityiskohtainen luettelo on toimitettu rahoittajalle ja siitä esitetään tässä tiivistelmä.

- Osatutkimuksissa 9–11 käytetyn kyselymenetelmän kehittämiseen liittyen tehtiin yhteistyötä Fraunhofer-instituutin (Institut für Bauphysik, Stuttgart) kanssa ostopalvelusopimuksen avulla.
- Osatutkimuksessa 13 tehdyt stressihormonianalyysit tilattiin ostopalveluna Turun yliopistolta ja Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiriltä.
- Projektin tuloksia on viestitetty 12 esitelmän voimin 4 eri ulkomaisessa kongressissa, 18 esitelmän voimin 7 kotimaisessa tieteellisessä seminaarissa ja 12 muussa asiantuntijaesitelmässä joko Suomessa tai ulkomailla.
- Tuloksia on hyödynnetty korkeakouluopetuksessa Aalto-yliopistossa, Tampereen yliopistossa, ja Turun ammattikorkeakoulussa.
- Projektin aikana laadittiin viisi tiedotetta, joiden myötä tutkimusprojekti on ollut esillä mediassa.
- Projektin aikana tehtiin tutkijavierailu neljään ulkomaiseen ja kahteen kotimaiseen tutkimusryhmään.

## 2.4 Rinnakkaisprojektissa aikaansaadut julkiset tuotokset

Anojanssi-projektin rinnalla oli Wärtsilä Finland Oy:n rinnakkainen Sopeva-tutkimusprojekti, joka sisälsi mm. kaksi Turun ammattikorkeakoulun 2016–2019 toteuttamaa ja Wärtsilä Finland Oy:n julkiseksi merkitsemää osatutkimusta: kohdat 1-2.

1. Laboratoriokokeessa tutkittiin infraäänen kuulokynnys, äänekkyyys ja häiritsevyys. Tutkimusta varten rakennettiin infraäänikammio, jolla voitiin tuottaa riittävä äänenpainetaso infraäänille aina 4 Hz taajuuteen asti. Osatutkimuksen osatuloksista (7 tutkittavaa) on laadittu esijulkaisu [21]. Lopputuloksista (19 tutkittavaa) on tarkoitus laatia 1-2 kansainvälistä tieteellistä julkaisua. Tutkimus on erittäin mielenkiintoinen, koska infraääntä koskevia psykoakustisia tutkimuksia ei ole Suomessa aikaisemmin tehty.

2. Laboratoriokokeessa tutkittiin voimalaitoksen eteen tulevan kasvillisuuden määrän vaikutusta visuaaliseen miellyttävyyteen ja voimalaitosäänen häiritsevyyteen. Tutkimukseen osallistui 30 tutkittavaa. Tulokset on julkaistu [8]. Niiden mukaan voimalaitosmelun häiritsevyys ei pieneni lisäämällä kasvillisuutta voimalaitoksen eteen.

## 2.5 Muut projektiin liittyvät tuotokset

Projektin aikana saatettiin loppuun kaksi ÄKK-projektin aikana (Rakennusten ääniosuhteiden käyttäjälähtöinen kehittäminen, 2012–2014) kerättyihin aineistoihin perustuvaa osatutkimusta, jotka liittyvät suoraan Anojanssi-projektin tutkimusaiheisiin:

- Psykoakustinen laboratoriotutkimus siitä, mitä yksilukuarvoa tulisi käyttää kuvaamaan julkisivurakenteiden ilmaääneneristävyyttä tieliikennemelua vastaan [3]. Tutkimuksen mukaan yksilukuarvo  $R_w + C_{50-3150}$  selittää julkisivurakenteen läpi kuuluvan tieliikennemelun häiritsevyyttä paremmin kuin suomalaisessa lainsäädännössä käytetty mittaluku  $R_w + C_{tr}$ .
- Unilaboratoriossa tehty laaja tutkimus siitä, miten tieliikennemelu ja sen spektri vaikuttavat unen laatuun [10, 18, 32]. Tutkimuksen mukaan yöaikainen tieliikennemelu makuuhuoneessa (37 dB  $L_{Aeq,8h}$ ) heikentää unen laatua. Lisäksi havaittiin viitteitä siitä, että korkeataajuinen tieliikennemelu olisi häiritsevämpää kuin vastaavan tasoinen pientaajuinen tieliikennemelu.

## 2.6 Aineistot

Keskeisten aineistotyyppien laajuutta on kuvattu **taulukossa 1**.

TAULUKKO 1.

Projektin tuottamien aineistojen määrät eri osatutkimuksissa. Harmaa solu merkitsee, ettei aineistotyyppi ole tätä osatutkimusta koskeva. Muu-sarake viittaa lukuihin 2.4–2.5.

Aineistotyyppi	Osatutkimus													Muu	YHT		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
Laboratoriokokeeseen valmistetut ääninäytteet		54	92	78	120	96	72										517
Laboratoriokokeeseen osallistuneet		40	40	32	60	40	46									102	360
Laajat kenttämittauskokonaisuudet	26				5	10	20	9	15	5	1	3					94
Laajat mallinnuskokonaisuudet								3	18	5	2	4					32
Kyselytutkimukseen kutsutut (kirjellähetykset)								753	3077	683	401	3056					7970
Asuinympäristökyselyyn vastanneet								400	833	197	86	684					2200
Julkaisut 15.4.2020	3	5	3	3	0	0	0	10	4	1	0	1	7	13			50
Tulevat vertaisarvioidut käsikirjoitukset	0	0	0	1	1	1	2	0	2	1	0	0	0	0	0		8

- 1 Pientalojen julkisivun ääneneristävyyks (A kenttätutkimus)
- 2 Kapeakaistaisen äänen häiritsevyys (B, laboratoriokoe)
- 3 Amplitudimoduloitun äänen häiritsevyys (B, laboratoriokoe)
- 4 Impulsiivisen äänen häiritsevyys (B, laboratoriokoe)
- 5 Tielikennemelun häiritsevyys eri äänitasoilla ja spektreillä (B, laboratoriokoe)
- 6 Kapeakaistaisuuden ja spektrin yhteisvaikutus häiritsevyyteen (B, laboratoriokoe)
- 7 Erityyppisten äänten häiritsevyys (B, laboratoriokoe)
- 8 Tuulivoimalamelun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus)
- 9 Tielikennemelun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus)
- 10 Murskaamomelun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus)
- 11 Polttovoimalaitoksen melun häiritsevyys asuinympäristöissä (C, kyselytutkimus)
- 12 Asumisterveys tuulivoima-alueen läheisyydessä (D, kyselytutkimus)
- 13 Melun aiheuttama stressi (E, lääketieteellinen laboratoriokoe)

Muu Aiemmistä tutkimusprojekteista tehdyt julkaisut. Sopeva-projektin julkaisut. Anojanssi-kokonaisuutta koskevat julkaisut.

## 2.7 Ohjausryhmän workshopit

Projektin aikana toteutettiin kolmannesvuosittain 12 kolmetuntista workshopia, joissa tutkijat esittivät osatutkimusten suunnitelmat ja lopputulokset ohjausryhmälle. Workshoppeihin osallistui aina vähintään puolet kymmenestä yritysrahoittajasta. Tämän lisäksi toteutettiin yksi kokopäiväinen tekninen workshop koskien psykoakustisten osatutkimusten mittausten menetelmiä ja tuloksia. Workshopien avulla tulokset saatiin rahoittajien käyttöön. Samalla saatiin tärkeää palautetta, jota hyödynnettiin ja hyödynnetään ulkoisessa tulosviestinnässä.

# 3 Tulostiivistelmät osatutkimuksittain

## 3.1 Pientalojen julkisivun ääneneristävyys

**Tarve.** Ympäristömelu  $L_{Aeq}$  asunnon sisätiloissa ei saisi ylittää 35 dB päiväaikaan ja 30 dB yöaikaan (YM, 1992). Tämän lisäksi pientaajuisen melun 20–200 Hz toimenpidearvot eivät saa ylittyä (STM, 2015).  $L_{Aeq}$  voidaan laskea taajuuksittain pihamaalle, mutta asunnon sisäpuolisen  $L_{Aeq}$ :n laskenta vaatisi tietoa julkisivun ilmaääneneristävyydestä  $R$ . Koska  $R$  vaihtelee talokohtaisesti, on laskelmissa käytetty estimaattia siitä, mikä  $R$  vähintään yleensä on. Estimaatti on otettu tanskalaisesta tutkimuksesta (DME, 2011). Suomalaisista julkisivuista ei ole vastaavaa tutkimusta. Kansainvälisesti ottaen tietoa on erittäin vähän rakenteiden eristyskyvystä taajuuksien 20 Hz alapuolelta.

**Tavoite.** Tavoitteena oli selvittää, miten eri rakenteisten pientalojen julkisivut eristävät pientaajuisia ääntä.

**Menetelmät.** Valittiin 13 pientaloa ja 26 julkisivurakennetta niin, että edustettuina oli kevyitä, raskaita, uusia ja vanhoja julkisivurakenteita. Mitattiin ilmäääneneristävyys standardin ISO 16283-3:2016 mukaan alueella 50–5000 Hz ja äänitasoero alueella 5–200 Hz. Infraääni tuotettiin itse rakennetulla infraäänikaiuttimella. Tuloksista johdettiin 84 % persentiili, joka kertoo arvon, joka ylittyi 84 % mitatuista suomalaisista pientaloista.

**Tulokset.** Äänitasoeron 84 % persentiili, eli  $DL_{\sigma}$ , on esitetty **taulukossa 2**. Tutkimus tuotti vastaavat arvot myös taajuusalueen 50–5000 Hz ilmäääneneristävyysalueelle, mutta niitä ei tässä esitetä. 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 vallitsevista ympäristömelun äänenpainetasoista, kun se ei sisällä julkisivun aiheuttamaa heijastusta. Saatava sisätilan äänenpainetaso edustaa useimmiten yläarviota, sillä 84 % mitatuista julkisivuilla äänitasoero oli suurempi kuin  $DL_{\sigma}$ .

**Johtopäätökset.** Tuloksilla voidaan korvata tähän asti Suomessa käytetyt tanskalaiset arvot, kun lasketaan ympäristömelun äänenpainetasoja sisätiloissa.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [6], [15] ja [27].

TAULUKKO 2.

Suomalaisen pientalon julkisivun äänitasoeron alalikiarvo.

$f$ [Hz]	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	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

### 3.2 Kapeakaistaisen äänen häiritsevyys

**Tarve.** Suomalainen melulainsäädäntö (YM, 1992; STM, 2015; VN, 2015; YM, 2017) sisältää vakiosanktioita 3, 5 ja 6 dB kapeakaistamelulle. Lainsäädännön antama sanktion  $k$  arvo lisätään äänitason  $L_{Aeq}$  mittaukselle ennen vertaamista äänitason ohjearvoon, jos äänessä esiintyy kapeakaistaisuutta. Kapeakaistamelu (tonaalinen tai ääneksiä sisältävä melu) tarkoittaa, että äänessä on selvästi erottuva yksittäinen tai useampi taajuus. Standardi ISO 1996-2:2007 esittää hyvin perustellun menetelmän kapeakaistaisuuden määrittämiseksi äänen FFT-spektristä. Kapeakaistaisuutta kuvataan kahdella muuttujalla: äänksen taajuus,  $f_T$  [Hz] (piikin keskitaajuus), ja äänksen erotettavuus,  $A_T$  [dB] (taajuuspiikin korkeus). Standardin mukainen sanktio riippuu äänksen erotettavuudesta. Standardin sanktiomallin tieteelliset perusteet ovat löyhät. Kirjallisuudessa ei ole tutkimuksia siitä, mistä tekijöistä kapeakaistamelun sanktio riippuu etenkin hiljaisilla äänitasoilla (25–35 dB  $L_{Aeq}$ ). Tämä on sanktioinnin kannalta olennaisin äänitasoalue, koska sisätiloissa äänitasot ovat yleensä näin hiljaisia.

**Tavoite.** Tavoitteena oli selvittää, miten melun kapeakaistaisuudesta tulisi sanktioida, jotta se vastaisi subjektiivista häiritsevyyden kokemusta. Yksityiskohtaisena tavoitteena oli määrittää, miten  $f_T$  ja  $A_T$  vaikuttavat kapeakaistaisen äänen sanktioon, kun äänitaso on alhainen vastaten asuinhuoneiston tyyppillistä äänitasoa.

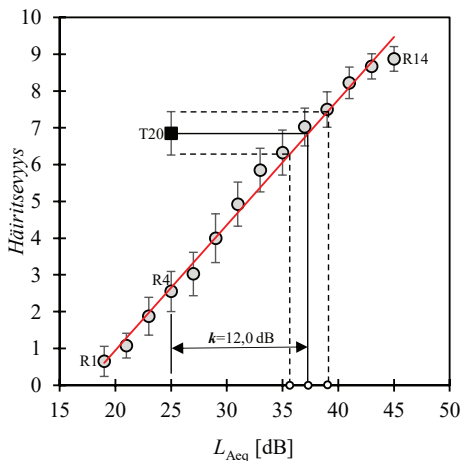
**Menetelmät.** Psykoakustiseen laboratorioskokeeseen rekrytoitiin 40 tutkittavaa. Tutkittavia kapeakaistaisia ääniä oli 20 kpl. Tutkitut äänestaajuudet olivat 50, 110, 290, 850 ja 2 100 Hz. Äänesten erottuvuudet olivat 5, 10, 18 ja 25 dB ja äänksen taustalla oli laajakaistainen kohina, jonka spektrinä oli käänteinen A-painotus.

Kohinan tasoa pienennettiin, kun äänen erottuvuus kasvoi, jolloin kaikkien toonaalisten äänten taso saatiin pysymään tasolla  $L_{Aeq} = 25$  dB. Lisäksi kokeessa oli 14 laajakaistaista referenssiääntä tasoilla 19–45 dB  $L_{Aeq}$ , joiden avulla voitiin määrittää sanktio. Referenssiäänät olivat niin ikään laajakaistaista kohinaa, jonka spektrinä oli käänteinen A-painotus. Sanktion määrittelytapa on esitetty **kuvassa 1**. Tutkittavat arvioivat kunkin äänen häiritsevyyden asteikolla 0–10.

**Tulokset.** Sanktion riippuvuus eri  $f_T$  ja  $A_T$  arvoista on esitetty **kuvassa 2a**. Sanktio oli korkeimmillaan jopa 12 dB. Tämä tarkoittaa sitä, että tietynlainen kapeakaistainen ääni, jonka äänitaso on 25 dB  $L_{Aeq}$ , koettiin yhtä häiritsevänä kuin laajakaistainen ääni, jonka äänitaso on 37 dB  $L_{Aeq}$  ja joka ei sisällä kapeakaistaisuutta. Suurimmat sanktiot havaittiin suurilla  $f_T$ :n arvoilla. Pienillä  $f_T$ -arvoilla sanktiota ei havaittu, vaikka  $A_T$  oli suuri. Tutkimus ei tue kapeakaistaisen melun vakiosanktiointia.

**Johtopäätökset.** Kapeakaistainen ääni voi lisätä äänen häiritsevyyttä, mutta häiritsevyyttä kuvaava sanktio  $k$  [dB] riippuu  $f_T$ :n ja  $A_T$ :n arvoista. Tulokset näyttävät siltä, että suurilla taajuuksilla esiintyvä kapeakaistaisuus olisi suurempi häiritsevyyden riskitekijä kuin pienillä taajuuksilla esiintyvä kapeakaistaisuus. Tuloksia voidaan soveltaa sanktiointimenetelmiä kehitettäessä, koska aiempia yhtä kattavia tutkimustuloksia  $f_T$ :n ja  $A_T$ :n vaikutuksesta häiritsevyyteen ei ole julkaistu. Asuin-ympäristössä melun häiritsevyyteen vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät kuin äänestä mitattavat ominaisuudet. Jos ääni on esimerkiksi vaihteleva, itselle tarpeetomasta lähteestä peräisin, muusta taustaäänestä selvästi erottuva tai kokonaan uusi ja ennen kokematon, se voidaan kokea eri tavoin häiritseväksi kuin tässä osatutkimuksessa on havaittu.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [1], [4], [14], [24] ja [28].



**KUVA 1.**

Sanktio osatutkimuksissa 2–4 määritettiin tässä kuvatulla tavalla. R1–R14 (ympyrät) kertovat referenssiäänten häiritsevyyden keskiarvon ja viikset 95 % luottamusvälin. Punainen suora kuvaa ensimmäisen asteen sovitusta referenssiääniin. T20 (musta neliö) edustaa yhtä kapeakaistaista ääntä, jonka äänitaso on  $L_{Aeq} = 25$  dB. Äänelle T20 on saatu häiritsevyyden keskiarvoksi noin 7. Referenssiääni koettiin yhtä häiritseväksi, jos sen äänitaso on  $L_{Aeq} = 37$  dB. Sanktio on  $k = 37 - 25$  dB = 12 dB. Katkoviivojen avulla määritetään 95 % luottamusväli, joka on tässä 10,3–13,6 dB.



### 3.3 Amplitudimoduloitun äänen häiritsevyys

**Tarve.** Tuulivoimalamelu on usein amplitudimoduloitua (AM). AM tarkoittaa, että äänessä on jaksollista voimakkuusvaihtelua, 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 (VN, 2015) 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.

**Tavoite.** Tavoitteena oli määrittää, miten  $f_m$  ja  $D_m$  vaikuttavat AM:n äänen sanktioon, kun äänitaso on alhainen vastaten asuinympäristöissä esiintyviä äänitasoja.

**Menetelmät.** Psykoakustiseen laboratorioskokeeseen rekrytoitiin 40 tutkittavaa. Tutkittavia AM ääniä oli 35 kpl spektrillä S1 (tuulivoimalaääntä muistuttava spektri) ja 35 kpl spektrillä S2 (tieliikenneääntä muistuttava spektri). Tutkitut modulaatiotaajuudet olivat 0,25, 0,50, 1, 2, 4, 8 ja 16 Hz. Tutkitut modulaatiosyvyydet olivat 1, 2, 4, 8 ja 14 dB. Kaikkien AM äänten taso oli  $L_{Aeq} = 35$  dB. Lisäksi kokeessa oli kumpaakin spektriä kohden 11 laajakaistaista referenssiääntä tasoilla 19–49 dB  $L_{Aeq}$ , joiden avulla voitiin määrittää sanktio samoin kuin **kuvassa 1**. Tutkittavat arvioivat kunkin äänen häiritsevyyden asteikolla 0–10.

**Tulokset.** Sanktion riippuvuus eri  $f_m$  ja  $D_m$  arvoista on esitetty **kuvassa 2b**. Sanktio oli korkeimmillaan 12 dB. Tämä tarkoittaa sitä, että tietynlainen amplitudimoduloitu ääni, jonka äänitaso on 35 dB  $L_{Aeq}$ , koettiin yhtä häiritsevänä kuin laajakaisainen ääni, jonka äänitaso on 47 dB  $L_{Aeq}$  ja joka ei ole amplitudimoduloitu. Vakiosanktiointia on vaikea perustella, koska alhaisilla  $f_m$  arvoilla sanktiota ei havaittu, vaikka  $D_m$  oli suuri. Spektrillä S1 ja S2 saatiin samankaltaisia sanktioarvoja.

**Johtopäätökset.** Amplitudimoduloitu ääni voi lisätä äänen häiritsevyyttä, mutta häiritsevyyttä kuvaava sanktio  $k$  [dB] riippuu  $f_m$ :n ja  $D_m$ :n arvoista. Tuloksista voidaan myös arvioida tuulivoimalamelun sanktio, kun  $f_m$  ja  $D_m$  tunnetaan. Tulokset näyttävät siltä, että suuritaajuinen AM olisi suurempi häiritsevyyden riskitekijä kuin pienitaajuinen AM. Tuloksia voidaan soveltaa sanktiointimenetelmiä kehitettäessä, koska aiempia yhtä kattavia tutkimustuloksia  $f_m$ :n ja  $D_m$ :n vaikutuksesta häiritsevyyteen ei ole julkaistu. Asuinympäristössä melun häiritsevyyteen vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät kuin äänestä mitattavat ominaisuudet. Jos ääni on esimerkiksi vaihteleva, itselle tarpeettomasta lähteestä peräisin, muusta taustäänestä

selvästi erottuva tai kokonaan uusi ja ennen kokematon, se voidaan kokea eri tavoin häiritseväksi kuin tässä osatutkimuksessa on havaittu.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [7], [17] ja [34].

### 3.4 Impulssimaisen äänen häiritsevyys

**Tarve.** Suomalainen melulainsäädäntö (YM, 1992; STM, 2015; VN, 2015; YM, 2017) sisältää vakiosanktioita 3, 5 ja 10 dB impulssimelulle. ISO 1996-1:2016 mukaan sanktio on joko 5 tai 12 dB. Arvot perustuvat laajoihin ampumamelun tutkimuksiin 80- ja 90-luvuilta (Rice, 1996). NT ACOU 112 (Nordtest, 2002) esittää toimivan menetelmän impulssimaisuuden tunnistamiseksi äänisignaalista. Impulsilla 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 helposti täyttää laukausero tai rahtauskolina, mutta sen tekee myös mm. lujaa ohi ajava auto tai satunnaisesti myös tuulivoimalan AM-ääni. Jostain syystä tasoerolle ei ole asetettu alarajaa. Nordtest esittää myös sanktion arviointimallin: sanktio riippuu  $R_{on}$  ja  $D_L$  arvoista. Sanktiomalli ei perustu vertaisarvioituun tieteelliseen näyttöön.

**Tavoite.** Tavoitteena oli määrittää, miten  $R_{on}$  ja  $D_L$  vaikuttavat impulssimelun sanktioon, kun äänitaso on ulkomelun ohjearvojen rajamailla.

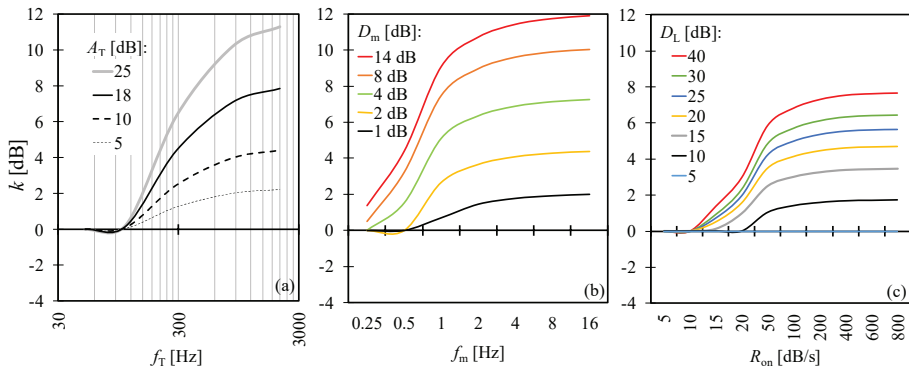
**Menetelmät.** Psykoakustiseen laboratorioskokeeseen rekrytoitiin 32 tutkittavaa. Tutkittavia impulssiääniä oli 33 kpl spektrillä S1 (ilmanvaihdon kaltainen laajakais-tääni) ja 33 kpl spektrillä S2 (korkeataajuisempi laajakaistaääni). Impulssien nousunopeudet olivat 5 ja 800 dB/s välillä. Impulssien tasoerot olivat 5 ja 40 dB välillä. Kaikkien impulssimaisten äänten taso oli  $L_{Aeq} = 55$  dB. Lisäksi kokeessa oli 8 laajakaistaista referenssiääntä spektrillä S1 tasoilla 49–70 dB  $L_{Aeq}$ , joiden avulla voitiin määrittää sanktio samoin kuin **kuvasssa 1**. Tutkittavat arvioivat kunkin äänen häiritsevyyden asteikolla 0–10.

**Tulokset.** Sanktion riippuvuus eri  $R_{on}$  ja  $D_L$  arvoista on esitetty **kuvasssa 2c**. Sanktio oli korkeimmillaan jopa 8 dB. Tämä tarkoittaa sitä, että tietynlainen impulssimainen ääni, jonka äänitaso on 55 dB  $L_{Aeq}$ , koettiin yhtä häiritsevänä kuin laajakais-tainen ääni, jonka äänitaso on 63 dB  $L_{Aeq}$  ja joka ei ole impulssimaista. Suurimmat

sanktiot havaittiin suurilla  $R_{\text{on}}$  - ja  $D_L$ -arvoilla. Pienillä  $R_{\text{on}}$ -arvoilla sanktiota ei havaittu, vaikka  $D_L$  oli suuri. NT ACOU 112 mukainen malli antoi suurempia sanktioarvoja kuin koetulokset, kun  $R_{\text{on}} \geq 200$  dB/s.

**Johtopäätökset.** Impulssimainen ääni voi lisätä äänen häiritsevyyttä, mutta häiritsevyyssisää kuvaava sanktio  $k$  [dB] riippuu  $R_{\text{on}}$  - ja  $D_L$ -arvoista. Tulokset näyttävät siltä, että suurilla nousunopeuksilla esiintyvä impulssimelu olisi suurempi häiritsevyyden riskitekijä kuin pienen nousunopeuden impulssimelu. Tuloksia voidaan soveltaa sanktiointimenetelmiä kehitettäessä, koska aiempia yhtä kattavia tutkimustuloksia  $R_{\text{on}}$ :n ja  $D_L$ :n vaikutuksesta häiritsevyyteen ei ole julkaistu. Asuinympäristössä melun häiritsevyyteen vaikuttavat kuitenkin myös muut tekijät kuin äänestä mitattavat ominaisuudet. Jos ääni on esimerkiksi vaihteleva, itselle tarpeettomasta lähteestä peräisin, muusta taustäänestä selvästi erottuva tai kokonaan uusi ja ennen kokematon, se voidaan kokea eri tavoin häiritseväksi kuin tässä osatutkimuksessa on havaittu.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [9], [22] ja [39].



KUVA 2.

**(a)** Kapeakaistaisen äänen häiritsevyyssanktion riippuvuus ääneksen taajuudesta  $f_T$  ja ääneksen erottuvuudesta  $A_T$  [1, 4]. **(b)** Amplitudimoduloidun äänen häiritsevyyssanktion riippuvuus modulaatiotaajuudesta  $f_m$  ja modulaatiosyvyydestä  $D_m$  [7]. **(c)** Impulssimelun häiritsevyyssanktion riippuvuus nousunopeudesta  $R_{\text{on}}$  ja tasoerosta  $D_L$  [9]. Käyrät perustuvat sovitussyhtälöihin, joilla osatutkimuksissa 2–4 saadut sanktioarvot voitiin ennustaa  $\pm 2$  dB tarkkuudella.

### 3.5 Tieliikennemelun häiritsevyys eri äänitasoilla ja spektreillä

**Tarve.** STM (2015) antaa toimenpidearvot pientaajuisen äänen äänenpainetasolle taajuuksilla 20–200 Hz. Joissakin dokumenteissa ääni katsotaan pientaajuiseksi, jos C- ja A-painotetun ekvivalenttitason erotus ylittää 20 dB ( $L_C - L_A > 20$  dB). Nilsson (2007) havaitsi tieliikennemelun häiritsevyyden selittyvän melun A-painotetulla äänenpainetasolla  $L_A$  sekä erotuksella  $L_C - L_A$ , kun tiemelun äänenpainetaso oli 48–78 dB  $L_A$ . Toisaalta Hongisto et al. (2015) havaitsivat, että suurtaajuuksille painottuva laajakaistaääni on häiritsevämpää kuin pientaajuuksille painottuva laajakaistaääni, vaikka A-painotettu äänenpainetaso oli äänillä sama, 42 dB  $L_A$ .

**Tavoite.** Tavoitteena oli selvittää, selittääkö  $L_C - L_A$  tieliikennemelun häiritsevyyttä sisätiloissa, kun tieliikennemelun äänitaso on 25–45 dB  $L_A$  (koe A) tai 35–70 dB  $L_A$  (koe B).

**Menetelmät.** Kentällä nauhoitettiin kolme spektriltään mahdollisimman erilaista tieliikenneääntä. Hongiston ym. [3] julkisivurakenteita koskeneesta tutkimuksesta valittiin neljä ilmaääneneristysspektriltään mahdollisimman erilaista julkisivurakennetta. Nämä spektrit yhdistettiin, jolloin saatiin 12 spektriltään erilaista sisätilaan kuuluvaa tieliikenneääntä. Kukin näistä toistettiin viidellä äänitasolla 25, 30, 35, 40 ja 45 dB  $L_A$ , jolloin saatiin yhteensä 60 ääntä. Kukin ääni oli 17 sekunnin mittainen. Indikaattorin  $L_C - L_A$  arvot olivat kullakin äänitasolla 1, 3, 7, 8, 11, 11, 13, 17, 19, 22, 23 ja 26 dB. Psykoakustiseen laboratorionkokeeseen osallistui 60 vapaaehtoista tutkittavaa (30 kumpaankin kokeeseen). Tutkittavat arvioivat kunkin äänen häiritsevyyden asteikolla 0–10.

**Tulokset.** Kokeessa A tieliikenneäänten häiritsevyys riippui voimakkaasti äänitasosta  $L_A$ . Tutkittujen äänitasojen sisällä havaittiin eroja 12 spektriltään erilaisten äänten häiritsevyyden suhteen. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä suurilla äänitasoilla, mutta eivät pienillä äänitasoilla. Pientaajuisuutta kuvaava indikaattori  $L_C - L_A$  ei ollut yhteydessä häiritsevyyteen äänitasolla 25 dB  $L_A$  ( $r^2 = 0.01$ ). Yhteys voimistui systemaattisesti äänitason noustessa. Indikaattori oli voimakkaasti yhteydessä häiritsevyyteen äänitasolla 45 dB  $L_A$  ( $r^2 = 0.75$ ). Kokeen B tulokset olivat samankaltaiset kuin kokeessa A ja vahvistavat kokeen A löydökset.

**Johtopäätökset.** Tieliikenneäänen pientaajuisuus (suuri indikaattorin  $L_C-L_A$  arvo) ei näyttäisi olevan melun häiritsevyyttä lisäävä tekijä sisätiloissa, kun äänitaso on alle 30 dB  $L_A$ . Raskaan liikenteen ohiajon yhteydessä äänitaso sisätiloissa voi saavuttaa 40 dB  $L_A$ . Tällaisilla äänitasoilla pientaajuisuus voi lisätä äänen häiritsevyyttä jonkin verran. Pientaajuisen äänen sanktio oli tällöin suurimmillaan luokkaa 5 dB.

**Julkaisut.** Osatutkimus ei ole tuottanut toistaiseksi julkaisuja.

### 3.6 Kapeakaistaisuuden ja spektrin yhteisvaikutus häiritsevyyteen

**Tarve.** Osatutkimus 2 tuotti kokonaan uutta tietoa kapeakaistaisen äänen häiritsevyyden sanktiosta. Tutkitut äänet olivat kuitenkin synteettisiä, eivätkä elinympäristöistä tai laitteista nauhoitettuja. Lisäksi niissä esiintyi vain yksittäisiä ääneksiä ja ne oli tuotettu siniäänillä.

**Tavoite.** Tavoitteena oli validoida osatutkimuksen 2 tuloksia ja selvittää mahdollisimman erilaisten kapeakaistaisen reaali-äänten häiritsevyyssanktioita. Koska reaaliset kapeakaistaiset äänet eivät eroa toisistaan vain kapeakaistaisen taajuuskomponenttien (taajuuspiikkien) osalta vaan muunkin spektrin osalta, tutkimuksen tavoitteena oli myös selvittää kapeakaistaisuuden ja spektrin yhteisvaikutus häiritsevyyteen ja häiritsevyyssanktioon.

**Menetelmät.** Psykoakustiseen laboratoriotutkimukseen rekrytoitiin 40 tutkittavaa. Kokeessa oli 2 osaa: osassa A 39 tonaalista ääntä soitettiin tasolla 30 dB  $L_{Aeq}$  ja 9 referenssiääntä tasoilla 25–45 dB  $L_{Aeq}$ . Osassa B samat äänet (39+9 ääntä) soitettiin 20 dB voimakkaammalla tasolla. Osien suoritusjärjestys oli vastabalansoitu keskenään. Referenssiäänten avulla voitiin määrittää sanktio. Referenssiäänet olivat Beranekin laajakaistaista peittokohinaa alueella 25–10 000 Hz. Sanktion määrittelytapa on esitetty **kuvassa 1**. Tutkittavat arvioivat kunkin äänen häiritsevyyden asteikolla 0–10.

**Tulokset.** Sanktion arvot olivat 0 ja 14 dB:n välillä. Äänitasolla (30 tai 50 dB) ei ollut suurta merkitystä sanktioon. Sanktion arvot äänitasoilla 30 tai 50 dB poikkesivat toisistaan korkeintaan 3 dB eri äänitasoilla, kun sanktiot olivat yli 7 dB ja korkeintaan 4 dB, kun sanktio oli alle 7 dB. Osatutkimuksessa 2 luotu kapeakaistaisen äänen sanktiomalli  $k_{TAI}$  (**kuva 2a**) oli yhteydessä sanktion arvoon kohtalaisen hyvin (korrelaatiokertoimen neliöt: osa A:  $r^2 = 0.74$ , osa B:  $r^2 = 0.53$ ) mutta selitysaste oli suurempi spektriä kuvaavilla suureilla, kuten *Sharpness* (0.890 ja 0.83) ja *Quality*

Assessment Index  $QAI$  (0.73 ja 0.86), koska äänten spektreissä oli suuria vaihteluja, ei ainoastaan kapeakaistakomponenteissa. Häiritsevyyssanktio kokeen molemmissa osissa voitiin selittää riittävän hyvin kahden muuttujan regressiomallilla, jossa selittäjinä ovat  $k_{TAI}$  ja  $QAI$  ( $r^2 = 0.78$ ).

**Johtopäätökset.** Äänen kapeakaistaisuuden lisäksi äänen spektri on tärkeä häiritsevyyteen vaikuttava tekijä. Spektrin häiritsevyyden kuvaaminen yhdellä psykoakustisella mittaluvulla voi olla mahdoton tehtävä, koska spektrivaihtoehtoja on äärettömän paljon. Tarvitaan jatkotutkimusta siitä, miten erilaiset äänen spektrit häiritsevät ja millä mittaluvulla spektriä kannattaisi kuvata.

**Julkaisut.** Osatutkimus ei ole tuottanut toistaiseksi julkaisuja.

### 3.7 Erityyppisten äänten häiritsevyys

**Tarve.** Edellä kuvatut osatutkimukset 3.2–3.4 rajoittuvat yksittäisiin erityispiirteisiin. Niissä käytettiin synteettisiä ääniä. Tulokset piti vahvistaa riippumattomalla osatutkimuksella. Lisäksi erityisesti ohjausryhmässä haluttiin tutkittavan reaalielämässä esiintyviä ääniä synteettisten sijaan. Psykoakustisissa kokeissa käytetään vaihtelevasti äänekkyyden (*loudness*) ja häiritsevyyden (*annoyance*) mittareita. Tiedeyhteisössä ei vallitse yksimielisyyttä siitä, mittaavatko nämä kaksi erilaista mittaria psykoakustisissa kokeissa samaa asiaa.

**Tavoite.** Ensimmäisenä tavoitteena oli määrittää häiritsevyyssanktio erityyppisille reaalielämän äänille. Toisena tavoitteena oli vahvistaa osatutkimuksissa 3.2–3.4 saatuja tuloksia. Kolmantena tavoitteena oli selvittää, mittaavatko äänekkyyys ja häiritsevyys samaa asiaa.

**Menetelmät.** Toteutettiin kaksi riippumatonta psykologista laboratorikoetta peräkkäin. Osakokeessa A tutkittavilta (23 tutkittavaa) kysyttiin pelkästään äänen häiritsevyyttä ja osakokeessa B (23 tutkittavaa) pelkästään äänten äänekkyyttä. Osakokeeseen B rekrytoitiin eri tutkittavat kuin osakokeeseen A, mutta osakokeiden sukupuolijakaumat ja keski-iat eivät poikenneet merkittävästi toisistaan. Tutkittavat äänet (72 kpl) soitettiin äänitasolla 40 dB  $L_{Aeq}$ . Äänet koostuivat amplitudimoduloiduista (7), impulssimaisista (14), kapeakaistaisista (12) ja spektriltään erilaisista (12) äänistä. Tämän lisäksi mukana oli veden, liikenteen, teollisuuden ja koneiden ääniä (15). Yhteensä tutkittavia ääniä oli 60 kpl. Sanktion määrittämiseksi esitettiin vielä 12 laajakaistaista referenssiääntä tasoilla 28–61 dB  $L_{Aeq}$ .

**Tulokset.** Kaikkia tuloksia ei ole vielä analysoitu, koska koe päättyi vasta elokuussa 2019. Alustavien analyysien perusteella osakokeiden raakadatat ovat hyvälaatuisia ja julkaisukelpoisia.

**Julkaisut.** Osatutkimus ei ole tuottanut toistaiseksi julkaisuja.

### 3.8 Tuulivoimalamelun häiritsevyys asuinympäristöissä

**Tarve.** Tuulivoimalamelun häiritsevyydestä oli Anojanssi-projektin suunnitteluvaiheessa (2014–2015) vertaisarvioituja tutkimustuloksia käytettävissä vain ulkomailta. Suomessa julkaistun tuulivoimalamelun terveystaakatuksia koskeneen kirjallisuustutkimuksen perusteella ulkomainen tieto nojautui alle 1,5 MW voimaloihin (Hongisto, 2014). Koska suurin osa Suomeen toteutetuista voimaloista oli tätä suurempia ja erityisesti tulevaisuuden voimat nähtiin toteutettavan pääosin yli 3 MW kokoisina, tarvittiin suomalaista tutkimustietoa erityisesti siitä, miten häiritseväni suuret (3 MW tai yli) voimat koetaan ja mitkä tekijät ovat yhteydessä häiritsevyyteen.

**Tavoite.** Tutkimuksessa oli kolme osatavoitetta: **A.** mallinnetun tuulivoimalan äänitason luotettavuuden tarkastelu, **B.** tuulivoimalamelun annosvastesuhteen määrittely sekä **C.** häiritsevyyden kanssa yhteydessä olevien ei-akustisten tekijöiden kartoitus.

**Menetelmät.** Yhteensä 753 taloutta kolmen toiminnassa olevan tuulivoima-alueen läheltä (alle 2 km) kutsuttiin tutkimukseen. Kysymykseen melun häiritsevyydestä vastasi 400 asukasta (vastausaste 53 %). Tuulivoimaloiden äänitehotaso määritettiin kullekin voimalatyypille käyttäen valmistajan antamia äänitehotasoja.  $L_{Aeq}$  pihamaalla määritettiin mallintamalla (YM, 2014a). Mallinnettu äänenpainetaso tarkistettiin lyhytaikaisin mittauksin 8 pisteessä (YM, 2014b). Lisäksi yhdessä pisteessä seurattiin äänitasoa 5 kuukautta lyhytaikaisen mittauksen luotettavuuden arvioimiseksi. Rakennusten julkisivujen korkeimmat äänitasot liitettiin kyselyvastauksiin. Tuulivoimalamelun häiritsevyyttä sisätiloissa arvioitiin Pedersenin tuulivoimalamelututkimuksissa (ks: Hongisto, 2014) käytetyllä tavalla (**kuva 3**). Tämän lisäksi nelisivuisella kyselyllä selvitettiin asukkaiden mielipiteitä useisiin ei-akustisiin tekijöihin liittyen.

**Tulokset.** Osatavoite **A.** Tuulivoimalamelun lyhytaikaiset melumittaukset osoittivat mallinnetut äänenpainetasot luotettaviksi. Tulokset vahvistuivat sillä, että pitkäaikaismittauksessa ei löytynyt lyhytaikaisia mittauksia korkeampia äänenpainetasoja. Osatavoite **B.** Tuulivoimalamelun annosvastesuhde on **kuva 4**. %HA kuvaa

melun erittäin häiritseväksi kokoneiden osuutta. %HA lähtee kasvuun, 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. Osatavoite C. 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 henkilön asenne tuulienergiaa kohtaan oli negatiivinen.

**Johtopäätökset.** Tuulivoimalamelun mallintaminen ympäristöhallinnon ohjeen mukaan (YM, 2014a) tuottaa luotettavia tuloksia. Projektissa luotiin ensimmäinen suurten tuulivoimaloiden melun häiritsevyyttä kuvaava annosvastesuhde. Tulokset eivät eronneet aiemmin julkaistuista annosvastesuhteista, vaikka aiemmat tulokset koskivat pieniä voimaloita. Tuulivoimalamelu koetaan erittäin häiritsevänä alhaisemmilla äänitasoilla kuin tieliikennemelu tai murskaamomelu. Vaikka tuulivoimalamelun häiritsevyyys näyttää annosvastesuhteen mukaan riippuvan äänitasosta, äänitaso selittää yksilöiden kokemusta äänen häiritsevyydestä vain 10 % ja loppu johtuu muista tekijöistä. Tämän tutkimuksen mukaan ei-akustiset tekijät olivat merkittävästi voimakkaammin yhteydessä melun häiritsevyyteen kuin äänitaso. Tuloksia voidaan hyödyntää ympäristömelun vaikutusten arvioimisessa Suomessa.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [2], [5], [11], [12], [19], [25], [26], [38], [41] ja [45].

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

KUVA 3.

Melun häiritsevyyttä sisällä selvitettiin kysymyksellä ”Kuinka häiritsevinä koet XX äänet sisällä kotonasi?” Kysymyksen vastausasteikko on kuvassa. Äänilajivaihtoehdot kohtaan XX olivat: tuulivoimaloiden, tieliikenteen, kivimurskaamon tai voimalaitoksen. Analyysivaiheessa vastaukset sijoitettiin jatkuvalle 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 häiritseväksi kokoneiden osuus (%HA) laskettiin siitä, kuinka suuri osa vastaajista sijoittui polynomimallissa rajan 72 % yläpuolelle. Käytännössä %HA riippuu lähes pelkästään siitä, kuinka suuri osa vastaajista on antanut arvon 5.



### 3.9 Tieliikennemelun häiritsevyys asuinympäristöissä

**Tarve.** Ylivoimaisesti suurin ympäristömelulähde on tieliikenne. Äänitason vaikutusta melun häiritsevyyteen kuvataan annosvastesuhteella (dose-response relationship) (EC, 2002). Annosvastesuhteet ovat kuitenkin eronneet toisistaan merkittävästi eri tutkimuksissa, mitä ei ole osattu kovin hyvin selittää (Schultz, 1978; Fidell et al., 1991). Asuinalueella saattaa olla vaikutusta tieliikennemelun annosvastesuhteeseen. Kaupungissa asuvien on havaittu olevan vähemmän häiriintyneitä moottoritiemelusta kuin esikaupungissa tai maaseudulla asuvien (Lercher et al., 2008). Tietyyppi saattaa vaikuttaa annosvastesuhteeseen, sillä taajuusjakauma riippuu nopeusrajoituksesta ja ajoneuvotyypeistä [3]. Asuintalotyypillä saattaa olla vaikutusta melun kokemiseen, koska pientaloasukkaat viettävät enemmän aikaa pihamaalla kuin kerrostaloasukkaat. Moottoritien lähellä asuvien on havaittu olevan ulkona häiriintyneempiä tieliikennemelusta kuin kaupungissa asuvien ja vastaavasti pientalossa asuvien on havaittu olevan ulkona tieliikennemelusta häiriintyneempiä kuin kerrostalossa asuvien (Fryd & Pedersen, 2016).

**Tavoite.** Osatutkimuksen tavoitteena oli: **A.** Määrittää pohjoismaisen melunleviämismallin luotettavuus. **B.** Määrittää tieliikennemelun annosvastesuhde alueella 40–80 dB  $L_{Aeq,07-22}$ . **C.** Määrittää annosvastesuhteet eri tie- ja asuintalotyypeille. **D.** Analysoida, miten ei-akustiset tekijät ovat yhteydessä tieliikennemelun häiritsevyyteen.

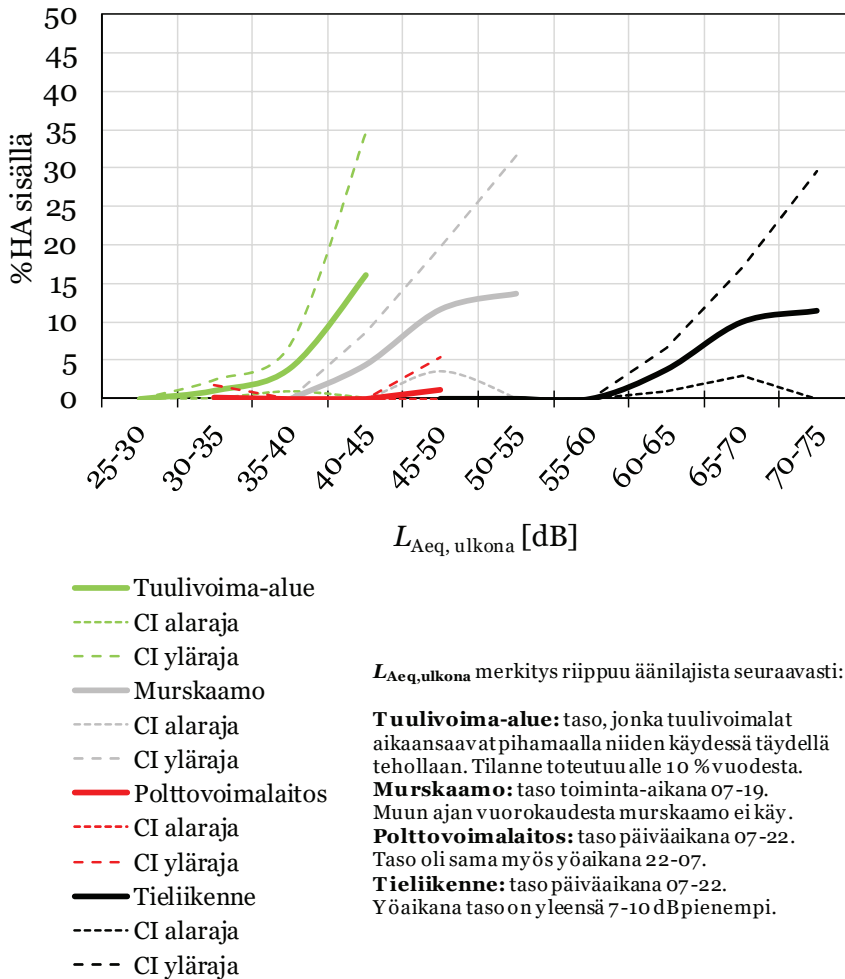
**Menetelmät.** Yhteensä 3 077 taloutta 18 eri asuinalueelta kutsuttiin tutkimukseen. Mukana oli asukkaita pientaloista ja kerrostaloista sekä moottoriteiden, keskinopeiden teiden ja kaupunkiteiden varsilta. Kyselyyn vastasi 833 asukasta (vastausaste 27 %). Tieliikennemelu pihamaalla mallinnettiin liittämällä rakennusten julkisivujen korkeimmat  $L_{Aeq,07-22}$  arvot kyselyvastauksiin. Tieliikennemelu mitattiin 15 eri asuinalueella mallinnustuloksen tarkistamiseksi. Melun häiritsevyyttä sisätiloissa arvioitiin **kuvan 3** asteikon mukaan.

**Tulokset.** **A.** Mitatut tieliikennemelun arvot olivat hyvin linjassa mallinnettujen kanssa, joten mallinnettu meluallistutus pihamaalla oli luotettava. **B.** Tieliikennemelun annosvastesuhde on **kuvassa 4**. %HA käyrä lähtee nousemaan vasta, kun  $L_{Aeq,07-22}$  pihamaalla ylittää 60 dB. %HA ei ylitä viittätoista prosenttia, vaikka  $L_{Aeq,07-22}$  pihamaalla ylittää 70 dB. Vyöhykkeellä 70–75 dB tulokseen liittyy epävarmuuksia, koska vastaajia oli vain 12. **C.** Tietyyppi tai asuintalotyyppi eivät vaikuttaneet annosvastesuhteeseen, kun tieliikenteen äänitaso pihamaalla alittaa 65 dB. Tätä suuremmilla

tieliikenteen äänitasoilla melusta erittäin häiriintyneitä oli suhteessa eniten keskino-pean tien varrella tai omakotitalossa asuvilla. **D.** 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.

**Johtopäätökset.** Näyttäisi siltä, että tieliikennemelua ei koeta sisätiloissa häiritsevänä, kun äänitaso ulkona alittaa ympäristöministeriön mukaisen enimmäisarvon 55 dB päiväaikaan. Vaikuttaisi siltä, että tietyypillä ja asuintalon tyyppillä on vaikutusta annosvastesuhteeseen, kun tieliikenteen äänitaso pihamaalla ylittää 65 dB. Tuloksilla voidaan osittain selittää sitä, miksi tieliikennemelun annosvastesuhteissa on havaittu suuria eroja eri tutkimusten/alueiden kesken. Tuloksia voidaan hyödyntää ympäristömelun vaikutusten arvioimisessa Suomessa.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [16], [29], [31] ja [36].



KUVA 4.

Eri ympäristöäänälajien annosvastesuhteet sekä näiden 95 % luottamusvälit (CI-katko-viivat). Vaaka-akselilla esitetään keskiäänitaso rakennuksen äänekkäimmällä julkisivulla ja pystyakselilla melusta erittäin paljon häiritsevyyttä sisätiloissa raportoineiden osuus (%HA, *percentage of highly annoyed*). Mitä suurempi arvo on, sitä suurempi todennäköisyys on sille, että tälle äänitasolle altistuva kokee melun erittäin häiritsevänä sisätiloissa. Kuva on laadittu eri melulajien annosvastesuhteiden vertailemiseksi. Osatutkimusten 810 julkaisuissa on esitetty tarkemmat tulokset ja myös tuloksia 11-portaista vastausasteikkoa käyttäen, jotka poikkeavat tässä esitetyistä.

### 3.10 Murskaamomelun häiritsevyys asuinympäristöissä

**Tarve.** Kiviainestuotannon melusta valitetaan kohtalaisen usein, jos tuotanto sijoittuu muutoin hiljaiselle alueelle. Kiviainestuotantoon liittyy myös pöly ja raskas tieliikenne sinne johtavilla väylillä. Kiviainestuotantolaitoksessa syntyy melua eri työvaiheiden ajalta ainakin seitsemästä eri toiminnosta; porauksesta, räjäytyksestä, louhinnasta, rikotuksesta, murskauksesta, generaattorin käytöstä ja kiviainesta kuljettavista työkoneista. Kiviainestuotannon melun annosvastesuhdetta ei ole saatavilla. Tietoa tarvitaan, koska ympäristölupapäätöksissä ja liiketoiminnassa tarvitaan tietoa melun vaikutuksista.

**Tavoite.** Tavoitteena on määrittää murskaamomelun annosvastesuhde. Kiviainestuotannon työvaiheista tarkasteltavaksi valittiin murskausvaihe, sillä se on pitkäaikaisin ja äänitasoltaan melko vakiona pysyvä toiminto.

**Menetelmät.** 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.  $L_{Aeq}$  tutkittavien pihamaille määritettiin mallintamalla ja rakennusten julkisivujen korkeimmat  $L_{Aeq}$  arvot liitettiin kyselyvastauksiin. Melun häiritsevyyttä sisätiloissa arvioitiin **kuvan 3.3** asteikon mukaan. Kesämökkejä ei huomioitu, koska näissä vietetään aikaa erittäin vähän ja melun mahdolliset terveysvaikutukset jäävät talviasukkaita merkittävästi pienemmiksi.

**Tulokset.** Murskaamomelun annosvastesuhde on **kuvasa 4**. %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.

**Johtopäätökset.** Tutkimus tuotti luultavasti ensimmäisen kiviainestuotannon melun häiritsevyyttä koskevan annosvastesuhteen. Tutkituilla alueilla murskaamomelua ei koeta sisätiloissa häiritsevänä, kun äänitaso ulkona alittaa 40 dB  $L_{Aeq}$ . Tuloksia voidaan hyödyntää ympäristömelun vaikutusten arvioimisessa Suomessa.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisun [35].

### 3.11 Polttovoimalaitoksen melun häiritsevyys asuinympäristöissä

**Tarve.** Voimalaitosten melun annosvastesuhdetta ei ole määritetty Suomessa. Tietoa tarvitaan, koska ympäristölupapäätöksissä ja liiketoiminnassa tarvitaan tietoa ympäristövaikutuksista.

**Tavoite.** Tavoitteena oli määrittää voimalaitosmelun annosvastesuhde.

**Menetelmät.** Tutkimus toteutettiin yhden suomalaisen taajamaan sijoittuvan mäntämoottorivoimalaitoksen lähiympäristössä. Kyselytutkimuksen kutsuttiin 401 asukasta, jotka sijaitsivat 0,10-1,0 km päässä voimalaitoksen piipusta. Näistä 86 palautti kyselyn. Voimalaitoksen äänitehotaso määritettiin mittauksin. Vastaajien pihamaalla vallitseva voimalaitoksen äänitaso  $L_{Aeq}$  määritettiin mallintamalla ja kyselyvastauksiin liitettiin rakennusten julkisivujen korkeimmat mallinnetut  $L_{Aeq}$  arvot. Vastajaat sijoitettiin viiteen äänitasovyöhykkeeseen: 25–30 dB, 30-35 dB, 35–40 dB, 40–45 dB ja 45–50 dB. Kysely toteutettiin talvijaksona, jolloin voimalaitos oli päällä tauotta 3 viikkoa. Kyselyt saapuivat asukkaille seitsemäntenä päivänä voimalaitoksen käynnistymisestä ja vastausaikaa oli 2 viikkoa. Kaikki vastaukset oli täytetty aikana, jolloin voimala oli ollut käynnissä. Melun häiritsevyyttä sisätiloissa arvioitiin **kuvan 3** asteikon mukaan.

**Tulokset.** Annosvastesuhde (**kuva 4**) voitiin määrittää luotettavasti äänitasovyöhykkeille 30–35 dB, 35–40 dB, ja 45–50 dB, joihin kuhunkin sijoittui vähintään 20 vastaajaa. Muissa vyöhykkeissä vastaajamäärä oli alle 10.

**Johtopäätökset.** Mäntämoottorivoimalaitoksen melu ei näyttänyt aiheuttavan korkeaa melun häiritsevyyttä, kun äänitaso pihamaalla on korkeintaan 50 dB  $L_{Aeq}$ .

**Julkaisut.** Osatutkimus ei tuota vertaisarvioituja julkaisuja, koska vastaajamäärä on pieni ja tutkittavana oli vain yksi voimalaitos.

### 3.12 Asumisterveys tuulivoima-alueen läheisyydessä

**Tarve.** Tuulivoiman läheisyyden on väitetty vaikuttavan negatiivisesti terveyteen. Aihetta on tutkittu Suomessa kerran (Turunen ym., 2016), eikä siinä havaittu yhteyttä tuulivoiman läheisyyden ja terveysoireiden välillä. Tutkimuksessa oli alle 2,5 km säteellä tuulivoimaloista vain 378 vastaajaa. Kyseisen vyöhykkeen sisällä ei esitetty tuloksia kapeammilla etäisyysvyöhykkeillä.

**Tavoite.** Tavoitteena oli selvittää, onko tuulivoimaloiden äänitasolla yhteyttä häiritsevyyteen, terveyteen ja hyvinvointiin. Tutkimus haluttiin toteuttaa alueella, jossa alle 2,5 km etäisyydellä voimaloista sijaitisi mahdollisimman paljon asukkaita.

**Menetelmät.** Toteutettiin ympäristöepidemiologinen kyselytutkimus kolmen tuulivoima-alueen lähellä asuvien parissa. Etäisyys lähimpään voimalaan oli 0,9–2,7 km. Kontrolliryhmä sijaitsi 6,8–8,0 km päässä tuulivoimaloista. Kysely lähetettiin 3 051 asukkaalle. Vastauksia saatiin kontrolliryhmästä 121 ja tuulivoimaloiden läheltä 563, yhteensä 684 vastaajaa. Vastausaste oli 22 %. 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 koskisi nimenomaan tuulivoimaa. Tuulivoimaloiden äänitaso mallinnettiin pihamaalle käyttäen valmistajan ilmoittamia äänitehotasoja, jotka oli varmistettu projektin aikana tehdyin emissiomittauksin. Vastaajat tuulivoima-alueelta jaettiin tuulivoimamelualueittain mukaan 3 tuulivoimameluryhmään: <25 dB (N=151), 25–30 dB (N=321) ja 30–36 dB (N=86). Tämän lisäksi mallinnettiin tieliikenteen äänitaso pihamaille, koska pihamaat olivat hyvin erilaisia tieliikennemelun määrän suhteen.

**Tulokset.** Tuloksia ei ole vielä lähetetty julkaistavaksi, koska analysointi on kesken.

**Julkaisut.** Osatutkimus ei ole vielä tuottanut julkaisuja.

### 3.13 Melun aiheuttama stressi

**Tarve.** Äänellä on havaittu kolmen tyyppisiä vaikutuksia ihmiseen: psykologiset vaikutukset (esim. häiritsevyyden tai kuormittavuuden), fysiologiset vaikutukset (esim. verenpaine, syke, sykevälivaihtelu HRV, stressihormonipitoisuus) ja kognitiiviset vaikutukset (esim. suoriutumisen erityyppisistä tehtävistä). Aikaisemmat tutkimukset on toteutettu pääosin vain yksittäisille äänilajeille ja vaikutuksia on tarkasteltu vain yhdessä tai korkeintaan kahdessa eri vaikutuskategoriassa. Tutkimuksista ei synny kuvaa siitä, miten ympäristömelun sanktioitavat erityispiirteet vaikuttavat ihmiseen kokonaisvaltaisesti tarkasteltuna. Lisäksi ei tiedetä, minkälaisia vaikutukset ovat suhteessa elinympäristömme yleisimpään äänilajiin, joka on puheääni. Koska ympäristömelun on ajateltu lisäävän kuormaa erityisesti keskittymistä vaativan

työn lisänä, valittiin tarkastelun kohteeksi melun vaikutus ihmiseen keskittymistä vaativaa työtä tehtäessä.

**Tavoite.** Tavoitteena oli selvittää sekä lääketieteellisen että psykologisen tutkimuksen keinoin, mitä akuutteja vaikutuksia erityyppisillä äänilajeilla on ihmisiin heidän tehdessä keskittymistä vaativia tehtäviä. Tutkimuksessa tarkasteltiin äänen vaikutuksia fysiologisiin ja psykologisiin vasteisiin ja suoriutumiseen.

**Menetelmät.** Laboratoriokokeeseen rekrytoitiin viisi noin 20 tutkittavan ryhmää, yhteensä 102 tutkittavaa. Kukin ryhmä altistettiin erilaisille äänilajeille. Äänilajit olivat laajakaistaääni (65 dB), kapeakaistaääni (65 dB), impulssiääni (65 dB), puheääni (65 dB) ja hiljaisuus (=laajakaistaääni tasolla 35 dB  $L_{Aeq}$ ). 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. Noin 50 minuuttia kestäneen äänialtistuksen aikana tehtiin kolme erilaista työmuistitehtävää. Kyselyjä esitettiin jokaisen tehtävän jälkeen. Yksilöiden välisen vaihtelun takia fysiologisilla ja psykologisilla muuttujilla tarkasteltiin muutosta äänitilanteessa suhteessa referenssitilanteeseen (**Taulukko 3**). Näin saatuja muutosarvoja verrattiin muilla ääniryhmillä hiljaisuusryhmän arvoihin. Äänitilanteessa suoriutumista verrattiin suoraan hiljaisuudessa suoriutumiseen.

**Tulokset.** Kortisolitason muutos palautumistilanteeseen nähden on esitetty **taulukossa 3** ja **kuvassa 5**. Odotusten mukaan hiljaisuudessa kortisolitaso ei muuttunut merkitsevästi lepotilanteeseen nähden. Koska tämä vastaa tilannetta ilman mitään äänialtistusta (hiljaisuus), muiden äänilajien aiheuttamia vaikutuksia voidaan verrata siihen. Kortisolipitoisuus oli merkitsevästi suurempi äänilajeissa laajakaistaääni, impulssiääni ja puheääni kuin hiljaisuudessa. Kapeakaistaäänien kohdalla ero hiljaisuuteen oli lähes merkitsevä. Tutkimus on ainutlaatuinen, koska se sisälsi useita äänilajeja kattaen kaikki tärkeimmät melun erityispiirteet.

**Johtopäätökset.** Kaikilla äänilajeilla voitiin havaita akuutteja fysiologisia ja psykologisia stressivaikutuksia. Tulokset vaikuttavat merkittävästi käsityksemme äänen vaikutuksista ihmiseen.

**Julkaisut.** Osatutkimus tuotti **liitteen 1** julkaisut [20], [37], [40] ja [42–44].

TAULUKKO 3.

Osatutkimuksen 13 tulokset. Tulosmuuttujasarake kertoo eroavatko äänilajit toisistaan (päävaikutus). Punaiset ruudut osoittavat äänilajit, joissa muuttujan arvot erosivat merkitsevästi hiljaisuuden arvoista negatiiviseen suuntaan. Vihreät ruudut kuvaavat päinvastaista löydöstä.

Tulosmuuttuja <sup>a</sup>	Referessi	Äänilaji			
		Laajakaista	Kapeakaista	Impulssi	Puhe
<b>Subjektiiiset muuttujat</b>					
<i>Häiritsevyys</i> ***	Perustilanne	**	***	***	***
<i>Kuormittavuus</i> **	Perustilanne	ns	*	***	**
<i>Väsymys</i> **	Perustilanne	ns	ns	ns	**
<i>Energian puute</i> *	Perustilanne	ns	ns	**	ns
<i>Motivaation puute</i> *	Perustilanne	ns	*	ns	ns
<b>Suoritusmuuttujat</b>					
<i>Auditiivinen sarjamuisti (As)</i> <sup>x</sup>	-	ns	ns	ns	x
<i>Visuaalinen sarjamuisti (Vs)</i>	-	ns	ns	ns	ns
<i>3-back</i> **	-	*	ns	***	*
<b>Fysiologiset muuttujat</b>					
<i>Kortisoli</i> *	Palautumistilanne	*	ns	***	**
<i>Noradrenaliini</i> **	Perustilanne	ns	ns	*	ns
<i>Systolinen verenpaine</i>	Perustilanne	ns	ns	ns	ns
<i>Diastolinen verenpaine</i>	Perustilanne	ns	ns	ns	ns
<i>HRV<sub>stressi(LF/HF)</sub>As</i>	Perustilanne	ns	ns	ns	ns
<i>HRV<sub>stressi(LF/HF)</sub>Vs</i>	Perustilanne	ns	ns	ns	ns
<i>HRV<sub>stressi(LF/HF)</sub>n-back</i> <sup>x</sup>	Perustilanne	ns	x	ns	x

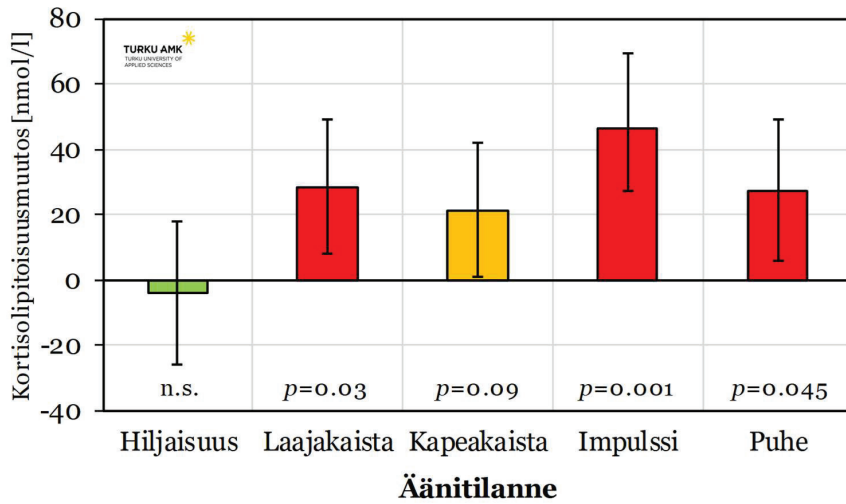
<sup>a</sup> Äänitilannetta on verrattu hiljaisuuteen vain jos päävaikutus ko. muuttujalla on merkitsevä.

x=Taustaaänen ja position tai ajan interaktio merkitsevä.

Eron tilastollinen merkitsevyys:

\*p<0.05 merkitsevä, \*\*p<0.01 erittäin merkitsevä, \*\*\*p<0.001 erittäin merkitsevä. ns=ei merkitsevä





KUVA 5.

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

# 4 Jatkotutkimustarpeet

Lähivuosina Turun ammattikorkeakoulussa toteutettava aihepiirin tutkimus keskittyy julkaisemattomien osatutkimusten analysointiin, käsikirjoitusten laatimiseen ja julkaisemiseen. Nämä on kuvattu otsikkotasolla **liitteen 1** lopussa. Lisäksi käytetään voimavaroja tulosten jalkauttamiseen. Anojanssi-projekti on vastannut alkuperäisen projektisuunnitelmansa mukaisiin tavoitteisiin kokonaisuutena vasta, kun nämäkin tulokset on julkaistu.

Anojanssi-projekti on ollut tieteelliseltä vaikuttavuudeltaan merkittävä ympäristömelun vaikutuksia koskeva tutkimusprojekti. Projektin avulla on pystytty nostamaan suomalaisen tutkimuksen taso kansainväliselle tasolle. Kansainvälisen vaikuttavuuden aikaansaamiseksi tarvitaan tämän aihepiirin pysyväluonteista tutkimusta, koska yksittäisen tutkimusprojektin vaikuttavuus jää lyhytaikaiseksi. Esimerkiksi standardisointiin vaikuttaminen vaatii useiden vuosien tai vuosikymmenien pitkäjänteisen panostuksen ja tuona aikana tulisi syntyä myös uutta tutkimustietoa.

Jatkotutkimuksissa kannattaisi keskittyä sellaisten aihepiirien tutkimukseen, joihin liittyy suurta standardisointityöryhmien ja lainsäätäjien mielenkiintoa. Näitä lienevät melun erityispiirteitä koskeneet psykoakustiset laboratorioskokeet (kapeakaistaisen, amplitudimoduloidun ja impulssimaisen melun häiritsevyysanktiointi: osatutkimukset 2, 3, 4, 6, 7). Näillä löydöksillä olisi mahdollisuus vaikuttaa mm. standardien sisältöön koskien sanktiointisuosituksia.

Standardisointiin vaikuttaminen edellyttää intensiivistä osallistumista kansainvälistä verkostoitumista. Yksittäisen maan julkaisemia yksittäisiä tuloksia ei yleensä pidetä riittävänä näyttönä muuttaa olemassa olevia standardoituja käytäntöjä, vaikka ne eivät perustuisikaan laajaan psykoakustiseen tieteelliseen näyttöön. Jatkotutkimuksissa kannattaisi syventää osatutkimusten 2–4 tuloksia yhteistyössä ulkomaisen psykoakustiikan tutkimusryhmien kanssa tehtävillä laboratorioskokeilla.

# Liitteet

## Liite 1. Projektin tuottama kirjallisuus

### Tieteelliset vertaisarvioidut julkaisut (10 kpl)

1. Oliva, D., Hongisto, V., Haapakangas, A. (2017). Annoyance of low-level tonal sounds - factors affecting the penalty, **Building and Environment**, 123 404–414.
2. Hongisto V, Keränen J, Oliva D, Indoor noise annoyance due to 3-5 MW wind turbines - an exposure-response relationship, **The Journal of the Acoustical Society of America**, 142(4) 2017 2185–2196. Open access at: <http://dx.doi.org/10.1121/1.5006903>.
3. Hongisto, V., Oliva, D., Rekola, L. (2018). Subjective and objective rating of the sound insulation of residential building façades against road traffic noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 144 1100–1112. DOI: 10.1121/1.5051647.
4. Hongisto, V., Saarinen, P., Oliva, D. (2019). Annoyance of low-level tonal sounds – A penalty model. **Applied Acoustics** 145 358–361.
5. Radun, J., Hongisto, V., & Suokas, M., (2019). Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance. **Building and Environment**, 150 339–348.
6. Keränen, J., Hongisto, V., Hakala, J. (2019). The sound insulation of façades at frequencies 5-5000 Hz. **Building and Environment**, 156 12–20.
7. 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.
8. Haapakangas, A., Hongisto, V., Oliva, D. (2019). Audio-visual interaction in perception of industrial plants – Effects of noise level and visual masking by vegetation. **Applied Acoustics**, 160, 107121.

9. Rajala, V., Hongisto, V. (2020). Annoyance penalty of impulsive noise – the effect of impulse onset. **Building and Environment** 168, 106539.
10. Myllyntausta, S., Virkkala, J., Salo, P., Varjo, J., Rekola, L., Hongisto, V. (2020). Effect of the frequency spectrum of road traffic noise on sleep: A polysomnographic study. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 147(4) 2139-2149.

### Ulkomaiset kongressijulkaisut (12 kpl)

11. Hongisto V, Oliva D, Noise annoyance caused by large wind turbines – a dose-response relationship, **12<sup>th</sup> ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem**, 18-22.6.2017 Zurich, Switzerland. Available at: [http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea06\\_Hongisto\\_0610\\_4059.pdf](http://www.icben.org/2017/ICBEN%202017%20Papers/SubjectArea06_Hongisto_0610_4059.pdf).
12. 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. Available at: [http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/472\\_Euronoise2018.pdf](http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/472_Euronoise2018.pdf).
13. Hongisto, V., Oliva, D. (2018). Preferred sound masking spectrum. Conf. Proc. **Euronoise 2018**. 1879-1882. ISSN 1116-5147. 27-31 May 2018, Hersonissos, Crete, Greece. Available at: [http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/317\\_Euronoise2018.pdf](http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/317_Euronoise2018.pdf).
14. Hongisto, V., Oliva, D. (2018). Annoyance penalty of low-level tonal sounds. Conf. Proc. **Euronoise 2018**. 1583-1587. ISSN 1116-5147. 27-31 May 2018, Hersonissos, Crete, Greece. Available at: [http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/266\\_Euronoise2018.pdf](http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/266_Euronoise2018.pdf).
15. 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. Available at: [http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/259\\_Euronoise2018.pdf](http://www.euronoise2018.eu/docs/papers/259_Euronoise2018.pdf).
16. Maula, H., Hongisto, V., Saarinen, P. (2018). Noise annoyance from road traffic in Finland. In proceedings of the **15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality & Climate (ISIAQ)**, Philadelphia, USA, July 22-27.

17. 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>.
18. Hongisto, V., Myllyntausta, S. (2019). The effect of road traffic noise spectrum on sleep. Paper 940. **Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, 9–13 Sep, 2019**, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000940.pdf>.
19. 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>.
20. Radun, J., Hongisto, V., Maula, H., Rajala, V., Al-Ramahi, D., Scheinin, M. (2019). Physiological, psychological, and performance effects of office noise. Paper 607. **Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, 9–13 Sep, 2019**, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000607.pdf>.
21. Rajala, V., Hakala, J., Hongisto, V. (2019). Equal annoyance contours at frequencies 4 – 1000 Hz. Paper 533. **Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019, 9–13 Sep, 2019**, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000533.pdf>.
22. 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, 2019**, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000530.pdf>.

### **Suomalaiset seminaarijulkaisut (18 kpl)**

23. Hongisto V, Haapakangas A, Oliva D, Virjonen P, Keränen J, Hakala J, Anojansi – tutkimus melun häiritsevyydestä, **Sisäilmastoseminaari 2016**, 16.3.2016 Helsinki, Sisäilmayhdistys ry. raportti 34, 255–260, Helsinki. (poster)

24. Oliva D, Hongisto V, Asuntoon kuuluvan kapeakaistaisen melun sanktiointi, **Sisäilmastoseminaari 2017**, 15.3.2017, Helsinki, Sisäilmayhdistys ry., Raportti 35, 139–144. (poster)
25. 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). [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat\\_2017\\_s164.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s164.pdf).
26. 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). [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat\\_2017\\_s158.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s158.pdf).
27. 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). [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat\\_2017\\_s123.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s123.pdf).
28. Oliva D, Hongisto V, Asuntoon kuuluvan kapeakaistaisen melun sanktiointi – laboratoriotutkimus, **Akustiikkapäivät 2017**, s. 105–110, 24–25.8.2017 Espoo, Akustinen Seura ry., Espoo, 2017 (ISBN 978-952-60-3734-9). [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat\\_2017\\_s105.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s105.pdf).
29. Maula H, Hongisto V, Haapakangas A, Saarinen P, Tieliikennemelun häiritsevyydetutkimuksen suunnitelma, **Akustiikkapäivät 2017**, s. 81–85, 24–25.8.2017 Espoo, Akustinen Seura ry., Espoo, 2017 (ISBN 978-952-60-3734-9). [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat\\_2017\\_s81.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2017/08/akustiikkapaivat_2017_s81.pdf).
30. Hongisto V, Keränen J, Hakala J, Julkisivurakenteiden ääneneristävyys pientaajuuksilla, **Rakennusfysiikka 2017**, 24–26.10.2017, Tampere, 571–576, Tampereen teknillinen yliopisto. ISBN 978-952-15-4023-3.
31. Maula, H., Hongisto, V., Saarinen, P. (2018). Tieliikennemelun häiritsevyys asunnoissa eri äänitasoilla. **Sisäilmastoseminaari 2018**, 15.3.2018 Helsinki, Sisäilmayhdistys ry., Raportti 36, 257–262. ISBN 978-952-5236-46-0.

32. Hongisto V, Myllyntausta, S. (2019). Tieliikennemelun taajuusjakauman vaikutus unen laatuun. **Sisäilmastoseminaari 2019**, 14.3.2019 Helsinki, Sisäilmayhdistys ry., Raportti 37, 351–356. ISBN 978-952-5236-49-1.
33. Hongisto, V. (2019). Anojanssi –projektin tulokset: ympäristömelun häiritsevyys. **Akustiikkapäivät 2019**, Oulu, 28–29.10.2019, 276–283, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat\\_2019\\_s276.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s276.pdf).
34. Hongisto, V., Virjonen, P. (2019). Amplitudimoduloidun 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](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s284.pdf).
35. Maula, H., Hongisto, V., Keränen, J., Saarinen, P. (2019). Murskaamomelun häiritsevyys elinympäristöissä. **Akustiikkapäivät 2019**, Oulu, 28–29.10.2019, 293–296, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat\\_2019\\_s293.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s293.pdf).
36. Maula, H., Hongisto, V., Saarinen, P. (2019). Tieliikennemelun häiritsevyys elinympäristöissä eri äänitasoilla. **Akustiikkapäivät 2019**, Oulu, 28–29.10.2019, 288–292, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat\\_2019\\_s288.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s288.pdf).
37. Radun, J., Hongisto, V., Maula, H., Rajala, V., Al-Ramahi, D., Scheinin, M. (2019). Eri tyyppisten äänten fysiologiset, psykologiset ja suoriutumisvaikutukset. **Akustiikkapäivät 2019**, Oulu, 28–29.10.2019, 297–300, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat\\_2019\\_s297.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s297.pdf).
38. 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](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s301.pdf).

39. Rajala, V., Hongisto, V. (2019). Impulssimaisen melun sanktiointi. **Akustiikkapaivat 2019**, Oulu, 28–29.10.2019, 307–312, Akustinen Seura ry., Espoo. ISBN 978-952-60-3784-4. [http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat\\_2019\\_s307.pdf](http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2019/10/akustiikkapaivat_2019_s307.pdf).
40. Hongisto, V., Radun, J., Maula, H., Rajala, V., Scheinin, M. (2020). Äänen fysiologiset, psykologiset ja työtehoon liittyvät vaikutukset. **Sisäilmastoseminaari 2020**, 10.3.2020, Helsinki, Sisäilmayhdistys raportti 38, 299-302, ISBN 978-952-5236-50-7.

#### **Opinnäytetyöt (4 kpl)**

41. Suokas, M. (2016). Tuulivoimalamelun häiritsevyyden tutkiminen. Pro Gradu -tutkielma. 29 s., Matematiikan ja tilastotieteen laitos, **Turun yliopisto**, Turku.
42. Saukkonen, K. (2019). Plasman katekolliamiinien analysointi HPLC-EC-menetelmällä. Menetelmän optimointi ja menetelmäohjeen päivittäminen. Bioanalytiikan opinnäytetyö (AMK). 31+14 s. **Turun ammattikorkeakoulu**, Turku. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019121626828>.
43. Aaltonen, M., Tuomisto, J.-M. (2019). Laboratoriomanuaalipohja TUASLabille. Laboratoriomanuaalipohjan esitelmä tutkimushankkeessa. Bioanalytiikan opinnäytetyö (AMK). 24 s. **Turun ammattikorkeakoulu**, Turku. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201905078085>.
44. Kulmala, J., Salonen, N. (2019). Perifeerisen laskimon kanylointi ja näytteenotto kanyylistä. Ohje bioanalytikoille. Bioanalytiikan opinnäytetyö (AMK). 43+8 s. **Turun ammattikorkeakoulu**, Turku. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201905027280>.

#### **Suomenkieliset artikkelit tai raportit (4 kpl)**

45. Hongisto V, Suokas M, Varjo J, Yli-Kätkä V-M, Tuulivoimalamelun häiritsevyys kahdella tuulivoima-alueella, Ympäristö ja Terveys-lehti, 6 2015 54–59. [https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/794-Hongisto\\_ym\\_2015\\_Ymparisto\\_ja\\_Terveys.pdf](https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/794-Hongisto_ym_2015_Ymparisto_ja_Terveys.pdf).



46. Hongisto V, Miten ympäristömelua pitäisi mitata, jotta tulos edustaisi koettua häiritsevyyttä? Ympäristö ja Terveys-lehti, 2 2017 6–12.
47. Hongisto V. ja Oliva D. (2017). Tuulivoimaloiden infraäänien ja niiden terveysvaikutukset. Turun ammattikorkeakoulun raportteja 239, Turku. ISBN PDF 978-952-216-653-1. Available at: <http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522166531.pdf>.
48. Hongisto, V. (2020). Miksi ympäristömelu häiritsee? Anojanssi-projektin loppuraportti. Turun ammattikorkeakoulu, Turku.

### **Suunnitteilla olevat käsikirjoitukset (12 kpl)**

Seuraavat käsikirjoitukset on tarkoitus lähettää julkaistavaksi vertaisarvioituun tieteelliseen lehteen 2020–2023:

1. Osatutkimus 4: Impulssimaisuuden häiritsevyyssanktiota koskeva malli
2. Osatutkimus 5: Tieliikennemelun spektrin vaikutus häiritsevyyteen
3. Osatutkimus 6: Kapeakaistaisuuden ja spektrin vaikutus häiritsevyyteen
4. Osatutkimus 7A: Reaaliäänten häiritsevyys
5. Osatutkimus 7A vs. 7B: Äänekkyyden ja häiritsevyyden ero psykoakustisissa tutkimuksissa
6. Osatutkimus 9: Tieliikennemelun annosvastesuhde asuinympäristöissä
7. Osatutkimus 9: Tieliikennemelun häiritsevyys ja ei-akustiset tekijät
8. Osatutkimus 10: Murskaamomelun häiritsevyys asuinympäristöissä
9. Osatutkimus 12: Tuulivoimaloiden ja tieliikenteen melun vaikutus terveyteen
10. Osatutkimus 13: Puhemelun vaikutus stressiin
11. Osatutkimus 13: Kapeakaistaisen tai impulssimaisen melun vaikutus stressiin
12. Infraäänien kuulokynnys, vakioäänekkyyssäyrät ja vakiohäiritsevyyssäyrät

Tämän lisäksi tuloksia esitetään ulkomaisissa kongresseissa ja Akustiikkapäivillä 2021 Turussa.

## **Liite 2. Tutkimuksen johto ja toteuttajat**

### **Ohjausryhmä**

Projektin ohjausryhmässä toimivat hankkeen päättyessä seuraavat tahot:

- APL Systems Oy: Antti Leskinen
- Business Finland: Jarkko Piirto
- Infra ry: Eija Ehrukainen ja Juha Laurila
- Kone Oyj: Giovanni Hawkins
- Nokian Renkaat Oyj: Teemu Soini ja Hannu Onnela
- Sosiaali- ja terveysministeriö: Vesa Pekkola
- Suomen tuulivoimayhdistys ry: Anni Mikkonen ja Heidi Paalatie
- Turun ammattikorkeakoulu: Juha Kääriä, Esa Leinonen ja Valtteri Hongisto
- TuuliWatti Oy: Jari Suominen, Heidi Laurila ja Sami Piippo
- Wärtsilä Finland Oy: Esa Nousiainen ja Virpi Hankaniemi
- Ympäristöministeriö: Ari Saarinen
- Ympäristöpooli c/o Adato Energia Oy: Heidi Lettojärvi ja Kati Takala

### **Toteutus**

Projektin toteutti Turun ammattikorkeakoulu. Lisäksi ostopalveluina tilattiin tutkimuspalveluja Fraunhofer-instituutilta Saksasta, Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiriltä ja Turun yliopistolta.

### **Turun ammattikorkeakoulun henkilökunta:**

- Valteri Hongisto, tutkimusryhmän vetäjä, projektin vastuullinen johtaja, 1.1.2016–31.8.2020
- Jukka Keränen, erikoistutkija, 1.1.2016–31.8.2020
- Henna Maula, erikoistutkija, 1.1.2016–31.8.2020
- Jarkko Hakala, tutkimusinsinööri, 1.1.2016–31.8.2020
- Pekka Saarinen, tutkija, 1.1.2016–31.8.2020
- Petra Virjonen, tutkija, 1.1.2016–30.7.2017
- David Oliva, tutkija, 1.1.2016–30.10.2017
- Annu Haapakangas, psykologi, 1.1.2016–31.5.2017
- Ville Rajala, tutkija, 1.11.2017–31.8.2019
- Jenni Radun, erikoistutkija, 1.1.2018–31.8.2019
- Reijo Alakoivu, tutkimusinsinööri, 1.6.2019–31.8.2019
- Katri Niemi, tutkimusavustaja, 1.1.2019–31.8.2019
- Heidi Kalve, lehtori, 1.1.2018–31.12.2018
- Raini Tuominen, lehtori, 1.1.2018–31.12.2018

### **Turun ammattikorkeakoulun opiskelijat:**

- Marianna Aaltonen, bioanalytiikan opinnäytetyöntekijä
- Johanna Kulmala, bioanalytiikan opinnäytetyöntekijä
- Niina Salonen, bioanalytiikan opinnäytetyöntekijä
- Karla Saukkonen, bioanalytiikan opinnäytetyöntekijä
- Saara Sysmelin, bioanalytiikan opinnäytetyöntekijä
- Jenny-Maria Tuomisto, bioanalytiikan opinnäytetyöntekijä

### **Fraunhofer-instituutti, rakennusfysiikan instituutti (ostopalvelu)**

- Andreas Liebl, tutkimusryhmän vetäjä
- Maria Zaglauer, tutkija

### **Turun yliopisto, bioanalyttinen laboratorio (ostopalvelu)**

- Mika Scheinin, professori (emeritus)
- Katariina Pohjanoksa, laboratoriopäällikkö
- Darin Al-Ramahi, tutkija
- Karla Saukkonen, bioanalyttikko (AMK)

### **Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri (TYKSLAB) (ostopalvelu)**

- Ei nimettyä henkilöä.

### **Eettiset toimikunnat**

- Työterveyslaitoksen eettinen toimikunta (osatutkimukset 2–8)
- Turun ammattikorkeakoulun eettinen toimikunta (osatutkimukset 9–12)
- Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin eettinen toimikunta (osatutkimus 13)

### **Yhteistyökumppanit**

Kenttätutkimuskohteiden identifioinnissa mukana olivat seuraavat yritykset: NCC, Lemminkäinen, YIT ja Keravan Energia Oy.

### **Tutkittavat vapaaehtoiset**

Kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita vapaaehtoisia, joita oli määrällisesti poikkeuksellisen paljon:

- Osatutkimus 1: 13 asunnon omistajaa
- Osatutkimukset 2–7: 258 laboratoriokokeeseen osallistujaa
- Osatutkimukset 8–12: 2 200 asuin ympäristökyselyyn vastaajaa
- Osatutkimus 13: 102 lääketieteelliseen laboratoriotutkimukseen osallistujaa
- Rinnakkaistutkimus: 49 laboratoriokokeeseen osallistujaa

### Liite 3. Muu kirjallisuus

DME (2011). Order No. 1284, Danish Ministry of the Environment, Copenhagen, Denmark. <https://docs.wind-watch.org/DK-statute-wind-turbine-noise.pdf>.

EC (2002). Position paper on Dose response relationships between transportation noise and annoyance. ISBN 92-894-3894-0, European Communities.

Fidell, S., Barber, D. S., & Schultz T. J. (1991). Updating a dosage–effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 89(1), 221–233.

Fryd, J. & Pedersen, H. (2016). Noise Annoyance from Urban Roads and Motorways. Proceedings of Internoise 2016, 21–24 Aug, Hamburg, Germany. [https://assets.madebydelta.com/assets/docs/share/Akustik/noise\\_annoyance\\_form\\_urban\\_roads\\_and\\_motorways\\_internoise\\_2016.pdf](https://assets.madebydelta.com/assets/docs/share/Akustik/noise_annoyance_form_urban_roads_and_motorways_internoise_2016.pdf).

Hongisto, V. (2014) Tuulivoimamelun terveystvaikutukset, 64 s., Työterveyslaitos, Helsinki, Lokakuu 2014. Available at: <https://www.julkari.fi/handle/10024/116854>.

Hongisto, V., Oliva, D., Rekola, L. (2015). Subjective and Objective Rating of Spectrally Different Pseudorandom Noises – Implications for Speech Masking Design. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(3) 1344–1355.

Lercher P., Greve B., Botteldooren D., & Rüdissler J. (2008). A comparison of regional noise–annoyance–curves in alpine areas with the European standard curves. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), 21–25 July, Mashantucket, Foxwoods, Connecticut, USA.

Nilsson, M.E. (2007). A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound. *J Sound Vib* 302 197–207.

Nordtest (2002). NT ACOU 112:2002 – Acoustics – Prominence of impulsive sounds and for adjustment of LAeq. Approved 2002–05, Taastrup, Denmark.

Rice, C. G. (1996). Human response effects of impulse noise. *J. Sound Vib.* 190(3) 525–543.

Schultz, T.J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance, J. Acoust. Soc. Am. 104(6), 3432–3445.

STM (2015). Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus 1545/2015 asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 23.4.2015, Helsinki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>.

Turunen, A., Tiittanen, P., Lanki, T. (2016). Meluhaittojen kokeminen ja oireilu yhdeksällä tuulivoima-alueella Suomessa. Ympäristö ja Terveys-lehti 5 76–81. [http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131157/YT5-2016\\_Turunen\\_ym\\_final.pdf?sequence=1](http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131157/YT5-2016_Turunen_ym_final.pdf?sequence=1).

VN (1992). Valtioneuvoston päätös 993/1992 melutason ohjearvoista, 29.10.1992, Helsinki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>.

VN (2015). Valtioneuvoston asetus 1107/2015 tuulivoimaloiden ulkomelutason ohjearvoista. 27.8.2015, Helsinki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151107>.

YM (2014a). Tuulivoimaloiden melun mallintaminen. Ympäristöhallinnon ohjeita 2/2014, 53 s., Ympäristöministeriö, Helsinki. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42937>.

YM (2014b). Tuulivoimaloiden melutason mittaaminen altistuvassa kohteessa. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2014, 66 s., Ympäristöministeriö, Helsinki. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/42939>.

YM (2017). Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä. 24.11.2017, Helsinki. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>.



Tämä raportti esittää tiivistetyssä muodossa 4-vuotisen julkisen tutkimusprojektin päätulokset. Tutkimusprojektissa selvitettiin, mitkä tekijät selittävät ympäristömelun häiritsevyyttä. Projektissa toteutettiin 13 eri osatutkimusta, joita toteutettiin sekä asuinympäristöissä että laboratorioissa.

Tutkimuksessa havaittiin, että ympäristömelun häiritsevyys riippuu sekä äänen ominaisuuksista että ääntä kuuntelevan ihmisen taustoista. Eri henkilöt voivat kokea täsmälleen saman äänen hyvin eri tavoin riippuen mm. yksilöllisistä tekijöistä, asuinalueesta ja asenteesta äänilähdettä kohtaan.

Tutkimuksen toteutti Turun ammattikorkeakoulun akustiikan tutkimusryhmä, johon kuului akustiikan ja psykologian tutkijoita. Projektissa tuotettiin 48 julkaisua, joissa esitetään osatutkimusten tulokset yksityiskohteisesti.

ISBN 978-952-216-760-6 (pdf)  
ISSN 1459-7764 (elektroninen)

[www.turkuamk.fi](http://www.turkuamk.fi)

ISBN 978-952-216-760-6



9 789522 167606 >