

PUUVÄLIPOHJIEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYDEN MITTALUVUT

Loppuraportti ympäristöministeriölle
Toimitettu 22.11.2023 (Simon Le Rouxille)

Valtteri Hongisto

Sisällysluettelo

1. Projektin perustiedot	3
2. Tiivistelmä	4
3. Projektin taustaa	5
4. Toteuttajat	5
5. Projektin toteutus	6
6. Viestinnän toteutuminen	6
7. Tutkimuksen vaikuttavuus	7
8 Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen	8
9. Suositukset ja jatkotutkimustarpeet	9
10. Projektin tuottamat julkaisut ja esitelmät	10
11. Kirjallisuus	12

1. PROJEKTIN PERUSTIEDOT

Projektin nimi:

Puuvälipohjien askelääneneristävyyden psykoakustisesti validit mittausmenetelmät ja mittaluvut

Diaarinumero:

VN / 14328 / 2019

Toteuttajaorganisaatio:

Turun ammattikorkeakoulu

Vastuullinen johtaja:

Valtteri Hongisto

Rahoitusaika:

01.04.2020 – 31.03.2023

Projektin yhteyshenkilöt:

Petri Heino ja Simon Le Roux, ympäristöministeriö

Kokonaisbudjetti:

285 444 eur

Ympäristöministeriön rahoitusosuus:

199 810 eur (70 %)

Turun ammattikorkeakoulun rahoitusosuus:

85 633 eur (30 %)

2. TIIVISTELMÄ

Tausta. Välipohjien askelääneneristävyyden tavoitetasot vierekkäisten huoneiden välillä esitetään Suomessa ja Ruotsissa mittaluvulla $L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$. Rakennuskohteessa mittaluvun arvo määritetään kansainvälisen standardin ISO 717-2 mukaan ISO 16283-2 mukaisista askelääneneristävyyden mittauksista, jotka tehdään äänen taajuuksilla 50–3150 Hz. Suurin osa Euroopan maista käyttää mittalukua $L'_{nT,w}$, johon riittää mittausta taajuuksilla 100–3150 Hz. Suomen ja Ruotsin mittaluku asettaa erityisen suuria vaatimuksia puuvälipohjille, joiden askelääneneristystä on vaikea parantaa pientaajuuksilla (50–80 Hz) niiden keveyden vuoksi. Pientaajuuksien mittaamisen välttämättömyydelle ei ole kuitenkaan tieteellistä evidenssiä. Määräyksissä käytettävän mittaluvun tulisi asettaa välipohjat samaan paremmuusjärjestykseen kuin ihmisetkin ne asettavat yläkerrasta kuuluvien asumisen askeläänten häiritsevyyden perusteella. Sen vuoksi tarvitaan tieteellistä tutkimusta siitä, mikä askelääneneristyksen mittaluku oikeasti selittää ihmisten kokemaa häiritsevyyttä asumisen askeläänistä parhaiten.

Tavoite. Projektin tavoitteena oli selvittää psykoakustisen laboratorikokeen avulla, mikä ISO 717-2 standardin mittaluku ($L'_{nT,w}$ vai $L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$) selittää parhaiten asumisen askeläänten häiritsevyyttä puuvälipohjilla. Lisäksi haluttiin määrittää, onko ruotsalaisen tutkimuksen vastikään suosittama mittaluku $L'_{nT,w}+C_{1,25-2500}$, joka huomioi myös erittäin matalat taajuudet 25–40 Hz, perusteltu.

Menetelmät. Tutkimusta varten mitattiin 30 puuvälipohjan ja 8 teräsbetonivälipohjan askelääneneristävyys Turun akkreditoidussa askeläänilaboratoriossa. Mittaustulokset on julkaistu erikseen. Näistä mittaustuloksista valittiin 15 puuvälipohjaa psykoakustiseen laboratorikokeeseen. Mittausten lisäksi kullekin 15 välipohjalle tuotettiin taajuussisällöltään erilaisia asumisen iskuääniä, jotka nauhoitettiin välipohjan alapuolisessa huoneessa. Iskuäänilajeja olivat kumipallon pudotus, teräskuulan pudotus, kävely, hyppely ja tuolin laahaaminen. Kokeeseen osallistui 52 tutkittavaa. Kukin heistä arvioi 75 iskuäänien häiritsevyyden asteikolla 0 (Ei lainkaan) – 10 (Erittäin paljon). Häiritsevyyden ja askelääneneristävyyden välisellä korrelaatioanalyysillä avulla voitiin tilastollisesti määrittää, miten hyvin eri askelääneneristävyyden mittaluvut selittivät 15 eri puuvälipohjan läpi kuuluvien äänten häiritsevyyttä eri iskuäänilajeilla.

Tulokset. Mittaluku $L'_{nT,w}$ selitti kaikkien viiden tutkitun asumisen iskuäänien häiritsevyyttä paremmin kuin nykymääräyksissä käytettävä mittaluku $L'_{nT,w}+C_{1,50-2500}$ ja Ruotsissa suositeltu mittaluku $L'_{nT,w}+C_{1,25-2500}$. Koska $L'_{nT,w}$ perustuu taajuusalueella 100–3150 Hz tehtäviin mittauksiin, ei mittauksia siten tarvittaisi pientaajuuksilla 50–80 Hz ainakaan puuvälipohjien tapauksessa. Psykoakustinen koe on tähän asti laajin kansainvälinen tutkimus, joka on käsitellyt yksinomaan puuvälipohjia. Projektin tulokset asettavat käsitykset puuvälipohjien askeläänien häiritsevyyden kokemisesta pientaajuuksilla kokonaan uuteen valoon. Tuloksilla on erittäin suuri vaikutus myös Pohjoismaiden ulkopuolella. Tuloksilla voi olla vaikutusta siihen, miten eri maiden askelääneneristyksen mittaluvut ja määräykset kehittyvät tulevaisuudessa. Jos suomalaisissa määräyksissä päädytään joskus palaamaan mittalukuun $L'_{nT,w}$, tämä parantaisi puuvälipohjien kilpailukykyä useita desibelejä.

Tuotokset. Projektissa syntyi 4 vertaisarvioitua julkaisua, 8 konferenssijulkaisua, yksi tutkimuslaitosraportti ja yksi avoin data.

3. PROJEKTIN TAUSTAA

Projektihakemus laadittiin suomalaisten ja ruotsalaisten tutkijoiden (ks. luku 4) konsortiohakemuksella tutkimusmäärärahaan ”Tandem Forest Values II, TFV II 2019” liittyen. Haussa ilmaistiin, että lopulliset rahoittajat ovat maakohtaisia, eli Suomen ja Ruotsin osuudet rahoitettaisiin eri tahoilta. Suomalaiset rahoittajat olivat Suomen Akatemia, ympäristöministeriö, ja maa- ja metsätalousministeriö. Haku oli kaksivaiheinen.

Vaiheen 1 hakemuksessa (9.9.2019, englanninkielinen) esitettiin kokonaistavoitteet sekä erikseen suomalaisten ja ruotsalaisten tutkimusryhmien tutkimustyön osuudet. Hakemuksen nimi oli ”Development of methods for describing the impact sound insulation in wooden floors”. Konsortiohakemuksen päätutkija oli Kirsi Jarnerö. Haun organisoivat KSLA (The Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry). Suomen osuuden päätutkija oli Valtteri Hongisto.

Määräraha-hakemukset arvioi kansainvälinen tieteellinen raati. Jarnerön lähettämä hakemus sai positiivisen rahoituspäätöksen 25.11.2019. Koska tutkimusaihe liittyi puurakentamiseen, ja ympäristöministeriöllä oli puurakentamisen ohjelma (2016–2023), Suomen osuuden rahoittajaksi valikoitui ympäristöministeriö.

Vaiheen 2 hakemus (2.12.2019, suomenkielinen) laadittiin ympäristöministeriön lomaketta käyttäen. Yhteistyösopimus Turun ammattikorkeakoulun ja ympäristöministeriön kesken solmittiin 24.4.2020, jonka jälkeen projekti virallisesti alkoi. Tätä projektia koskevat luvun 1 sisältämät perustiedot.

4. TOTEUTTAJAT

4.1 Tutkimusprojektin rahoituksella palkatut

Turun ammattikorkeakoulusta tutkimuksen toteuttivat seuraavat tutkijat ja asiantuntijat:

- Tekniikan tohtori, dosentti Valtteri Hongisto
- Tekniikan tohtori Jukka Keränen
- Filosofian tohtori Pekka Saarinen
- Filosofian maisteri Johann Laukka
- Insinööri AMK Jarkko Hakala
- Insinööri AMK Reijo Alakoivu
- Insinööri AMK Juho Virtanen
- Insinööri AMK Jarkko Hakala

Tämän lisäksi laboratoriokokeeseen rekrytoitiin 52 koehenkilöä, joille maksettiin korvaus osallistumisesta.

4.2 Omalla rahoituksellaan osallistuneet tutkijat

Projektin suunniteltiin ja toteutettiin yhteistyössä konsortion ruotsalaisten yhteistyökumppanien kanssa. Ruotsista projektiimme osallistuivat:

- Kirsi Jarnerö (RISE, Ruotsi)
- Jörgen Olsson (RISE, Ruotsi)
- Andreas Linderholt (Linnaeus Yliopisto, Ruotsi)

Projektin alkuvaiheessa suunnittelua seurasi myös väitöskirjatutkija Jesse Lietzén (Tampereen yliopisto, teollisen puurakentamisen tutkijakoulu).

4.3 Omalla rahoituksellaan osallistuneet yritykset

Projekti sisälsi yhteistyötä rakennusalan yritysten kanssa, koska Turun laboratorioon rakennettavien välipohjarakenteiden piti vastata todellisia ratkaisuja Euroopan maiden eritasoiset askeläänieristysmääräykset huomioiden. Yhteistyöyrityksiä olivat:

- VVR Wood Oy
- Saint-Gobain Finland Oy (Isover, Gyproc, Weber)
- CLT Finland Oy

Kaikki yritykset käyttivät suunnitteluun työaika. Kaikki yritykset lahjoittivat rakennusaineita (kantavat laatat, kipsit, eristeet, kannattimet, pumpputasoitteet) projektin käyttöön. Saint-Gobain Finland Oy rahoitti lisäksi pumpputasoitelattioiden asennustyöt ja omien tuotteidensa rahtikustannukset.

5. PROJEKTIN TOTEUTUS

5.1 Infrastruktuurit

Turun ammattikorkeakoulun akustiikkalaboratorio (askelääneneristyksen mittaus) ja psykofysiikkalaboratorio mittalaitteistoinen ja ohjelmistoinen. Projektin aikana laboratorioon kertyi myös uutta pysyvää infrastruktuuria (kantavat lattialaatat), jotka hyödyttävät puurakentamisan tuotekehitystä, testausta ja tutkimusta tulevaisuudessa. Näitä ovat:

- 370 mm paksu puinen avokotelolaatta (VVR Wood Oy)
- 260 mm paksu massiivipuulaatta (CLT Finland Oy).

5.2 Tutkimusvaiheet

Projekti sisälsi seuraavat vaiheet, jotka menivät monilta osin päällekkäin:

1. Askeläänieristysmittausten toteutus suunnittelu sekä mittaus- ja nauhoitusmenetelmien kehitys 2020.
2. Tutkittavien välipohjarakenteiden suunnittelu ja materiaalien hankinta 2020–2022
3. Välipohjarakenteiden rakentaminen, mittaus, asumisen iskuääninauhokset ja rakenteiden purku, 2021–2023
4. Välipohjarakenteiden rakennepiirustukset ja mittausdatan tallennus avoimen datan vaatimaan muotoon, 2022–2023
5. Psykoakustisen kokeen suunnittelu, 2021–2022
6. Välipohjille tehtyjen askelääninauhokset editointi psykoakustista koetta varten, 2022
7. Psykoakustisen kokeen toteutus, 2022
8. Tieteellinen kirjoitustyö, 2020–2023
9. Loppuraportointi, elokuu ja marraskuu 2023

6. VIESTINNÄN TOTEUTUMINEN

Projektisuunnitelman 2019 mukainen julkaisusuunnitelma on alla.

- Kaksi vertaisarvioitua tieteellistä kansainvälistä julkaisua (3)
- Kaksi kansainvälistä konferenssiartikkelia (3)
- Kaksi kotimaista konferenssiartikkelia (5)
- Osallistutaan ruotsalaisten konsortio partnereiden julkaisuihin (2)

Sulkeissa on toteutunut lukumäärä.

Tavoitteiden lisäksi projektissa tuotettiin

- Tutkimuslaitosraportti
- Mendeley avoin data -julkaisu.

Projektissa ylitettiin tavoitellut julkaisumäärät.

Projektin tuloksia on esitelty suullisin esitelmin seuraavasti:

- Yhdeksän esitelmää kansallisissa tiedekonferensseissa tai seminaareissa.
- Neljä esitelmää kansainvälisissä tiedekonferensseissa.

Projektin päätuloksista laadittaneen yleistajuinen, rakennusalalle suunnattu blogiartikkeli.

Julkaisut ja esitelmät on lueteltu **liitteessä 1**.

Tulosviestintä jatkuu ainakin vuosina 2024–5 ajan erilaisissa yritystapaamisissa, seminaareissa ja konferensseissa. Lisäksi aineiston pohjalta on tarkoitus laatia ainakin yksi lisäartikkeli. Tämä voi entisestään pidentää tulosviestinnän aikaikkunaa.

7. TUTKIMUKSEN VAIKUTTAVUUS

Tässä luvussa esitetyt asiat perustuvat elinkeinoelämältä ja akatemialta saatuun suulliseen palautteeseen projektia ennen ja projektin aikana.

7.1 Rakennusteollisuus

Projektin mittaustuloksilla on välitön positiivinen vaikutus puurakenteita valmistavaan teollisuuden kilpailukykyyn, koska puuvälipohjien ääneneristävyiden laboratoriotutkimuksia on tehty erittäin vähän tätä projektia ennen ja projektin mittaustuloksia voidaan käyttää tuotekehityksen ja myynnin eduksi.

Projektin psykoakustisella kokeella voi olla vaikutusta tulevaisuuden rakentamismääräyksiin. Jos rakentamismääräyksiin valitaan mittaluku $L_{nT,w}$, se parantaa puurakentamisen kilpailukykyä (koska $C_{1,50-2500}$ arvot ovat puuvälipohjilla lähes aina positiivisia) mutta ei heikennä betonirakentamisen kilpailukykyä (koska $C_{1,50-2500}$ arvot ovat betonivälipohjilla lähellä nollaa, paitsi kelluvalaattaratkaisut).

7.2 Suunnitteluteollisuus

Projektin mittaustuloksilla on merkittävä vaikutus puurakenteiden ääneneristysuunnittelua tarjoaviin insinööri-toimistoihin, koska puuvälipohjien laboratoriotutkimuksia on tehty erittäin vähän tätä projektia ennen. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää tuotekehityskonsultoinnissa ja laskentamallien kehittämisessä ja validoinnissa.

7.3 Suomalaiset viranomaiset

Ääneneristystä koskevat määräykset ja ohjeet esitetään ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 [1] ja ääniympäristöohjeessa 2018 [2]. Projektilla toivotaan olevan vaikutusta ääneneristysmääräyksiä laatiin ja valvottiin viranomaisorganisaatioihin, koska projektissa tuotettu tutkimustieto puuvälipohjille parhaiten sopivasta mittaluvusta on täysin uutta.

Projektissa tuotettu tieto edustaa korkeinta mahdollista kansainvälistä tieteellisen tutkimuksen tasoa. Siksi se tulee ottaa huomioon uusia määräyksiä ja ohjeita laadittaessa. Tämä on tarpeen etenkin siksi, että nykyiset ääneneristysmääräykset ja -ohjeet ovat perustuneet pääasiassa betonivälipohjilla tehtyihin tieteellisiin tutkimuksiin.

7.4 Ammattikorkeakouluopetus

Projektin aikana syntyneen tutkimustiedon myötä Turun ammattikorkeakoulussa on voitu aloittaa vuosittain pitämään 2 tunnin luento puurakenteiden ääneneristykseen liittyen rakennusinsinööriopiskelijoille. Projektin aikana pidettiin erilliskurssi LAB-ammattikorkeakoululle puutuotteiden akustiikkaan liittyen.

7.5 Ulkomaiset akustiikkatutkijat ja melunviranomaiset

Euroopan maissa käytetään hyvin erilaisia askelääneneristykseen mittalukuja (mm. $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ ja $L'_{nT,w}+C_{I,50-2500}$) ja niiden avulla ilmaistuja tavoitearvoja (48...68 dB) [3]. Projektimme suunniteltiin niin, että tutkittujen välipohjien askelääneneristysarvot kattavat eurooppalaisten määräysten alueen. Sen vuoksi tuloksillamme on mielenkiintoa koko Euroopan alueella.

Kansainvälinen tekninen spesifikaatio ISO TS 19488 [4] esittää tavoitetasoja askelääneneristysluokille A–F. Luokista A on vaativin. Luokitus on esitetty **taulukossa 1**. Se käyttää mittalukua $L'_{nT,w}$ esittämään tavoitetasot askelääneneristysluokille C–F. Sen sijaan parhaissa luokissa A–B esitetään tavoitetason $L'_{nT,w}$ rinnalla lisävaatimus mittalukua $L'_{nT,50}$ ($=L'_{nT,w}+C_{I,50-2500}$) koskien. Tämän tutkimuksen valossa lisävaatimus ei ole tarpeen, koska $L'_{nT,w}+C_{I,50-2500}$ ei selitä asumisen askeläänentä häiritsevyyttä paremmin kuin $L'_{nT,w}$. Tästä johtuen tutkimuksemme tulee hyödyttämään tiede-, konsultti- ja viranomaistahojen välistä keskustelua useiden Euroopan maiden sisällä siitä, mikä mittaluku eri maiden lainsäädäntöihin tulevaisuudessa kannattaisi valita. ISO TS 19488 ei nimittäin perustu tieteelliseen evidenssiin vaan se on jäsenmaiden konsensuspäätökseen pohjautuva.

Taulukko 1 – ISO TS 19488 mukaiset askeläänentä tavoitetasoluokat

Table 2 — Impact sound pressure level in dwellings — Class limits

Type of space	Class A dB	Class B dB	Class C dB	Class D dB	Class E dB	Class F dB
1 In habitable rooms in dwellings from other dwellings in all directions	$L'_{nT,w} \leq 46$ and $L'_{nT,50} \leq 50^a$	$L'_{nT,w} \leq 50$ and $L'_{nT,50} \leq 54^a$	$L'_{nT,w} \leq 54$	$L'_{nT,w} \leq 58$	$L'_{nT,w} \leq 62$	$L'_{nT,w} \leq 66$
2 In habitable rooms in dwellings from: — common stairwells or access areas — balconies or terraces or bath rooms not belonging to own dwelling ^b	$L'_{nT,w} \leq 50$	$L'_{nT,w} \leq 54$	$L'_{nT,w} \leq 58$	$L'_{nT,w} \leq 62$	$L'_{nT,w} \leq 66$	$L'_{nT,w} \leq 70$
3 In habitable rooms in dwellings from premises with noisy activities ^c	$L'_{nT,w} \leq 40$ and $L'_{nT,50} \leq 44^a$	$L'_{nT,w} \leq 44$ and $L'_{nT,50} \leq 48^a$	$L'_{nT,w} \leq 48$	$L'_{nT,w} \leq 52$	$L'_{nT,w} \leq 56$	$L'_{nT,w} \leq 60$

8 TULOSTEN KESTÄVYYS JA HYÖDYNTÄMINEN

Mittausosa. Välipohjien laboratoriomittauksissa käytetyt puuvälipohjalaatat, pintarakenteet ja alakatot edustavat nykyistä eurooppalaista rakennustapaa erittäin hyvin. Mittaukset tehtiin tiukimpien mahdollisten mittausstandardien mukaan korkeimmat laatuvaatimukset täyttävässä mittauslaboratoriossa. Tämän vuoksi mittaus tulostemme käyttöarvo suunnittelu- ja rakennusalan sekä akatemian sovelluskohteissa säilyy erittäin korkeana vähintään 15

vuotta. Käyttöarvo säilyy korkeana vielä tämänkin jälkeen. Vihreä siirtymä voi aiheuttaa sen, että rakennusmateriaalien ominaisuudet muuttuvat mutta on epätodennäköistä, että se vaikuttaisi olennaisesti eri rakennekerrosten akustisiin vaatimuksiin.

Psykoakustinen tutkimus. Psykoakustinen tutkimus on kansainvälisesti ottaen uniikki. Se on tieteellisesti ottaen laajin ja merkittävin alan tutkimus, kun huomioidaan tutkittujen välipohjatyypin määrä (15), taajuusalue (20–5000 Hz), psykoakustisen kokeen tutkittavien määrä (40), käytettyjen asumisen iskuäänilajien määrä (5), iskuäänten nauhoitusmenetelmän kurinalaisuus. Tutkimustulos säilynee alan ykköstutkimuksena vähintään vuosikymmenen.

9. SUOSITUKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

Projektin aikana on haettu tutkimusmäärärahaa neljä kertaa:

- vuosina 2020 ja 2021 Suomen Akatemialta (hakuohjelma: Akatemiahanke) konsortiossa, jonka toinen osapuoli oli Tampereen yliopisto (Prof. Sami Pajunen, rakenteiden mekaniikka).
- vuonna 2021 Euroopan komissiolta (hakuohjelma: ForestValue Joint Call 2021) konsortiossa, johon kuului tutkimuslaitoksia Norjasta, Puolasta, Ruotsista, Tanskasta ja Suomesta.
- vuonna 2021 Suomen Akatemialta (hakuohjelma: Tandem Forest Values) konsortiossa, jonka toinen osapuoli oli Luulajan teknillinen korkeakoulu.

Mistään hausta ei saatu positiivista rahoituspäätöstä.

Kuhunkin näistä hakemuksista sisällytettiin seuraavat aiheet / teemat:

- **Asukastutkimus.** Tämän projektin tutkimustulokset osoittavat, että askelääneneristyksessä tulisi käyttää mittalukua $L'_{nT,w}$. Tutkimuksemme ei kuitenkaan arvioi sitä, mikä tavoitetaso tulisi olla ($L'_{nT,w} \leq 53$ dB vai muu). Puutaloissa asuvien parissa tehtävällä kyselytutkimuksella on mahdollista selvittää, miten suuri osuus asukkaista on tyytyväinen rakennuksensa ääneneristykseen. Ääneneristys mitataan jokaisessa rakennuksessa, josta vastauksia saadaan. Näiden objektiivisten ja subjektiivisten muuttujien avulla on mahdollista linjata, mitä enimmäisarvoa mittaluvulle $L'_{nT,w}$ tulisi tulevaisuuden määräyksissä käyttää, jotta saavutetaan riittävä tyytyväisyysaste. Tutkimuksen toteutus vaatii ympäristöpsykologian ja rakennusakustiikan tieteenalojen yhtäaikaista hallintaa, jotta tutkimus olisi tieteellisesti riittävän laadukas.
- **Sivutiesiirtymät.** Tässä tutkimuksessa keskityttiin suoraan ääneneristykseen välipohjan läpi laboratorioympäristössä, jossa sivutiesiirtymät on eliminoitu. Todellisissa rakennuksissa mitattavaan ääneneristykseen vaikuttavat heikentävästi myös sivutiesiirtymät liitoksia pitkin. Sivutiesiirtymien estäminen erilaisia värähtelyeristys- ja lisälevytysratkaisuja suunnittelemalla on akustiikkakonsulttien arkipäivää. Ratkaisujen todellisesta vaikuttavuudesta ei kuitenkaan ole tehty Suomessa tieteellistä tutkimusta. Tutkimuksen toteutus vaatii rakennusakustiikan ja rakenteellisen mekaniikan yhtäaikaista hallintaa.

Nämä teemat pysyvät kärkitutkimusaiheina myös jatkossa.

Tässä projektissa kerättyä aineistoa on myös mahdollista hyödyntää muiden tutkimuskysymysten käsittelyyn, kuin mitä tässä loppuraportissa on käsitelty. Tästä johtuen aineiston pohjalta tultaneen julkaisemaan lisätutkimuksia tulevaisuudessa.

10. PROJEKTIN TUOTTAMAT JULKAISUT JA ESITELMÄT

Projektissa syntyi 4 vertaisarvioitua tieteellistä julkaisua, 7 konferenssijulkaisua, 1 tutkimuslaitosraportti ja 1 avoin data. Konferenssijulkaisuihin liittyi myös suullinen esitelmä.

Vertaisarvioidut tieteelliset artikkelit (4 kpl)

Hongisto, V., Laukka, J., Alakoivu, R., Virtanen, J., Hakala, J., Linderholt, A., Jarnerö, K., Olsson, J., Keränen, J. (2023). Suitability of standardized single-number ratings of impact sound insulation for wooden floors – Psychoacoustic experiment. **Building and Environment** 110727. Online at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110727>.

Hongisto, V., Alakoivu, R., Virtanen, J., Hakala, J., Saarinen, P., Laukka, J., Linderholt, A., Olsson, J., Jarnerö, K., Keränen, J. (2023). Sound insulation dataset of 30 wooden and 8 concrete floors tested in laboratory conditions. **Data in Brief** 49 109393. Online at: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109393>.

Olsson, J., Linderholt, A., Hongisto, V., Jarnerö, K. (2023). Incremental use of FFT as a solution for low BT-product reverberation time measurements. **Applied Acoustics** 203 109191 12 pp. Online at: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109191>.

Hongisto, V., Virjonen, P., Maula, H., Saarinen, P., Radun, J. (2020). Impact sound insulation of floating floors: A psychoacoustic experiment linking standard objective rating and subjective perception. **Building and Environment** 184 107225, 12 pp.

Kansainväliset konferenssijulkaisut, sisältäen esitelmän (3 kpl)

Hongisto, V. (2023). Perception of impact sound insulation: psychoacoustics in wooden floor constructions. **Forum Wood Building Nordic Växjö** 23, 28–29 Sep, Växjö, Sweden.

Olsson, J., Linderholt, A., Jarnerö, K., Hongisto, V. (2023). Incremental use of FFT as a solution to measure short reverberation times in low one-third octave bands. **Forum Acusticum 2023**, 11–15 Sep, Turin, Italy. Open access: <https://appfa2023.silssystem.solutions/atti/000534.pdf>.

Hongisto, V., Alakoivu, R., Keränen, J., Hakala, J., Linderholt, A., Jarnerö, K., Olsson, J., Laukka, J. (2023). Perception of impact sounds through wooden floors was explained by frequencies 100-3150 Hz – Psychoacoustic experiment on annoyance. **Forum Acusticum 2023**, 11–15 Sep, Turin, Italy. Open access: <https://appfa2023.silssystem.solutions/atti/000477.pdf>.

Kotimaiset konferenssiartikkelit, sisältäen esitelmän (5 kpl)

Laukka, J., Hongisto, V., Alakoivu, R., Hakala, J. (2023). Puulattioilla askeläänien häiritsevyys selittyy yhtä hyvin yksilukuarvolla $L_{n,w}$ kuin arvolla $L_{n,w} + CI_{50}$. 87–92. Akustiikkapäivät 2023, 15–16.11.2023, Tampere. Akustinen seura ry. ISBN 978-952-69879-1-0. Avoin pääsy: https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2023/11/akustiikkapaivat_2023_s87.pdf.

Alakoivu, R., Hongisto, V., Keränen, J., Laukka, J., Hakala, J. (2023). Puuvälipohjien tutkimusprojektin mittaustulokset. 75–80. Akustiikkapäivät 2023, 15–16.11.2023, Tampere. Akustinen seura ry. ISBN 978-952-69879-1-0. Avoin pääsy: https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2023/11/akustiikkapaivat_2023_s75.pdf.

Hongisto, V., Keränen, J., Laukka, J., Alakoivu, R., Hakala, J., Virtanen, J. (2021). Puuvälipohjien askelääniprojektin välituloksia. **Akustiikkapäivät 2021**, ISBN 978-952-69879-0-3, 120–125, 24–25.11.2021, Turku. Avoin pääsy: https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2021/11/akustiikkapaivat_2021_s120.pdf.

Hongisto, V., Hakala, J., Keränen, J., Alakoivu, R. (2021). Turun uudet akustiikkalaboratoriot. **Akustiikkapäivät 2021**, ISBN 978-952-69879-0-3, 90–95, 24–25.11.2021, Turku. https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2021/11/akustiikkapaivat_2021_s90.pdf.

Hongisto, V., Keränen, J., Laukka, J., Alakoivu, R., Hakala, J., Virtanen, J. (2021). Puuvälipohjien askelääniprojektin mittaustuloksia. **Rakennusfysiikka 2021**, ISBN 978-952-03-2145-1, 485–490, 26–28.10.2021, Tampere.

Kotimaiset raportit (1 kpl)

Hongisto, V., Alakoivu, R., Virtanen, J., Hakala, J., Laukka, J. & Keränen, J. (2023). Puu- ja betonivälipohjien ääneneristävyyden laboratoriomittaustuloksia. Turun ammattikorkeakoulun tutkimuksia 52, Turun ammattikorkeakoulu, Turku. ISBN 978-952-216-858-0. Avoin pääsy: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-216-858-0>.

Avoin data (1 kpl)

Hongisto, V., Keränen, J., Laukka, J., Alakoivu, R., Hakala, J., Virtanen, J. (2023). TUAS 2023 Floor Sound Insulation Rev1. **Mendeley Data**, 16 June. Online at: <https://data.mendeley.com/datasets/y83p8mpryd/2>.

Tutkinnot (1 kpl)

Virtanen, J. (2021). Lattiarakenteiden vaikutus avokotelolaatan askelääneneristävyyteen. Turun ammattikorkeakoulu. AMK-opinnäytetyö (28+20 s), Turun ammattikorkeakoulu, Turku.

Aineettomat oikeudet

Ei aineettomia oikeuksia.

Kotimainen esitelmä, ei artikkelia (4 kpl)

Hongisto, V. (2023). Laajaan ihmiskokeeseen nojautuva puuvälipohjien askelääneneristykseen mittaustapa. Puurakentamisen tutkimus -tulosseminaari, 22.9.2023, ympäristöministeriö, Helsinki.

Hongisto, V., Puun ominaisuudet ja mahdollisuudet äänieristykseen näkökulmasta – fokuksena asuinkerrostalot. Motiva Puuakatemia, 17.3.2022, Helsinki.

Hongisto, V. (2021). Puuvälipohjien askelääneneristävyys. Puupäivä 4.11.2021 webinaari, Puuinfo ry., Helsinki.

Hongisto, V. (2020). Puuvälipohjien askelääneneristävyyden kokeminen. Kasvua ja kehitystä puusta –tukiohjelman 4. kierros. Teollisen puurakentamisen kehittäminen verkostoissa. Hanketoimijoiden kick off –etätilaisuus 12.11.2020, Ympäristöministeriö, Helsinki.

Esitelmä kansainvälisessä konferenssissa, ei artikkelia (1 kpl)

Hongisto, V. (2022). Laboratory tests of impact sound insulation of timber floors. Proc. Euroregio/BNAM20220, 9–11 May, 2022, Aalborg, Denmark.

11. KIRJALLISUUS

1. Ympäristöministeriö (2017). Ympäristöministeriön asetus 796-2017 rakennuksen ääniympäristöstä, 24.11.2017, Helsinki.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>.
2. Ympäristöministeriö (2018). Ääniympäristö. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 28.6.2018, Helsinki. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset> (kohta ”Meluntorjunta ja ääniolosuhteet”)
3. Rasmussen, B. (2019). Sound insulation between dwellings – Comparison of national requirements in Europe and interaction with acoustic classification schemes. Proc. 23rd Int. Congr. Acoust. ICA 2019, 5102–5109. 9–13 Sep, Aachen, Germany. Open access: <https://vbn.aau.dk/ws/files/332986558/770394.pdf>.
4. ISO/TS 19488:2021 Acoustics – Acoustic classification of dwellings. International Organization for Standardization, Geneva, Sveitsi. Myytävänä täällä: <https://www.iso.org/standard/77742.html>.