

LATTIANPÄÄLLYSTEIDEN TOIMINTA PUUVÄLIPOHJILLA

Jesse Lietzén, Mikko Kylliäinen, Sami Pajunen

Tampereen yliopisto
Rakennettu ympäristö
Metalli- ja kevytrakenteet
etunimi.sukunimi@tuni.fi

Tiivistelmä

Tyypillisten lattianpäällysteiden, parketin ja muovimaton, askelääneneristävyuden parannusvaikutus (ΔL) puuvälipohjilla on osoittautunut erilaiseksi kuin betonivälipohjilla. Tämä aiheuttaa haasteita akustiikkasuunnittelulle, sillä lattianpäällysteiden ΔL on tavattu määrittää mittauksin betonirakenteilla. Akustiikkasuunnittelijan sen sijaan tulisi yhä yleistäviä puurakennuskohteita suunnitellessaan kyetä arvioimaan puuvälipohjien askelääneneristävyyttä, jolloin lattianpäällysteiden käyttäytyminen pitää tuntea. Tässä artikkelissa selvitetään laskentamalleja hyödyntäen syitä lattianpäällysteiden akustisille suorituskykyeroille. Laskennallisia arvioita verrataan puuvälipohjilla saatuihin lattianpäällysteiden aiheuttaman värähtelytasoeron ΔL_a mittaustuloksiin. Tulokset kertovat lattianpäällysteiden toiminnasta puuvälipohjilla ja selittävät eroja betonirakenteilla saatuihin tuloksiin. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että betonivälipohjien lisäksi lattianpäällysteiden ΔL tulisi mitata puuvälipohjilla puurakentamisen edistämiseksi. Lisäksi näiden puuvälipohjien tulisi edustaa sellaisia rakenteita, joilla lattianpäällysteitä tullaan käyttämään. Osana tätä edistämistyötä tulisi standardissa ISO 16251-1 esitettyä menetelmää vastaava mittausten menetelmä kehittää puuvälipohjille.

1 JOHDANTO

Akustisessa mielessä lattianpäällysteiden tarkoituksena on parantaa välipohjarakenteiden askelääneneristävyttä. Tyypillisten lattianpäällysteiden, kuten parketin tai muovimaton, askelääneneristävyuden parannusvaikutus (ΔL) määritetään laboratoriomittauksin joko standardisarjaa ISO 10140 [1-3] noudattaen tai vaihtoehtoisesti mock-up -menetelmää käyttäen pienellä betonilaatalla standardin ISO 16251-1 [4] mukaan. Standardi ISO 10140-5 [3] mahdollistaa lattianpäällysteen ΔL :n mittaamisen betonivälipohjien lisäksi kolmella eri puuvälipohjalla tai puurakenteisella betonivälipohjan päälle asennettavalla mock-up-rakenteella. Menetelmissä käytetään askeläänikojetta askeläänilähteenä.

Standardin ISO 16251-1 [4] mukainen mock-up -menetelmä perustuu Sommerfeldin tutkimukseen [5], jossa hän suoritti mittauksia sekä betonirakenteisella että puurakenteisella mock-up-rakenteella. Vaikka myös puuvälipohjalla saatujen lattianpäällysteiden aiheuttamien värähtelytasoerojen ΔL_a mittaustulosten vastaavuus laboratoriestandardilla saatuihin ΔL -arvoihin oli melko hyvä, toistaiseksi standardoitu menetelmä lattianpäällysteiden mittaamiseksi on vain betonisella mock-upilla.



© 2021 Jesse Lietzén, Mikko Kylliäinen ja Sami Pajunen. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen -lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

Tunnistettu ongelma on, että lattianpäällysteen ΔL riippuu siitä, millaisella välipohjalla tämä on mitattu [6-8]. Tämä on myös syy sille, että standardiin ISO 10140-5 [3] on sisällytetty useampia erilaisia kantavia rakenteita. Tuoreen tutkimuksen [9] perusteella on myös syytä olettaa, että askelääneneristävyyden parannusvaikutus ΔL vaihtelee myös puuvälipohjien kesken. Teollisen puurakentamisen ja akustiikkasuunnittelun näkökulmasta edellä mainitut seikat aiheuttavat haasteita, sillä lattianpäällysteiden ΔL on tavattu määrittää mittauksin betonirakenteilla. Yksi syy tälle voi olla se, että standardissa ISO 10140-5 [3] esitetyt puuvälipohjat eivät edusta juuri minkään maan puuvälipohjia.

Akustiikkasuunnittelijan tulisi yhä yleistyviä puurakennuskohteita suunnitellessaan kyetä arvioimaan puuvälipohjien askelääneneristävyyttä, jolloin lattianpäällysteiden ΔL pitää tuntea. Tämän artikkelin tavoitteena onkin vertailla kahden lattianpäällysteen askelääneneristävyyden parannusvaikutukseen liittyviä suorituskykyeroja niiden ollessa asennettuina puuvälipohjille ja betoniselle mock-up -laatalle. Näiden puuvälipohjilla käyttäytymisen arvioimisen tueksi on hyödynnetty laskentamalleja.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Lattianpäällysteet

Tässä artikkelissa tutkittiin kahta lattianpäällystettä: (a) 14 mm paksua lautaparkettia 3 mm paksun alusmateriaalin päällä ja (b) 3 mm paksua muovimattoa. Lattianpäällysteet olivat tyypillisesti Pohjoismaisissa asuinrakennuksissa käytettäviä materiaaleja ja niiden askelääneneristävyyden parannusluvut ΔL_w ovat noin 20 dB betonivälipohjilla [10]. Lattianpäällysteiden mitatut pintamassat m' ja dynaamiset jäykkyydet s' on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkitut lattianpäällysteet (a) ja (b), näiden pintamassat m' ja joustavien tuotteiden dynaamiset jäykkyydet s' .

ID	Lattianpäällyste	m'	s'
a	Lautaparketti 14 mm	7.73 kg/m ²	-
	Parquetinalusmateriaali 3 mm	0.15 kg/m ²	65.1 MN/m ³
b	Muovimatto 3 mm	1.66 kg/m ²	2282.0 MN/m ³

2.2 Kantavat puuvälipohjat ja lisäkerrokset

Mittauksissa lattianpäällysteet asennettiin kahdeksalle erilaiselle puuvälipohjalle, joiden kantavana rakenteena toimi CLT-laatta (engl. cross-laminated-timber) tai esivalmistettu ripalaatta. CLT-laatta oli kolmikerroksinen ja 100 mm paksu (välipohjat C0, C1, C2 ja C4), ripalaatta taas koostui 25 mm paksusta LVL-laatasta, jonka alla oli 45 mm x 260 mm kokoiset LVL-rivat k-jaolla 578–600 mm (välipohjissa R0, R1, R2 ja R4). Näiden kantavien rakenteiden päälle asennettiin yksi (C1, R1), kaksi (C2, R2) tai neljä (C4, R4) kerrosta lattiakipsilevyä ($h = 15$ mm ja $m' = 15,4$ kg/m²). Kaikissa tapauksissa välipohjien mitat olivat 2,4 x 2,7 m². Lisätietoa rakenteista löytyy lähteestä [9].

2.3 Kokeet

Puuvälipohjilla tehdyissä kokeissa [9] määritettiin lattianpäällysteiden tuottamat värähtelytasot ΔL_a Sommerfeldin tutkimusta [5] ja standardia ISO 16251-1 [4] mukailleen. Tämä tehtiin mittaamalla välipohjien värähtelykiihtyvyydestasoja L_a CLT-laatalle viidessä ja ripalaatalle kuudessa vastaanottopisteessä askeläänikojeen toimiessa viidessä eri

lähetyspisteessä. Mittauspisteet sijaitsivat askeläänikojeen lähetyspisteiden alapuolella, keskimmäisen vasaran alla laattojen alapinnassa. Kokeissa värähtelykiihtyvyydasot määritettiin tilanteissa, joissa puuvälipohjilla oli lattianpäällysteet ja ilman lattianpäällysteitä. Lattianpäällysteistä tyyppi (a) mitattiin kaikilla puuvälipohjilla ja tyyppi (b) välipohjilla C0 ja R0.

Puuvälipohjien lisäksi Turun Ammattikorkeakoulun akustiikkalaboratorio mittasi lattianpäällysteiden värähtelytasot ΔL_a (vastaa askelääneneristävyyden parannusvaikutusta ΔL) betonisella mock-up -laatalla. Mittaukset tehtiin standardin ISO 16251-1 [4] mukaan.

2.4 Laskennallinen arviointi

Tutkittujen lattianpäällysteiden askelääneneristävyyden parannusvaikutus ΔL määritettiin myös laskennallisesti. Tutkituista lattianpäällysteistä lautaparketti joustavine alusmateriaaleineen (päällyste (a)) muodosti kelluvan rakenteen, jonka joustavana kerroksena toimi alusmateriaali ja laattana lautaparketti. Muovimatto (päällyste (b)) sen sijaan on joustava lattianpäällyste, joka vaikuttaa askelääneneristävyyteen pääasiassa rakenteeseen kohdistuvaa askeläänikojeen aiheuttamaa herätevoimaa muuttaen.

Lautaparketin aiheuttamaa parannusvaikutusta $\Delta L_{\text{parketti}}$ arvioitiin laskennallisesti Gudmundssonin teoriaa [11] hyödyntäen, koska teoria mahdollistaa kantavan välipohjan vaikutuksen huomioon ottamisen kelluvaa rakennetta arvioitaessa [12] seuraavasti:

$$\Delta L_{\text{parketti}} = 10 \log \left(\frac{W_I}{W_{II}} \right) - 10 \log \left(1 + \frac{\langle v_{1,res}^2 \rangle \sigma_{1,res}}{\langle v_{1,forced}^2 \rangle \sigma_{3,forced}} \right), \quad (1)$$

jossa W_I kuvaa pelkkään kantavaan rakenteeseen ja W_{II} kelluvan laatan kautta kantavaan rakenteeseen kohdistuvaa askeläänikojeen askeläänitehoa. Kaavan ensimmäinen osuus kuvaa pakkovärähtelevän laatan vaikutusta. Kelluvan laatan resonoinnin osuutta kuvaava jälkimmäinen logaritmitermi määritetään resonoivan ja pakkovärähtelevän laatan värähtelynopeuksien $v_{1,res}$ ja $v_{1,forced}$ sekä säteilykertoimien $\sigma_{1,res}$ ja $\sigma_{3,forced}$ avulla [11,12].

Muovimaton aiheuttamaa askelääneneristävyyden parannusvaikutusta ΔL_{matto} arvioitiin Vénin [13] kaavan mukaan askeläänikojeen aiheuttamien herätevoimien F_{without} (päällystettömällä välipohjalla) ja F_{with} (päällystetyllä välipohjalla) suhteen avulla:

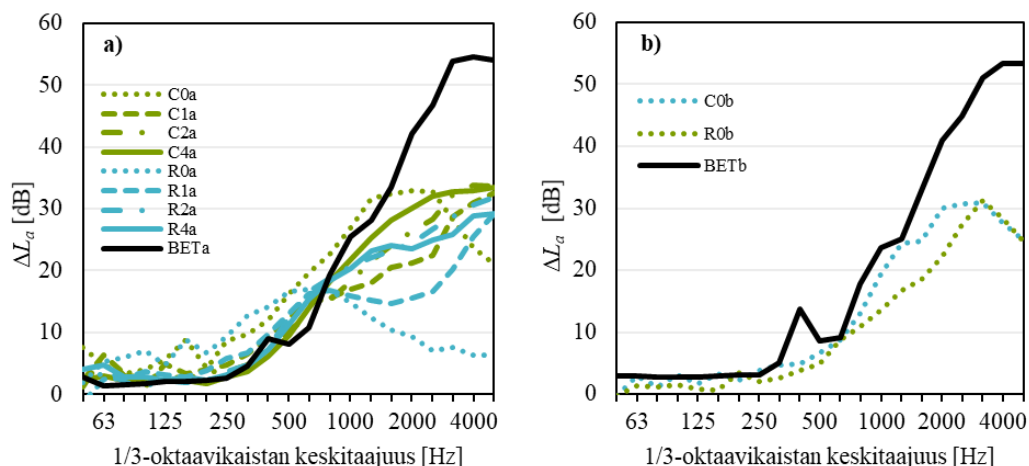
$$\Delta L_{\text{matto}} = 20 \log \left(\frac{F_{\text{without}}}{F_{\text{with}}} \right). \quad (2)$$

Laskennan lähtötietoina käytettiin puuvälipohjilla mitattuja askeläänikojeen herätevoimia [14] sen sijaan, että olisi käytetty erillistä laskentamallia niiden kuvaamiseen. Herätevoimaa mitattiin viidessä pisteessä vain kojeen yhdestä vasarasta, mikä aiheuttaa hieman epätarkkuutta laskentaan, koska herätevoima riippuu askeläänikojeen sijainnista rakenteella [14]. Kantavien puuvälipohjien kuvaamiseen on käytetty tuotevalmistajien antamia tietoja.

3 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1 Laatan vaikutus lattianpäällysteen värähtelytasoon

Kuvassa 1 on esitetty lattianpäällysteiden aiheuttamat värähtelytasot ΔL_a puuvälipohjilla ja betonisella mock-up -laatalla 1/3-oktaavikaistoittain taajuusalueella 50–5000 Hz. Kuvassa 1a on esitetty tulokset lautaparketille (a) ja kuvassa 1b muovimatolle (b).



Kuva 1. Lattianpäällysteiden (a) ja (b) aiheuttamat värähtelytasoerot puuvälipohjilla ja betoni mock-upilla. Kuvassa 1a tulokset on esitetty parketille alusmateriaaleineen ja kuvassa 1b muovimatolle.

Kuvan 1 perusteella on ilmeistä, että lattianpäällysteiden aiheuttama värähtelytasoero ΔL_a riippuu välipohjarakenteesta. Tämä viittaisi siihen, että eroa syntyy myös kaiuntahuonemittauksin saataviin askelääneneristävyyden parannusvaikutuksiin ΔL . Mielenkiintoista on myös se, että erot tuloksissa puuvälipohjien välillä voivat olla suuriakin. Pääasiassa erot olivat suurimmillaan suurilla, yli 1000 Hz taajuuksilla, mutta lautaparketilla eroja syntyy myös alle 500 Hz taajuuksilla (kuva 1a). Erot betoniseen mock-upiin pienenevät, kun puuvälipohjien päälle asennettiin kipsilevyjä. Muovimatolla erot puuvälipohjien ja betoni mock-upin välillä olivat pieniä pienillä taajuuksilla, mutta suurilla taajuuksilla ΔL_a oli puuvälipohjilla huomattavasti pienempi kuin betonisella mock-upilla. Syitä näille eroille tarkastellaan seuraavassa laskennallisiin tuloksiin verraten.

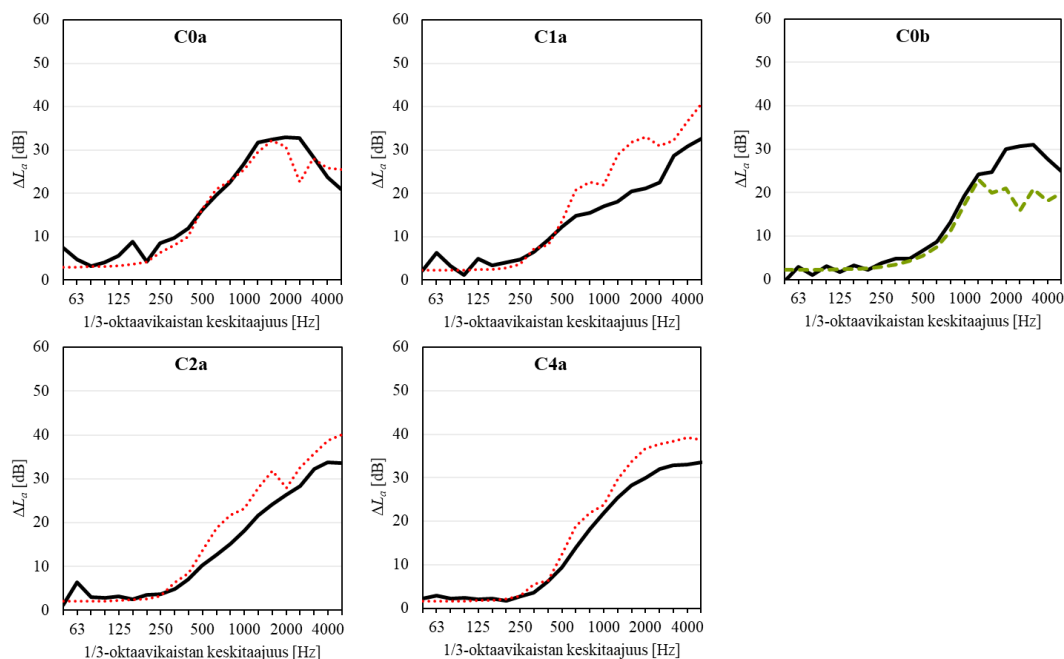
3.2 Lattianpäällysteen värähtelytasoeroon vaikuttavat tekijät puuvälipohjilla

Kuvissa 2 ja 3 on esitetty puuvälipohjittain eritellen tulokset sekä mitatuille värähtelytasoeroille ΔL_a että näitä kuvaaville laskennallisille ΔL -tuloksille 1/3-oktaavikaistoittain taajuusalueella 50–5000 Hz. Tuloksista nähdään, että lautaparketille alusmateriaaleineen määritetyt laskentatulokset vastaavat osittain melko hyvin saatuja mittaustuloksia. Muovimaton laskennalliset tulokset taas mukailevat mittaustuloksia alle 1000 Hz taajuusalueella.

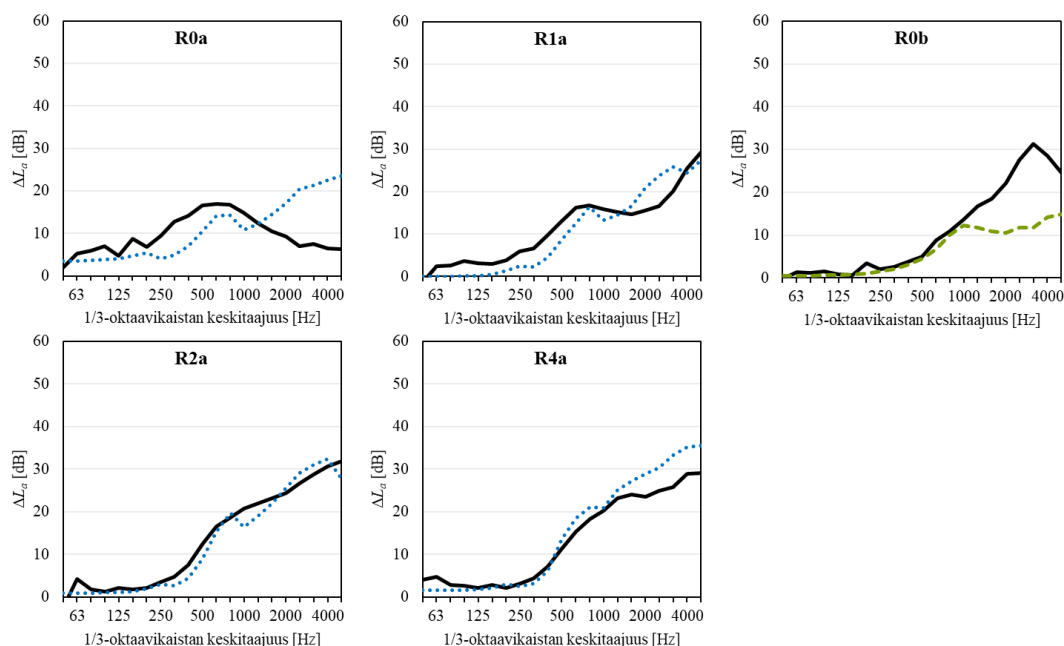
Lautaparketin aiheuttama ΔL_a oli suurimmillaan pienillä taajuuksilla, kun kantava välipohjarakenne oli kevyt (C0 tai R0). Syy tälle on luultavasti lautaparketin välipohjaan tuoma massalisäys, joka nosti ΔL_a :n arvoja. Tätä havaintoa tukee myös se, että vaikutusta näytti vähentävän kipsilevyjen lisääminen. Toinen pientaajuusalueen tulosten eroihin vaikuttava tekijä oli herätevoimaero [14]. Keskitajuuksilla näytti syntyvän rajataajuus, jonka jälkeen lautaparketin ΔL_a alkoi kärsiä välipohjan keveydestä. Tämäkin johtui todennäköisesti päällystetyn ja päällystämättömän laatan herätevoimaeroista, jotka kasvoivat keskitajuuksilla voimakkaasti [14]. Suurilla taajuuksilla lautaparketti vaikuttaisi käyttäytyvän resonoivasti, jolloin ΔL_a :n kasvu hiipui. Tämä näkyy myös laskentamallin antamissa tuloksissa.

Muovimaton ΔL_a tulokset näyttivät noin 1000 Hz asti selittyvän voimaeron perusteella. Suuremmilla taajuuksilla, laskennallisen mallin tuloksista poiketen, ΔL_a jatkaa kasvuaan, mikä viittaa siihen, että muovimatto myös vaimentaisi laatan värähtelyä erityisesti suurilla taajuuksilla. Tätä ilmiötä yksinkertainen malli (kaava (2)) ei ota huomioon. Havaintoa tukee myös se, että ero laskennallisen ja mitatun tuloksen välillä on pienempi laatoista

painavammalla, CLT-laatalla C0. Toisin sanoen muovimaton kyky vaimentaa kevyttä ripalaattaa suurilla taajuuksilla, on suhteessa parempi ripalaatan keveydestä johtuen.



Kuva 2. Mitatut lautaparketin (a) ja muovimaton (b) värähtelytasoerot ΔL_a (yhtenäinen musta viiva) ja näiden laskennalliset ΔL -tulokset (värillisellä piste- tai katkoviivalla) CLT-laatoilla C0, C1, C2 ja C4.



Kuva 3. Mitatut lautaparketin (a) ja muovimaton (b) värähtelytasoerot ΔL_a (yhtenäinen musta viiva) ja näiden laskennalliset ΔL -tulokset (värillisellä piste- tai katkoviivalla) ripalaatoilla R0, R1, R2 ja R4.

4 LOPPUPÄÄTELMÄ

Tutkimuksen tulosten perusteella on selvää, että puurakentamisen edistämiseksi tulisi lattianpäällysteet mitata myös puuvälipohjilla. Näiden välipohjien tulisi edustaa sellaisia

rakenteita, joilla lattianpäällysteitä tullaan käyttämään. Osana tätä edistämistyötä tulisi standardissa ISO 16251-1 [4] esitettyä menetelmää vastaava mittaussuunnitelma kehittää puuvälipohjille.

KIITOKSET

Kirjoittajat haluavat kiittää Turun Ammattikorkeakoulun Valtteri Hongistoa ja Pekka Saaria mittauksista betonisella mock-up-laamalla.

VIITTEET

- [1] ISO 10140-1. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 1: Application rules for specific products. Geneva: International Organization for Standardization; 2016.
- [2] ISO 10140-3. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation. Geneva: International Organization for Standardization; 2010.
- [3] ISO 10140-5. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment. Geneva: International Organization for Standardization; 2010.
- [4] ISO 16251-1. Acoustics – Laboratory measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a small floor mock-up – Part 1: Heavyweight compact floor. Geneva: International Organization for Standardization; 2014.
- [5] Sommerfeld M. A simplified measurement method for the determination of impact sound reduction. Proc. DAGA, Rotterdam, Netherlands: 2009.
- [6] Hopkins C. Sound Insulation. Elsevier Ltd; 2007.
- [7] Kartous M, Jonasson HG. A Simplified Method to Determine Impact Sound Improvement on Light-Weight Floors. Nord Proj 1544-01 2001.
- [8] Zeitler B, Nightingale TRT, Schoenwald S. Effect of floor treatments on direct impact sound pressure level. Proc. Euronoise 2009, Edinburgh, Scotland: 2009, p. 1–9.
- [9] Valjakka, S. 2021. Lattianpäällysteiden vaikutus puuvälipohjien askelääneneristävyyteen. Diplomityö. Tampere, Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta.
- [10] Kylliäinen M, Lietzén J, Kovalainen V, Hongisto V. Correlation between single-number-quantities of impact sound insulation and various noise ratings of walking on concrete floors. Acta Acust United with Acust 2015;101.
- [11] Gudmundsson, S., Report TVBA-3017: Sound insulation improvement of floating floors. A study of parameters, 1984, Lund, Lund Institute of Technology.
- [12] Kovalainen V, Lietzén J, Kylliäinen M. Kelluvien laattojen askelääneneristävyyden analyyttinen laskenta. Akustiikkapäivät 2019, Oulu, s. 33–40.
- [13] Vér, I. L., Impact Noise Isolation of Composite Floors, Journal of the Acoustical Society of America, 50(1971), 1043-1050.
- [14] Lietzén J, Miettinen J, Kylliäinen M, Pajunen S. Impact force excitation generated by anISO tapping machine on wooden floors. Appl Acoust 2021;175.