



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JESSE LIETZÉN  
VÄLIPOHJIEN ASKELÄÄNENERISTYKSEN ARVIOINTI ERI  
ASKELÄÄNIHERÄTTEIDEN PERUSTEELLA  
Diplomityö

Tarkastajat: professori Ralf Lindberg  
yliassistentti Mikko Kylliäinen  
Tarkastajat ja aihe hyväksytty Rakennetun  
ympäristön tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 3. lokakuuta 2012

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**LIETZÉN, JESSE:** Välipohjien askelääneneristykseen arviointi eri askeläänieräiteiden perusteella

Diplomityö, 109 sivua, 130 liitesivua

Marraskuu 2012

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastajat: professori Ralf Lindberg, yliassistentti Mikko Kylliäinen

Avainsanat: Akustiikka, askelääneneristys, rakennusakustiikka, psykoakustiikka, ääneneristys

Nykyinen ISO-standardin mukainen välipohjien askelääneneristykseen arviointimenetelmä pohjautuu 1960-luvulla standardoituun menetelmään, jota on arvosteltu sen standardoinnista lähtien. Menetelmään kohdistuneessa kritiikissä on arvosteltu sekä askeläänikojeen käyttöä standardiäänilähteenä että laskentamenetelmää. Erityisesti askeläänikojeita on kritisoitu, sillä sen tuottama askeläänieräite eroaa kävelyn herätteestä, mikä takia ihmisten käsitys askelääneneristyksestä ei aina vastaa menetelmän tulosta. Nykystandardin tilalle on ehdotettu vaihtoehtoisia menetelmiä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset askelääneneristystä kuvaavat rakennusakustiset mittaluvut vastaavat välipohjilla todellisten askeläänieräiteiden tuottamaa askelääntä. Tutkimuksessa selvitettiin kirjallisuuden avulla ratkaisumalleja askelääneneristykseen mittausmenetelmän kehittämiseksi. Kirjallisuuden perusteella selvitettiin myös, mitkä psykoakustiset mittaluvut kuvaavat todellisten askeläänien tuottamaa aistimusta. Kirjallisuusselvityksen tuloksena on todettu, että askeläänikojeita ei tule korvata toisella äänilähteellä, vaan mittalukujen laskentamenetelmään tulee tehdä muutos arviointimenetelmän parantamiseksi.

Tutkimuksessa suoritettiin välipohjien askelääneneristysmittauksia käyttäen askeläänieräiteinä sekä askeläänikojeita että todellisia askeläänieräiteitä. Todellisina askeläänieräiteinä tutkimuksessa toimivat kävely, pallon pompottaminen ja tuolin siirto. Näiden perusteella määritettiin psykoakustiset tunnusluvut, jotka kuvaavat askeläänestä syntyvää ääniaistimusta. Mittaukset tehtiin yhdeksällä eri lattianpäällysteellä kantavan rakenteen ollessa sama.

Tutkimuksen perusteella nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset rakennusakustiset mittaluvut eivät tuota välipohjille samanlaista paremmuusjärjestystä kuin todellisten askeläänien perusteella muodostetut psykoakustiset mittaluvut. Lisäksi todellisten askeläänien mukaan arvioituna rakenteiden väliset erot ovat pienemmät kuin askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella. Tulosten perusteella sukilla kävelyn aiheuttaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen välillä ei vallitse lineaarista riippuvuutta. Parhaiten rakennusakustisten mittalukujen kanssa korreloi kovapohjaisilla kengillä kävelyn ja tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut.

## ABSTRACT

TAMPEREEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**LIETZÉN, JESSE:** Evaluation of impact sound insulation of intermediate floors on the basis of different impact sound excitations

Master of Science Thesis, 109 pages, 130 Appendix pages

November 2012

Major: Structural Engineering

Examiner: Professor Ralf Lindberg, Research Fellow Mikko Kylliäinen

Keywords: Acoustics, impact sound insulation, building acoustics, psychoacoustics, sound insulation

The valid method for rating impact sound insulation of intermediate floors in accordance with ISO-standard is based on the method standardized in 1960's. Since the method was standardized, both the use of the tapping machine as a standard sound source and the calculation method of single-number quantities have been criticized. Particularly, the tapping machine has been criticized because the impact sound excitation it produces differs from the one produced by walking, whereupon the results of the method does not always correspond to subjective impression of people. An alternative method has been suggested to replace the valid standard.

The aim of this research was to find out how the building acoustic single-number quantities of the valid and proposed standard method correspond to the impact sound produced by real impact sound excitations. The solution models to improve the test method of impact sound insulation, presented in the literature, were studied. In addition, it was found out which psychoacoustic quantities describe the sensation created by real impact sounds. As the result of the literature survey it has been stated that tapping machine should not be replaced with another sound source, but the calculation method of the single-number quantities should be modified in order to improve evaluation method of impact sound insulation of intermediate floors.

Impact sound insulation measurements of intermediate floors were carried out in the research by using both tapping machine and real impact sound excitations. The real impact sound excitations were produced by walking, ball bouncing and chair moving. For each real impact sound produced, psychoacoustic quantities, which describe the sensation created by the sound, were defined. The measurements were performed with nine different floor coverings on the same bearing floor structure.

On the basis of the research the building acoustic quantities presented by the valid and proposed standards does not rate intermediate floors in the same rank order as the psychoacoustic quantities based on real impact sounds. In addition, evaluating on the basis of the real impact sounds the differences between structures are smaller than when evaluating with tapping machine as a sound source. The results show that there is no linear dependence between impact sound created by walking with socks and building acoustic quantities. The impact sounds produced by walking with hard-heeled shoes and chair moving correlated best with the building acoustic quantities.

## ALKUSANAT

Tämä tutkimus on tehty Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle osana projektia Rakennusten ääniolosuhteiden käyttäjälähtöinen kehittäminen ÄKK. Projektin yhtenä tavoitteena on luoda eurooppalaisen COST-hankkeen verkoston kanssa rakennusten ääniolosuhteita kuvaavat subjektiivisen kokemuksen kannalta optimaaliset mittaluvut. Projektin rahoittavat Tekes ja useat yritykset ja hankkeen toteuttajina toimivat Työterveyslaitoksen rakennusakustiikka- ja unitutkimuslaboratoriot, Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Turun yliopiston kognitiivisen psykologian laboratorio.

Tutkimuksen askeläänimittauksia varten saatiin rakennusmateriaalit projektissa mukana olleilta yrityksiltä Karelia-Upofloor Oy:ltä ja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:ltä sekä lisäksi Orient-Occident Oy:ltä. Kiitän kaikkia tutkimukseen osallistuneita yrityksiä. Erityisen suuren kiitoksen osoitan Upofloor Oy:lle, jonka Nokian tehtaan askeläänilaboratoriossa tutkimuksen mittaukset suoritettiin, ja Samuli Löytöselle, joka toimi yrityksen yhteyshenkilönä.

Esitän myös kiitokseni Työterveyslaitokselle, joka lainasi mittalaitteitaan tutkimuksen hyväksi. Suuret kiitokset tästä kuuluvat Valteri Hongistolle, Jukka Keräselle ja David Olivalle. Erityisesti haluan kiittää Jukka Kerästä, joka ohjasi laitteiden käytössä.

Erittäin lämpimät kiitokset osoitan Mikko Kylliäiselle, jonka innostava ja kallisarvoinen ohjaus on mahdollistanut tämän tutkimuksen teon. Lisäksi kiitos kuuluu Ville Kovalaiselle, jonka yhteistyö mittauksissa ja laskennan ohjelmoinnissa on ollut arvokasta. Työtovereista Kylliäistä, Kovalaista ja Natalia Kajavaa kiitän myös koekävelijöinä toimimisesta tutkimuksessa. Kiitän myös diplomityön tarkastajia professori Ralf Lindbergiä ja Mikko Kylliäistä.

Lisäksi kiitän perhettäni ja ystäviäni, joiden antama tuki on ollut minulle korvaamaton.

Tampereella 8.11.2012

Jesse Lietzén

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Välipohjien askelääneneristävyys ja sen arviointi .....	1
1.2	Arviointimenetelmän ongelmat.....	2
1.3	Tutkimuksen tavoitteet .....	2
2	ASKELÄÄNENERISTYKSEN MITTAUSMENETELMÄN ONGELMAT .....	4
2.1	Askelääneneristyksen mittaussuunnitelman kehittyminen .....	4
2.2	Askelääneneristyksen mittaaminen kentällä .....	5
2.3	Rakennusakustiset mittaluvut .....	7
2.3.1	Nykystandardin määrittelemät mittaluvut .....	7
2.3.2	Ehdotetut mittaluvut.....	10
2.4	Ratkaisumallit askelääneneristyksen mittaussuunnitelman kehittämiseksi.....	13
2.4.1	Vaihtoehtoisten äänilähteiden käyttö .....	14
2.4.2	Mittaussuunnitelman muuttaminen.....	22
2.5	Askeläänikojeen tuottaman äänen ja todellisen askeläänen ero.....	26
2.5.1	Askeläänikojeen ja kävelyn ero .....	26
2.5.3	Askeläänikojeen ja muun askeläänen ero.....	30
2.6	Tutkimustarve askelääneneristyksen arviointimenetelmän parantamiseksi ...	32
3	ASKELÄÄNIKOKEET .....	34
3.1	Mittaussuunnitelma .....	34
3.2	Mittalaitteet .....	34
3.3	Rakenteet .....	35
3.4	Jälkikäynti-ajan mittaaminen .....	36
3.6	Askeläänispektritutkimus.....	37
3.6.1	Askeläänikojeen tuottaman äänen mittaaminen .....	38
3.6.2	Kävelyn tuottaman äänen mittaaminen .....	39
3.6.3	Pallon pompottamisen tuottaman äänen mittaaminen.....	41
3.6.4	Tuolin siirron tuottaman äänen mittaaminen.....	41
3.7	Askelääneneristyksen mittaaminen .....	42
3.8	Spektritutkimuksen mittaustulosten laskenta.....	43
3.8.1	Taustäänikorjaaminen.....	44
3.8.2	Askeläänen äänekkyuden ja äänekkyystason laskenta.....	44
3.8.3	Ekvivalentin äänenpainetason määrittäminen .....	46
3.8.4	Enimmäisäänepainetason määrittäminen .....	48
3.9	Kävelyn toistettavuus .....	50
3.10	Rakennusakustisten mittalukujen määrittäminen.....	53
4	TULOKSET .....	54
4.1	Välipohjien rakennusakustiset mittaluvut.....	54
4.2	Välipohjien psykoakustiset mittaluvut .....	55
4.2.1	Askeläänikojeen tuottama ääni .....	56
4.2.2	Sukilla kävelyn tuottama ääni.....	57

4.2.3	Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ääni .....	62
4.2.4	Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ääni .....	68
4.2.5	Pallon pompottamisen tuottama ääni .....	74
4.2.6	Tuolin siirron tuottama ääni .....	76
5	TULOSTEN TULKINTA .....	79
5.1	Välipohjien askelääneneristyksen rakennusakustinen arviointi.....	79
5.1.1	Rakennusakustiset mittaluvut .....	79
5.2	Välipohjien askelääneneristyksen psykoakustinen arviointi .....	81
5.2.1	Askeläänikoje .....	81
5.2.2	Sukilla kävely .....	82
5.2.3	Pehmeäpohjaisilla kengillä kävely.....	85
5.2.4	Kovapohjaisilla kengillä kävely.....	87
5.2.5	Pallon pompottaminen.....	90
5.2.6	Tuolin siirto .....	91
5.3	Todellisen askeläänen perusteella heikoimmat välipohjat .....	92
5.4	Mittalukujen korrelaatio .....	96
6	YHTEENVETO.....	99
6.1	Välipohjien rakennus- ja psykoakustinen askelääneneristys .....	99
6.2	Rakennus- ja psykoakustisten mittalukujen korrelaatio .....	101
	LÄHTEET.....	102
	LIITTEET.....	109

## KÄSITTEET

Absorptioala	Kertoo huoneessa olevan vaimennusmateriaalin kokonaisuuden neliömetreinä. Yhden neliömetrin absorptioala vastaa yhtä neliometriä sellaista materiaalia, jonka absorptiosuhde on 1.
Absorptiosuhde	Kuvaa materiaaliin siirtyneen ja siihen kohdistuneen äänitehon suhdetta. Absorptiosuhde saa arvoja väliltä 0...1.
Amplitudimodulaatio	Ajallisesti vaihtelevan signaalin voimakkuuden vaihtelu.
Askelääneneristävyys	Kuvaa rakenteen kykyä vähentää rakenteeseen kohdistuneista iskuista, kuten kävelystä, huonekalujen siirtämisestä tai lasten leikkimisestä, muodostuvien runkoäänien siirtymistä toiseen tilaan (engl. impact sound insulation). Askelääneneristävyys riippuu taajuudesta.
Askeläänenpainetaso	Askeläänen tilaan aiheuttama äänenpainetaso.
Askelääni	Kävelystä, huonekalujen siirtämisestä, imuroinnista tms. toiminnasta aiheutuva toisessa tilassa kuultava ääni.
Askeläänikoje	Koje, jonka vastaanottohuoneeseen tuottamien askeläänepainetasojen perusteella arvioidaan rakenteen askelääneneristävyttä (engl. tapping machine). Kojeessa on viisi 0,5 kg painavaa vasaraa, joista kukin putoaa 40 mm korkeudelta lattialle aiheuttaen rakenteeseen kohdistuvan iskun kahdesti sekunnissa.
Binauraalinen	Kahdella korvalla kuultu.
Dynaaminen jäykkyys	Kuvaa eristemateriaalin jousivakiota puristukselle.
Ekvivalentti äänenpainetaso	Jatkuva äänenpainetaso, jonka tehollisarvo on yhtä suuri kuin mittausaikavälin vaihtelevan äänenpainetason tehollisarvo. Ekvivalentti äänenpainetaso korostaa äänenpainetason hetkellisiä huippuja.
Enimmäisäänepainetaso	Vaihtelevaa ääntä tuottavan äänilähteen mittausaikavälin aikana tuottama hetkellisesti suurin äänenpainetaso.
Ilmääneneristävyys	Kuvaa rakenteen kohdanneen ilmaäänien äänitehon ja rakenteen kautta toiseen tilaan siirtyneen äänitehon suhdetta. Ilmääneneristävyys riippuu taajuudesta.
Jalanpäällyste	Kävelyn aikana jalassa pidettävät kengät tai sukat.
Jälkikaiunta-aika	Aika, jona tilaan muodostunut äänenpaine laskee 60 dB, kun tilassa oleva äänilähde sammutetaan äkillisesti. Jälkikaiunta-aika riippuu taajuudesta.
Karheus	Psykoakustinen suure, joka liittyy äänen nopeahkoon amplitudimodulaatioon (15–300 Hz) (engl. roughness).
Kumipallo	Askeläänilähde, jota käytetään askelääneneristykseen määrittämiseen muun muassa Japanissa (engl. rubber ball).

	Pallon massa on 2,5 kg, sen halkaisija on 180 mm ja seinämän paksuus 30 mm. Kumipalloa pudotetaan tutkittavan rakenteen päälle ja tämän tuottamaa äänenpainetasoa mitataan vastaanottohuoneessa.
Monauraalinen Normalisointi	Yhdellä korvalla kuultu. Askeläänepainetasojen laskeminen vastaanottohuoneen absorptiopinta-alan ja vertailuabsorptioalan perusteella.
Ominaisaajuus Psykoakustiikka	Taajuus, jolla rakenne herkimmin värähtelee. Akustiikan osa-alue, joka tutkii kuulijan aistimuksia eli subjektiivisia vasteita ärsykkeisiin, objektiivisesti mitattaviin fysikaalisiin ääniherätteisiin ja näihin liittyviin ympäristötekijöihin.
Rengaskoje	Askeläänilähde, jota käytetään askelääneneristyksen määrittämiseen muun muassa Koreassa ja Japanissa (engl. bang machine, tire impact machine). Kojeella lyödään välipohjarakenteeseen rengasta, jonka tuottamaa äänenpainetasoa mitataan vastaanottohuoneessa.
Sivutiesiirtymä	Äänen kulkeutuminen toiseen tilaan tiloja erottavaa rakenteita sivuavien rakenteiden ja LVIS-järjestelmien osien kautta. Sivutiesiirtymä sisältää äänen siirtymisen tilojen välillä muita kuin tiloja erottavan rakenteen kautta.
Spektripainotusermi	Käytetään askeläänitasoluvun yhteydessä, kun halutaan ottaa paremmin esimerkiksi pienten taajuuksien vaikutus huomioon.
Standardisointi	Askeläänepainetasojen laskeminen vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan ja vertailujälkikaiunta-ajan perusteella.
Taustäänikorjaus	Taustäänepainetason vähentäminen mitatusta signaalin ja taustäänien yhdistetystä äänenpainetasosta.
Vaihteluvoimakkuus	Psykoakustinen suure, joka kuvaa äänen vaihtelua ja modulaatiota (engl. fluctuation strenght). Vaihteluvoimakkuus on suurimmillaan, kun äänen vaihtelutaajuus on 4 Hz.
Äänekkyyys	Subjektiivista äänenvoimakkuutta kuvaava psykoakustinen suure (engl. loudness). Äänekkyyys riippuu signaalin äänispektristä ja ajallisesta vaihtelusta.
Äänekkyyystaso	Äänekkyyttä vastaava tasosuure (engl. loudness level).



## MERKINNÄT

$A_0$	Vertailuabsorptioala $10 \text{ m}^2$
$C_I$	Askeläänitasoluvun spektripainotusermi taajuusalueelle 100–2500 Hz [dB]
$C_{I,50-2500}$	Askeläänitasoluvun spektripainotusermi taajuusalueelle 50–2500 Hz [dB]
$D_{nT, \text{impact}}$	Rakenteen standardisoitu askeläänitasoeroluku [dB]
$f$	Taajuus [Hz]
$f_i$	Taajuuskaistan $i$ keskitaajuus [Hz]
$L_{A, \text{eq}}$	A-painotettu ekvivalentti äänitaso [dB]
$L_{A, \text{eq}, i}$	A-painotettu ekvivalentti äänitaso taajuuskaistalla $i$ [dB]
$L_{A, \text{Fmax}}$	A-painotettu, F-aikapainotettu enimmäisäänitaso [dB]
$L_{\text{eq}}$	Ekvivalentti äänenpainetaso [dB]
$L_{\text{eq}, i}$	Ekvivalentti äänenpainetaso taajuuskaistalla $i$ [dB]
$L_{\text{eq}, j}$	Taustakorjattu ekvivalentti äänenpainetaso [dB]
$L_{\text{Fmax}}$	F-aikapainotettu enimmäisäänepainetaso [dB]
$L_{\text{Fmax}, i}$	F-aikapainotettu enimmäisäänepainetaso taajuuskaistalla $i$ [dB]
$L'_j$	Kentällä tehdyn askelääneneristysmittauksen $j$ askeläänepainetaso [dB]
$L_{, i}$	Askelääneneristävyyden vertailuspektri taajuuskaistalla $i$ [dB]
$L'_i$	Kentällä mitattujen askeläänepainetasojen $L'_j$ paikkakeskiarvo taajuuskaistalla $i$ [dB]
$L'_n$	Normalisoitu kentällä mitattu taajuuskaistainen askeläänepainetaso [dB]
$L_N$	Äänekkyystaso [foni]
$L_{N, \text{Fmax}, i}$	F-aikapainotettu enimmäisäänekkyystaso taajuuskaistalla $i$ [foni]
$L'_{n, \text{sum}}$	Normalisoitujen kentällä mitattujen taajuuskaistaisten askeläänepainetasojen logaritminen summa [dB]
$L'_{n, r, 0, w}$	Raakavälipohjan askeläänitasoluku kentällä mitattuna [dB]
$L'_{n, r, w}$	Päällystetyn välipohjan askeläänitasoluku kentällä mitattuna [dB]
$L'_{n, w}$	Askeläänitasoluku kentällä mitattuna [dB]
$L'_{nT}$	Standardisoitu kentällä mitattu taajuuskaistainen askeläänepainetaso [dB]
$L'_{nT, w}$	Standardisoitu askeläänitasoluku kentällä mitattuna [dB]
$L_{p, b}$	Taustaäänepainetaso [dB]
$L_{p, c}$	Taustaäänikorjattu äänenpainetaso [dB]
$L_{p, sb}$	Signaalin ja taustaäänien yhdistetty äänenpainetaso [dB]
$L_{R, i}$	Äänenpainetason paikkakeskiarvo taajuuskaistalla $i$ [dB]
$m'$	Rakenteen pintamassa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]
$N$	Äänekkyys [soni]
$P_S$	Askeläänikojeen iskuteho [W]

$R^2$	Selitysaste
$R'_w$	Ilmaääneneristysluku kentällä mitattuna [dB]
$R_i$	Askelääneneristävyys taajuuskaistalla $i$ [dB]
$R_{\text{impact}}$	Askelääneneristysluku [dB]
$s$	Eristemateriaalin dynaaminen jäykkyys [MN/m <sup>3</sup> ]
$T$	Jälkikaiunta-aika [s]
$T_0$	Vertailujälkikaiunta-aika 0,5 s
$V$	Vastaanottohuoneen tilavuus [m <sup>3</sup> ]
$\Delta L_w$	Askelääneneristävyyden parannusluku [dB]
$\Delta R_{\text{impact}}$	Askelääneneristyksen parannusluku standardiehdotuksessa [dB]
$\eta$	Rakenteen kokonaishäviökerroin

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Välipohjien askelääneneristävyyden ja sen arviointi

Välipohjien askelääneneristävyyden tarkoituksena on vähentää rakenteeseen kohdistuneista iskuista, kuten kävelystä, huonekalujen siirtämisestä tai lasten leikkimisestä, muodostuvien askeläänien siirtymistä rakenteen alapuoliseen tilaan. Iskut tuottavat runkoääniä, jotka siirtyvät rakenteita pitkin vastaanottohuoneeseen, jossa ne aistitaan ilmaääninä. Runkoäänit kulkevat alapuoliseen tilaan paitsi tiloja erottavan välipohjarakenteen kautta, myös kaikkien siihen liittyvien muiden rakennusosien välityksellä eli rakenteellisina sivutiesiirtyminä.

Välipohjarakenteiden askelääneneristävyyden arviointimenetelmä on peräisin 1960-luvulta, jolloin kansainvälinen standardisoimisjärjestö ISO standardoi mittauksissa käytettävän askeläänilähteen, askeläänikojeen, ja laskennassa käytettävän vertailukäyrän. Rakenteiden askelääneneristävyyden määrittämiseen on siitä asti käytetty epäsuoraa menetelmää, jossa standardoitu askeläänilähde kohdistaa tutkittavan rakenteen pintaan herätteen ja tämän tuottamaa ääntä mitataan vastaanottohuoneessa. Mitattujen äänenpainetasojen perusteella voidaan vertailukäyrämenettelyn avulla laskea yksilukuinen mittaluku, joka kuvaa rakenteen askelääneneristävyyttä.

Kansainvälisen standardisoimisjärjestö ISO:n mukaisessa nykyisessä kenttämittausmenetelmässä, joka on esitetty standardissa ISO 140-7 [10], tulee mitata askeläänikojeen vastaanottohuoneeseen tuottama askeläänipainetaso, vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika ja taustäänenpainetaso. Näiden perusteella lasketaan taajuuskaistainen normalisoitu askeläänipainetaso  $L'_n$  tai vaihtoehtoisesti standardisoitu askeläänipainetaso  $L'_{nT}$ . Standardissa ISO 717-2 [13] on esitetty yksilukuisen rakennusakustisen mittaluvun laskentamenetelmä. Laskennassa normalisoitujen tai standardisoitujen askeläänipainetasojen perusteella määritetään paikka vertailukäyrälle, jolta luetaan rakenteen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  tai standardisoitu askeläänitasoluku  $L'_{nT,w}$ . Lisäksi on esitetty spektripainotusermit  $C_I$  ja  $C_{I,50-2500}$ , joiden avulla voidaan ottaa muun muassa pienten taajuuksien vaikutukset huomioon.

Nykyisen standardin ISO 717-2 mukaisen arviointimenetelmän tilalle on ehdotettu vaihtoehtoista menetelmää, jossa askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  sijaan määritettäisiin rakenteen askelääneneristysluku  $R_{\text{impact}}$  [59]. Menetelmän avulla pyritään siis määrittämään rakenteen ääneneristävyyden vastaanottohuoneeseen syntyvän äänenpainetason sijaan. Ehdotuksen mukaan menetelmä, jolla mitataan, ei tulisi muuttumaan ja sen perusteella uudet mittaluvut voitaisiin laskea siten myös vanhoista mittauksista, kunhan mitattu taajuusalue on ollut vaaditun suuruinen. Menetelmässä vertailukäyrämenettely poistuu

käytöstä ja sen sijaan askelääneneristyslukua laskettaessa käytetään vertailuspektrinä askeläänikojeen äänitehospektriä.

## 1.2 Arviointimenetelmän ongelmat

Askelääneneristysten arviointimenetelmää on kritisoitu 1960-luvulta lähtien, siitä asti kun menetelmä standardoitiin [14, 44, 49, 50]. Kritiikki on kohdistunut lähinnä standardoidun askeläänikojeen käyttöön mittauksissa. Arvostelu johtuu siitä, että todellinen askeläänieräite, kuten kävely, tuottaa erilaisen äänispektrin kuin askeläänikoje ja todellisuudessa rakennusten käyttäjät arvioivat askelääneneristystä subjektiivisesti kävelyn perusteella. Lisäksi äänten häiritsevyys riippuu äänispektrin muodosta, koska korvan herkkyys on taajuusriippuvainen [15]. Täten on mahdollista, että askelääneneristävyyden arviointi askeläänikojeen ja kävelyn perusteella tuottavat erilaisen tuloksen.

Eri askeläänilähteiden tuottamien herätteiden suhde ei ole vakio, vaan se riippuu paitsi välipohjan kantavasta rakenteesta, myös pintarakenteen ominaisuuksista [35]. Siten askeläänikojeen aiheuttaman äänen perusteella ei voida suoraan arvioida välipohjan alapuoliseen tilaan esimerkiksi kävelystä aiheutuvaa ääntä. Tämän takia on mahdollista, että arviointimenetelmällä saatujen mittalukujen mukaan jotkut paremmat välipohjat ovatkin ihmisen käsityksen kannalta huonompia rakenteita kuin mittalukujen perusteella heikommat rakenteet. Toisin sanoen menetelmällä saatava rakenteiden paremmuusjärjestys on ihmisten kokemusten kannalta väärä. Ruotsissa tehdyn tutkimuksen perusteella joidenkin välipohjarakenteiden askeläänitasolukujen  $L'_{n,w}$  ja subjektiivisen käsityksen välinen korrelaatio oli vain 41 % [20].

Myös mitattavaa taajuusaluetta on arvosteltu [65, 66]. Kävely tuottaa eniten askelääntä pienillä taajuuksilla kun taas ISO-standardin mukainen laskentamenetelmä ottaa huomioon kolmannesoktaavikaistaiset taajuudet välillä 100...3150 Hz. Pienemmät taajuudet voidaan ottaa huomioon spektripainotustermiä  $C_{1,50-2500}$  käyttämällä, mutta tämä ei poista sitä ongelmaa, että askelääneneristävyys määräytyy askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella. Myös ehdotetun menetelmän mukaisessa arvioinnissa otetaan huomioon taajuusalue 50–2500 Hz.

Askeläänikojeen tuottamasta askeläänispektristä laskettavan mittaluvun tulisi olla sellainen, että se vastaisi koettua askelääneneristystä. Jos näin ei kuitenkaan ole, esimerkiksi nykyisten askelääneneristysmääräysten tiukentaminen ei välttämättä ratkaisisi ongelmaa. Kirjallisuudessa on esitetty tapauksia, joissa arviointimenetelmän perusteella välipohjarakenteen askelääneneristävyys riittävä tai huomattavasti parempi kuin vaaditaan, mutta askelääneneristyksestä on tästä huolimatta valitettu [32].

## 1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Betonirakenteisten välipohjarakenteiden askelääneneristys riippuu kantavan rakenteen lisäksi välipohjan pintarakenteesta. Askelääneneristysten kannalta pintarakenteen tehtävänä on vaimentaa rakenteen pintaan kohdistuvat iskut ja siten lisätä välipohjan askel-

ääneneristävyttä. Erilaisten pintarakenteiden, kuten matto- ja parkettipäällysteiden ja kelluvien rakenteiden ominaisuudet ovat erilaiset ja ne vaikuttavat eri tavoin välipohjarakenteen alapuoliseen tilaan syntyvän äänen taajuusjakaumaan ja voimakkuuteen.

Välipohjarakenteiden alapuoliseen tilaan syntyvä ääni riippuu rakenteen ominaisuuksien lisäksi rakenteeseen kohdistuneesta herätteestä. Näin ollen eri herätteiden perusteella arvioituna rakenteen alapuolelle syntyvä ääni on erilainen. Käytännössä rakennuksissa välipohjarakenteisiin kohdistuvat askelääniherätteet johtuvat muun muassa kävelystä, huonekalujen siirtelystä ja lasten leikkimisestä. Näistä kuitenkin yleisin herätteen aiheuttaja lienee kävely. Siten askelääneneristyksen näkökulmasta rakenteen pääasiallinen tehtävä on vaimentaa juuri kävelyn aiheuttamaa ääntä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset askelääneneristystä kuvaavat rakennusakustiset mittaluvut vastaavat välipohjilla todellisten askelääniherätteiden tuottamaa ääntä. Tutkimuksessa selvitetään kirjallisuuden avulla ratkaisumalleja askelääneneristyksen mittaumenetelmän kehittämiseksi ja askeläänikojeen tuottaman äänen ja todellisen askeläänien eroa. Kirjallisuuden perusteella selvitetään myös, mitkä psykoakustiset mittaluvut kuvaavat todellisten askeläänien tuottamaa aistimusta.

Tutkimuksessa suoritetaan välipohjien askelääneneristysmittauksia käyttäen askelääniherätteinä sekä askeläänikojetta että todellisia askelääniherätteitä. Todellisina askelääniherätteinä tutkimuksessa toimivat kävely, pallon pompottaminen ja tuolin siirto. Näiden perusteella määritetään tunnusluvut, jotka kuvaavat askeläänestä syntyvää ääni-aistimusta. Tutkimuksessa mittaukset tehdään yhdeksällä eri välipohjarakenteella. Välipohjarakenteiden kantava rakenne on kaikilla rakenteilla sama, mutta niiden pintarakenteet vaihtelevat. Tutkimuksessa välipohjien pintarakenteina toimivat erilaiset mattopäällysteet, parkettipäällyste ja kelluvat rakenteet.

Mittaustulosten perusteella on mahdollista selvittää välipohjarakenteiden askelääneneristävyuden paremmuusjärjestys rakennusakustisten mittalukujen ja todellisten askeläänien perusteella määritettävien psykoakustisten mittalukujen mukaan. Näin voidaan arvioida ihmisten kokemaa rakenteiden paremmuusjärjestystä ja sen vastaavuutta käytettyjen menetelmien kanssa. Todellisten askelääniherätteiden tuottaman äänen perusteella voidaan myös päätellä rakennus- ja psykoakustisten mittalukujen riippuvuutta.

## 2 ASKELÄÄNENERISTYKSEN MITTAUSMENETELMÄN ONGELMAT

### 2.1 Askelääneneristuksen mittausmenetelmän kehittyminen

Ennen 1930-lukua askelääneneristystä arvioitiin subjektiivisella menetelmällä, jossa pudotettiin kuulaa eri korkeuksilta lattiaan ja koehenkilöt kuuntelivat tämän tuottamaa ääntä. Kuuntelun perusteella määritettiin askelääneneristystä kuvaava indeksi, joka vastasi sitä korkeutta, jolta pudonnutta kuulaa ei enää havaittu. Tutkijat kuitenkin halusivat objektiivisen menetelmän askelääneneristyksen arviointiin. Objektiivinen menetelmä vaati askeläänilähteen kehittämisen. [35]

Nykyisin useissa maissa askelääneneristystä mitataan käyttämällä äänilähteenä askeläänikojeetta, joka kehitettiin 1930-luvulla todetun tarpeen mukaan. Askeläänikojeen standardoimista ehdotettiin ensimmäisen kerran Saksassa vuonna 1936 [35]. Standardoitavaksi ehdotetun kojeen ominaisuudet olivat lähes samat kuin nykyisin. Kojeen tuottama kokonaisäänepainetaso mitattiin tutkittavan rakenteen alapuolella taajuusalueella 600–1200 Hz ja mittaustulos normalisoitiin keskimääräisen absorptioalan suhteella  $1 \text{ m}^2$  vertailuabsorptioalaan. Vasta vuonna 1947 ehdotettiin askeläänepainetasojen mittaamista taajuuskaistoittain saksalaisen menetelmän osoittauduttua epäluotettavaksi [21]. Tällöin tutkittavaa rakennetta verrattiin normivälipohjaan ja askelääneneristystä kuvaava mittaluku määritettiin rakenteen ja normivälipohjan tuottamien äänenpainetasojen erotusten keskiarvona taajuusalueella 125–1600 Hz. Menetelmää ehdotettiin standardoitavaksi vuonna 1948 [3].

Vuonna 1949 Gösele aloitti askelääneneristystä kuvaavan mittaluvun kehittämisen, kun hän esitti vaatimukset menetelmälle [19]. Vertailukäyrä askelääneneristysluvun määrittämiseksi kehitettiin Saksassa 1950-luvulla. Tuolloin otettiin käyttöön askeläänikojeen tuottamien äänenpainetasojen mittaaminen oktaavi- ja kolmannesoktaavikaistoittain ja niiden normalisointi vertailuabsorptioalaan  $10 \text{ m}^2$ . Mitattavaksi taajuusalueeksi valittiin 100–3200 Hz. Aluetta suurempien taajuuksien oletettiin olevan käytännöllisesti merkityksettömiä ja taas alle 100 Hz taajuuksien mittaamisen epävarmuutta pidettiin liian suurena [6]. Mittaustuloksia verrattiin taajuuskaistoittain hyväksi ja taloudelliseksi todetun välipohjarakenteen perusteella johdettuun vertailukäyrään. Vertailukäyrän paikka määräytyi mittaustulosten perusteella ja mittaluku ilmoitettiin normikäyrän ja paikalleen asetetun vertailukäyrän erotuksena. [35]

Kansainvälinen standardisoimisjärjestö ISO standardoi askeläänikojeen vuonna 1960 standardissa ISO R140 ja vertailukäyrän vuonna 1968 standardissa ISO R717. Tällöin käytetty vertailukäyrämenettely muuttui Saksassa käytettyyn menetelmään näh-

den siten, että mittalukua määritettäessä vertailukäyrää liikutettiin mittaustulosten perusteella. Standardeissa esitetyn menetelmän mukaan mitatut askeläänepainetasot saivat poiketa epäsuotuisaan suuntaan eli vertailukäyrän yläpuolelle enintään 32 dB. Menetelmän lisäehdon mukaan yksittäinen poikkeama taajuuskaistalla sai olla enintään 8 dB. Sallittujen yksittäisten poikkeamien ehdot kuitenkin poistettiin standardeja uudistettaessa vuosina 1978 ja 1982. Viimeksi standardeja uudistettaessa vuosina 1996–1998 lisättiin standardiin spektripainotustermit  $C_1$  ja  $C_{1,50-2500}$ , joiden avulla otetaan huomioon muun muassa pienten taajuuksien vaikutukset. Käytännössä spektripainotustermin  $C_1$  käyttö vastaa standardista poistettua 8 dB lisäehtoa. Spektripainotustermin  $C_{1,50-2500}$  avulla voidaan taas ottaa huomioon myös kolmannesoktaavikaistat 50, 63 ja 80 Hz. [33, 35]

## 2.2 Askelääneneristyksen mittaaminen kentällä

Standardissa ISO 140-7 [10] on esitetty, miten välipohjien askelääneneristyksen kenttämittaus suoritetaan käyttäen äänilähteenä standardoitua askeläänikojetta. Mittausmenetelmä soveltuu sekä päällystämättömien että päällystettyjen välipohjarakenteiden askelääneneristyksen mittaamiseen. Menetelmässä määritetään vastaanottohuoneeseen syntyvä äänenpainetaso askeläänikojeen toimiessa äänilähteenä tutkittavan välipohjan päällä. Menetelmän mukaan tulee mitata sekä askeläänikojeen tuottama äänenpainetaso vastaanottohuoneessa että vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika.

Kuvassa 2.1 on esitetty tyypillinen standardoitu askeläänikoje. Askeläänikojeessa on viisi 0,5 kg painavaa vasaraa, joista kukin putoaa 40 mm korkeudelta lattialle aiheuttaen rakenteeseen kohdistuvan iskun kahdesti sekunnissa. Kojeen vierekkäisten vasaroiden välinen etäisyys ja pehmustettujen tukijalkojen etäisyys lähimmästä vasarasta on 100 mm. Mitattaessa askeläänikoje tulee sijoittaa lähetyshuoneessa vähintään neljään paikkaan tutkittavan välipohjarakenteen päälle. Askeläänikoje tulee sijoittaa kuitenkin vähintään 0,5 m päähän välipohjarakenteen reunoilta ja asettaa 45° kulmaan rakenteen kantavaan suuntaan nähden.



*Kuva 2.1. Standardoitu askeläänikoje.*

Äänenpainetasot mitataan vastaanottohuoneessa 16 kolmannesoktaavitaajuuskaistalla taajuusalueella 100–3150 Hz. Tarvittaessa mitattavaa taajuusaluetta voidaan laajentaa keskitaajuuksille 50, 63 ja 80 Hz sekä 4000 ja 5000 Hz, mikäli halutaan tietoa rakenteen askelääneneristyskyvystä pienillä taajuuksilla tai vertailukelpoisia tuloksia standardin ISO 140-6 mukaisen laboratoriomittauksen kanssa. Standardin mukaisessa mittauksessa vastaanottohuoneessa tulee olla vähintään neljä äänenpainetason mittauspaiikka. Mittauksia tulee tehdä yhteensä vähintään kuusi.

Standardin mukaan mikrofonipaikkojen välisen etäisyyden tulee olla vähintään 0,7 m, mikrofonipaikan ja huoneen pintojen välisen etäisyyden vähintään 0,5 m ja mikrofonin ja askeläänikojeella herätetyn välipohjarakenteen välisen etäisyyden vähintään 1,0 m. Äänenpainetasojen mittauksen tulee standardin mukaan kullakin mittauspaiikalla kestää vähintään 6 s alle 400 Hz:n taajuuksilla ja vähintään 4 s tätä suuremmilla taajuuksilla.

Standardissa esitetään myös ohjeet pienten taajuuksien mittaamiseen. Ohjeiden mukaan mitattaessa mikrofonien etäisyyksien huoneen pintoihin tulisi olla vähintään 1,2 m. Tällöin äänenpainetasojen mittauksen tulee 50 Hz:n taajuuskaistalla kestää vähintään 15 s. Mitatuista taajuuskaistaisista äänenpainetasoista  $L'_j$  [dB] määritetään taajuuskaistoittain paikkakeskiarvo  $L'_i$  [dB] kaavan (2.1) mukaisesti:

$$L'_i = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L'_j/10} \right) \quad (2.1)$$

Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika  $T$  [s] määritetään standardin ISO 354 [11] mukaisesti. Standardissa on esitetty jälkikaiunta-ajan laskentaan kaksi menetelmää: keskeytetyn kohinan menetelmän ja integroidun impulssivasteen menetelmän. Tässä on käsitelty keskeytetyn kohinan menetelmää. Menetelmässä huoneeseen tuotetaan tasainen kohina, jonka vierekkäiset taajuuskaistaiset arvot saavat poiketa toisistaan enintään 6 dB. Kohina pysäytetään äkillisesti ja syntyvää äänen vaimentumista mitataan. Vaimenemiskäyrästä määritetään jälkikaiunta-aika eli aika, jona äänenpainetaso laskee 60 dB äänilähteen sammuttamisesta.

Jälkikaiunta-ajan mittaamisessa tulee standardin ISO 140-7 [10] mukaan olla vähintään yksi kaiutinpaikka ja kolme mikrofonipaikkaa. Kullakin mikrofonipaikalla tulee mitata vähintään kaksi pursketta. Vaimentumismittauksia tulee standardin mukaan tehdä kuitenkin vähintään kuusi. ISO 354 [11] on määritellyt, että kaiutinpaikkojen välisen etäisyyden tulee olla vähintään 3 m. Mikrofonipaikkojen välisen etäisyyden tulee sitä vastoin olla vähintään 1,5 m, mikrofonin ja äänilähteen välisen etäisyyden vähintään 2 m ja mikrofonin ja huoneen reunojen välisen etäisyyden vähintään 1 m.

Standardin ISO 140-7 [10] mukaan tulee mitata myös vastaanottohuoneen taustaäänepainetaso. Taustaäänepainetason avulla vastaanottohuoneessa mitattuihin askeläänepainetasoihin tehdään taustaäänikorjaus kolmannesoktaavikaistoittain. Standardissa esitetyn menetelmän mukaan mitatulle äänenpainetason taajuuskaistalle tulee tehdä korjaus, jos taustaäänepainetaso  $L_{p,b}$  [dB] on alle 10 dB alhaisempi kuin mitattu signaalin



ja taustääänenpainetason yhdistetty äänenpainetaso  $L_{p, sb}$  [dB]. Kun ero on alle 10 dB, mutta vähintään 6 dB, lasketaan taustäänikorjattu äänenpainetaso  $L'_i$  [dB] kaavan (2.2) mukaisesti:

$$L'_i = 10 \lg(10^{L_{p, sb}/10} - 10^{L_{p, b}/10}) \quad (2.2)$$

Mikäli ero on pienempi kuin 6 dB, mitatusta signaalin ja taustäänitason yhdistetystä äänenpainetasosta tulee vähentää 1,3 dB. Jos ero ylittää 10 dB, ei taustäänikorjausta tarvitse tehdä. Tarkastelu tehdään jokaisella mitatulla taajuuskaistalla.

Standardin mukaan tilaan syntyvä askeläänenpainetaso voidaan laskea joko normalisoimalla äänenpainetasot vastaanottohuoneen absorptioalan perusteella tai standardisoimalla vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan mukaan. Suomessa määräykset ja suositukset edellyttävän käytettäväksi äänenpainetasojen normalisointia [62, 64]. Tällöin askeläänenpainetasot  $L'_n$  [dB] lasketaan kolmannesoktaavikaistoittain taustäänikorjatuista äänenpainetasoista kaavan (2.3) mukaisesti käyttäen vertailuabsorptioalana  $A_0$  pinta-alaa  $10 \text{ m}^2$ . Vastaanottohuoneen absorptioala  $A$  [ $\text{m}^2$ ] määritetään Sabineen mukaan huoneen jälkikaiunta-ajan  $T$  [s] ja tilavuuden  $V$  [ $\text{m}^3$ ] perusteella kaavasta (2.4):

$$L'_n = L'_i + 10 \lg\left(\frac{A}{A_0}\right) \quad (2.3)$$

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \quad (2.4)$$

Joissakin Euroopan maissa, kuten Itävallassa ja Iso-Britanniassa, käytetään äänenpainetasojen standardisointia [54, 55], jolloin mitatuista ja taustäänikorjatuista äänenpainetasoista lasketaan standardisoidut äänenpainetasot  $L'_{nT}$  [dB]. Äänenpainetasojen standardisoinnissa tehdään mitattujen äänenpainetasojen korjaus vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan  $T$  [s] ja vertailujälkikaiunta-ajan  $T_0$  perusteella. Vertailujälkikaiunta-ajan pituutena käytetään 0,5 sekuntia. Vastaanottohuoneessa mitatut askeläänikojeen tuottamat standardisoidut äänenpainetasot lasketaan kaavan (2.5) mukaisesti:

$$L'_{nT} = L'_i - 10 \lg\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (2.5)$$

## 2.3 Rakennusakustiset mittaluvut

### 2.3.1 Nykystandardin määrittelemät mittaluvut

Standardissa ISO 717-2 [13] on esitetty menetelmä, jossa kolmannesoktaavitaajuuskaistoittain mitatuista askeläänenpainetasoista  $L'_n$  lasketaan yksilukuinen mittaluku, joka kuvaa rakenteen kykyä eristää askelääntä. (Normalisoitu) askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  [dB] tai standardisoitu askeläänitasoluku  $L'_{nT,w}$  [dB] määritetään vertailukäyrämenettelyllä taajuuskaistoittain mitatuista äänenpainetasoista  $L'_n$  tai  $L'_{nT}$  riippuen käytetystä normalisointimenetelmästä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 [64] määräykset

koskien askelääneneristystä on annettu askeläänitasolukuina  $L'_{n,w}$ . Kun käytetään standardissa ISO 140-7 [10] esitettyä tavanomaista taajuusaluetta 100–3150 Hz, vertailukäyrää siirretään 1 dB suuruisin askelin kohti mittauskäyrää, kunnes epäsuotuisten poikkeamien eli vertailukäyrän ylittävien taajuuskaistaisten arvojen summa on mahdollisimman suuri, mutta kuitenkin enintään 32 dB. Vertailukäyrän ollessa menettelyn mukaisessa paikassa askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  tai standardisoidun askeläänitasoluvun  $L'_{nT,w}$  desibeliarvo voidaan lukea vertailukäyrältä keskitaajuuden 500 Hz kohdalta. Täten askeläänitasoluku on sitä pienempi mitä parempi on rakenteen askelääneneristyskyky.

Joissakin Euroopan maissa on otettu käyttöön myös spektripainotustermit  $C_I$  [dB] tai  $C_{I,50-2500}$  [dB], joilla otetaan huomioon huiput äänenpainetasoissa etenkin pienillä taajuuksilla [54, 55]. Suomessa tätä käytäntöä ei säädöstasolla ole otettu käyttöön, koska pienten taajuuksien mittaasepätkä tarkkuuden on ajateltu olevan liian suuri äänikentän ominaisuuksista johtuen [38, 64]. Spektripainotustermit on esitetty kuitenkin vaatimuksissa SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus [62], jonka mukaan rakennukset jaetaan neljään akustiseen luokkaan A, B, C ja D. Esimerkiksi asuntojen askelääneneristysvaatimukset on esitetty akustisissa luokissa A ja B askeläänitasoluvun ja spektripainotustermin summana  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ . Termit voidaan vaatimusten mukaan lisätä askeläänitasolukuun  $L'_{n,w}$  tai standardisoituun askeläänitasolukuun  $L'_{nT,w}$ . Spektripainotustermi  $C_I$  lasketaan kaavan (2.6) mukaisesti taajuuskaistaisten mittaustulosten  $L'_n$  energieettisen summan  $L'_{n,sum}$  [dB] ja askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  perusteella [13]:

$$C_I = L'_{n,sum} - 15 \text{ dB} - L'_{n,w} \quad (2.6)$$

jossa

$L'_{n,sum} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^k 10^{L'_{n,i}/10} \right)$  on äänenpainetasojen energieettinen summa taajuuskaistoilla  $i$  taajuusalueella 100–2500 Hz.

Spektripainotustermi  $C_{I,50-2500}$  lasketaan muutoin samalla tavoin kuin termi  $C_I$ , mutta äänenpainetasojen mittaustulosten energieettisen summan  $L'_{n,sum}$  taajuusalueena käytetään aluetta 50–2500 Hz.

Lattianpäällysteen askelääneneristävyyden vaimentamista arvioidaan askelääneneristävyyden parannusluvun  $\Delta L_w$  [dB] avulla. Askelääneneristävyyden parannusluku kertoo siitä, kuinka hyvin lattianpäällyste parantaa rakenteen askelääneneristävyyttä verrattuna raakavälipohjaan. Askelääneneristävyyden parannusluku  $\Delta L_w$  lasketaan kaavan (2.7) mukaisesti:

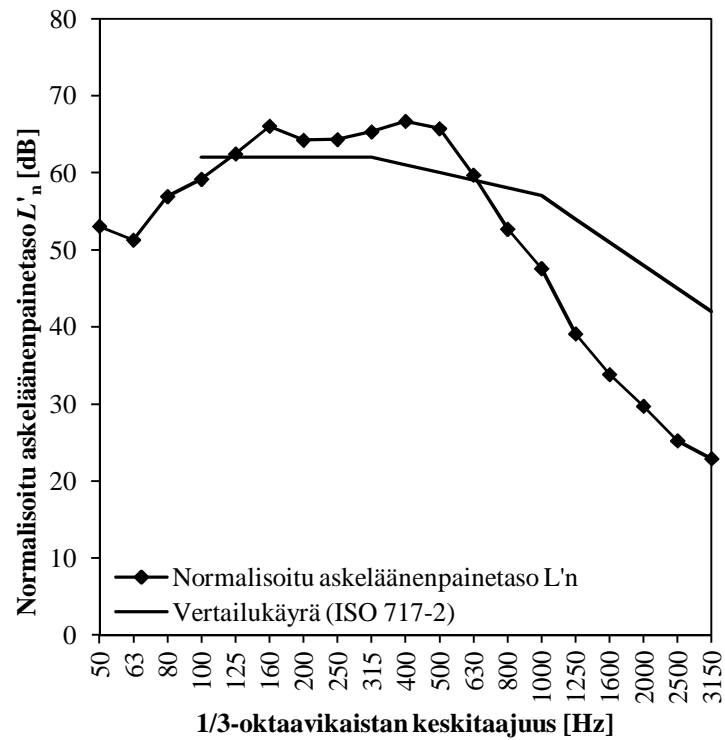
$$\Delta L_w = L'_{n,r,0,w} - L'_{n,r,w} \quad (2.7)$$

jossa

$L'_{n,r,0,w}$  [dB] on raakavälipohjan askeläänitasoluku

$L'_{n,r,w}$  [dB] on päällystetyn välipohjan askeläänitasoluku.

Kuvassa 2.2 on esitetty parkettipäällysteisen 265 mm paksun ontelolaattavälipohjan askeläänenpainetaso- ja vertailukäyrät, kun rakenteen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  on 60 dB. Mittauksen perusteella parketin ja sen alusmateriaalin askelääneneristävyyden parannusluku  $\Delta L_w$  on 20 dB. Taulukossa 2.1 on esitetty kyseisen välipohjarakenteen askelääneneristysluvun  $L'_{n,w}$ , spektripainotusermien  $C_1$  ja  $C_{1,50-2500}$  ja rakenteen askelääneneristävyyden parannusluvun  $\Delta L_w$  laskenta.



**Kuva 2.2.** Parkettipäällysteisen ontelolaattavälipohjan askeläänepainetaso ja sitä vastaava vertailukäyrä rakenteen askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  ollessa 60 dB.

**Taulukko 2.1.** Esimerkki välipohjarakenteen askelääneneristysluvun  $L'_{n,w}$  ja spektri-painotustermien  $C_1$  ja  $C_{1,50-2500}$  laskennasta.

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]	Vertailukäyrä [dB]	Epäsuotuisa poikkeama [dB]	Laskenta
50	53,0			<p>Epäsuotuisien poikkeamien summa:  <math>24,5 \text{ dB} &lt; 32,0 \text{ dB}</math>  <math>\rightarrow L'_{n,w} = 60 \text{ dB}</math></p> <p><math>f = 100 \dots 2500 \text{ Hz}</math>:  <math>L'_{n,\text{sum}} = 74,0 \text{ dB}</math>  <math>C_1 = 74,0 \text{ dB} - 15 \text{ dB} - 62 \text{ dB} \approx -1 \text{ dB}</math></p> <p><math>f = 50 \dots 2500 \text{ Hz}</math>:  <math>L'_{n,\text{sum}} = 74,1 \text{ dB}</math>  <math>C_{1,50-2500} = 74,1 \text{ dB} - 15 \text{ dB} - 60 \text{ dB} \approx -1 \text{ dB}</math></p> <p><math>L'_{n,r,0,w} = 80 \text{ dB}</math>  <math>\Delta L_w = 80 \text{ dB} - 60 \text{ dB} = 20 \text{ dB}</math></p>
63	51,3			
80	56,9			
100	59,2	62		
125	62,4	62	0,4	
160	66,0	62	4,0	
200	64,2	62	2,2	
250	64,3	62	2,3	
315	65,3	62	3,3	
400	66,7	61	5,7	
500	65,7	<b>60</b>	5,7	
630	59,7	59	0,7	
800	52,7	58		
1000	47,6	57		
1250	39,1	54		
1600	33,8	51		
2000	29,7	48		
2500	25,2	45		
3150	22,9	42		

### 2.3.2 Ehdotetut mittaluvut

Scholl esitti vuonna 2011 tavan, jolla standardissa ISO 717 esitetty askelääneneristysten laskentamenetelmä tulisi uudistaa [60]. Artikkelissa on esitetty uudet mittaluvut askelääneneristykselle. Schollin mukaan tapaa, jolla mittaukset suoritetaan, ei tarvitse muuttaa. Siten hänen ehdottamansa askelääneneristysten mittaluvut voidaan laskea myös vanhojen mittausten perusteella, kunhan mittauksissa käytetty taajuusalue on ollut 50–2500 Hz ja äänenpainetasot on määritetty kolmannesoktaavikaistoittain.

Standardin ISO 717 [12, 13] tällä hetkellä voimassaolevassa versiossa on määritelty ilmastueneristystä kuvaamaan suure ilmastueneristysluku  $R'_w$  ja askelääneneristystä askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ . Nämä lukuarvot ovat kuitenkin toisilleen vastakkaiset: ilmastueneristysluku kuvaa rakenteen kykyä eristää ilmastuäntä, kun taas askeläänitasoluku kuvaa rakenteen toiselle puolelle muodostuvaa äänenpainetasoa standardoidun askelääninikojeen toimiessa rakenteen herätteenä. Näiden mittalukujen lisäksi standardissa on käytössä useita erilaisia spektripainotustermejä. Schollin [60] mukaan standardin uudistamisen tarkoituksena on yksinkertaistaa mittalukujen systeemiä, vähentää vaihtoehtojen määrää ja antaa selkeät ohjeet siitä, mitä mittalukua käytetään missäkin tapauksessa. Lisäksi artikkelissa on esitetty mitattavan taajuusalueen laajentamista pienemmille taajuuksille 50 Hz asti. Epävarmuus ei ole esteenä tälle laajentamiselle [34, 36, 37].

Schollin ehdotuksen [59] mukaan askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  korvataan askelääneneristysluvulla  $R_{\text{impact}}$  ja standardisoitu askeläänitasoluku  $L'_{nT,w}$  standardisoidulla askeläänitasoeroluvulla  $D_{nT,\text{impact}}$ , jolloin asteikko, jolla rakenteen askelääneneristystä mitataan, saadaan vastaamaan ilmastueneristysluvun asteikkoa, mikä taas tekee rakenteen ääneneristyskyvyn vertailemisesta helpompaa. Ehdotuksen mukaan myös vertailukäyrä-

menettely poistuu käytöstä. Askelääneneristävyys  $R_i$  [dB] saadaan kolmannesoktaavikaistoittain kaavasta (2.8):

$$R_i = 78,2 + 10 \lg \left( \frac{f_i}{1 \text{ Hz}} \right) - L_{n,i} \quad (2.8)$$

jossa

$f_i$  on kolmannesoktaavikaistan  $i$  keskitaajuus [Hz] taajuusalueella 50–2500 Hz

$L_{n,i} = L_{R,i} + 10 \lg \left( \frac{A_i}{A_0} \right)$  on kolmannesoktaavikaistan  $i$  askeläänitaso [dB]

jossa

$L_{R,i}$  on vastaanottohuoneen äänenpainetason energieettinen keskiarvo [dB]

$A_i$  on vastaanottohuoneen absorptiopinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$A_0$  on vertailuabsorptiopinta-ala  $10 \text{ m}^2$ .

Standardisoitu askeläänitasoero  $D_{nT,i}$  [dB] saadaan vastaavasti standardisoidun askeläänitason  $L_{nT,i}$  perusteella kolmannesoktaavikaistoittain kaavasta (2.9):

$$D_{nT,i} = 78,2 + 10 \lg \left( \frac{f_i}{1 \text{ Hz}} \right) - L_{nT,i} \quad (2.9)$$

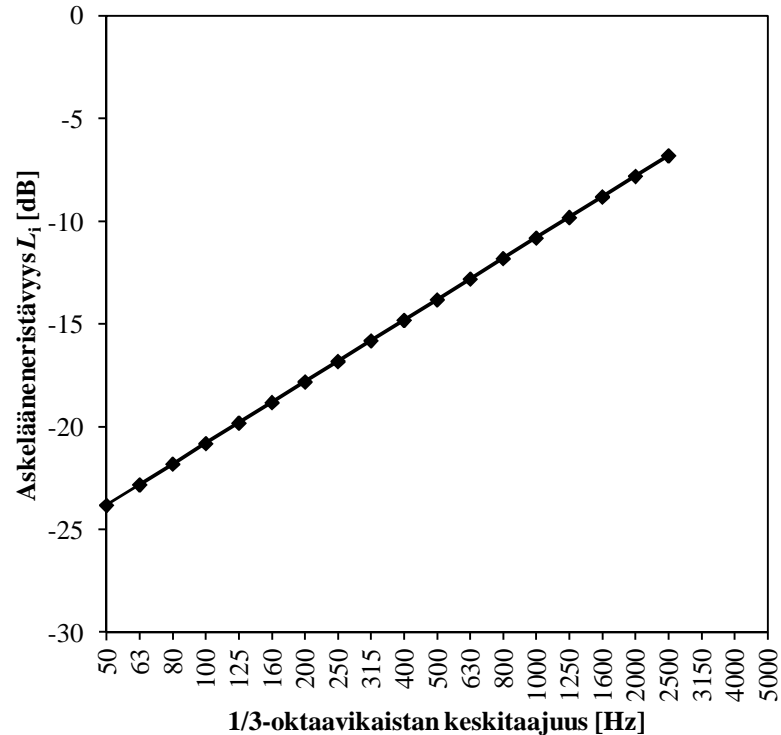
Askelääneneristysluku  $R_{\text{impact}}$  [dB] lasketaan kaavan (2.10) ja standardisoitu askeläänitasoeroluku  $D_{nT,\text{impact}}$  kaavan (2.11) mukaan rakenteen kohdanneen äänitehon ja sen toiselle puolelle siirtyneen tehon suhteen avulla, kun vertailuspektrinä  $L_i$  käytetään kuvan 2.3 mukaista spektriä:

$$R_{\text{impact}} = 10 \lg \left( \frac{\sum_i 10^{L_i/10}}{\sum_i 10^{(L_i - R_i)/10}} \right) \quad (2.10)$$

$$D_{nT,\text{impact}} = 10 \lg \left( \frac{\sum_i 10^{L_i/10}}{\sum_i 10^{(L_i - D_{nT,i})/10}} \right) \quad (2.11)$$

Nykystandardissa esitetyn askelääneneristävyuden parannusluvun  $\Delta L_w$  mukaisesti myös standardiehdotuksessa on esitetty askelääneneristysten parannusluku  $\Delta R_{\text{impact}}$ , joka saadaan vertaamalla päällystämättömän välipohjan askelääneneristävyyttä  $R_{i,\text{ref,without}}$  päällystetyn välipohjan askelääneneristävyteen  $R_{i,\text{ref,with}}$  (kaava (2.12)):

$$\Delta R_{\text{impact}} = 10 \lg \left( \frac{\sum_i 10^{(L_i - R_{i,\text{ref,without}})/10}}{\sum_i 10^{(L_i - R_{i,\text{ref,with}})/10}} \right) \quad (2.12)$$



**Kuva 2.3.** Askelääneneristävyyden vertailuspektri  $L_i$  (askeläänikojeen tehospektri) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–2500 Hz. Spektri alkaa keskitaajuudella 50 Hz arvosta -23,8 dB ja suurenee 1 dB pykälän suuremmille taajuuksille mentäessä.

Askelääneneristyslukua johdettaessa on jouduttu tekemään joitain oletuksia. Ensimmäinen tehdyistä oletuksista on se, että askeläänikojeen koko iskutehon on oletettu keskittyvän taajuusalueelle 50–2500 Hz, jolloin askeläänikojeen tehoa ei siis oleteta olevan tämän taajuusalueen ulkopuolella. Lisäksi tehon on oletettu jakautuvan taajuuksien suhteessa. Askeläänikojeen iskuteho saadaan sen vasaroiden potentiaalienergian ja iskutiheyden tulona kaavasta (2.13):

$$P_S = mghn = 1,962 \text{ W} \quad (2.13)$$

jossa

$m$  on askeläänikojeen yhden vasaran massa 0,500 kg

$g$  on gravitaatiokiihtyvyyden arvo 9,81 m/s<sup>2</sup>

$h$  on askeläänikojeen vasaroiden pudotuskorkeus 0,040 m

$n$  on askeläänikojeen iskutiheys 10 1/s.

Toinen vielä merkittävämpi oletus on tehty koskien vertailuspektiriä. Kun askelääneneristyslukua määritetään kolmannesoktaavikaistoittain lasketuista askelääneneristävyyksistä, lasketaan rakenteeseen kohdistuneen äänitehotason ja toiselle puolelle syntyneen äänitehotason suhde, jolloin vertailuspektirinä käytetään siis askeläänikojeen spektriä. Schollin mukaan menetelmän suurin etu on se, että askeläänilähde on selvästi esillä laskennassa ja sen vaikutukset otetaan huomioon. Hän huomautti vielä, että tämä menet-

telytapa mahdollistaa muiden askeläänilähteiden käytön ja mikä vielä tärkeämpää, toisenlaisten vertailuspektrien käytön. Näin toimiminen mahdollistaa muun muassa paremmin psykoakustisten vaikutusten, kuten askeläänien häiritsevyyden, huomioon ottamisen.

Kylliäinen tutki vuonna 2012, kuinka Schollin ehdottama menetelmä muuttaa rakenteiden askelääneneristysten tuloksia [38]. Artikkelissaan Kylliäinen laski askeläänitasoluvut  $L'_{n,w}$ , askeläänitasoluvun ja spektripainotusermin summat  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  sekä ehdotetut askelääneneristysluvut  $R_{\text{impact}}$  50 tyypilliselle suomalaiselle välipohjalle. Artikkelissa välipohjat jaettiin viiteen eri tyyppiin niiden päällystemateriaalien akustisten ominaisuuksien mukaan. Kaikki artikkelissa esiintyneet välipohjat täyttivät suomalaiset vaatimukset askelääneneristyksestä eli minkään esitetyn välipohjarakenteen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$  ei ylittänyt sallittua arvoa 53 dB. Kylliäisen mukaan askelääneneristysluku  $R_{\text{impact}}$  muuttaa joidenkin rakenteiden tuloksia verrattuna askeläänitasolukuun  $L'_{n,w}$ , koska mitattava taajuusalue muuttuu entisestä 100–3150 Hz:stä 50–2500 Hz:iin.

Ruotsissa saatujen tutkimustulosten [20] mukaan askeläänitasoluvun ja spektripainotusermin summa  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ , joka käytännössä vastaa Schollin ehdottamaa mittaluka  $R_{\text{impact}}$ , ei aina korreloi hyvin subjektiivisen käsityksen kanssa välipohjien askelääneneristyksestä. Kylliäisen mukaan arvioitaessa välipohjia, joista on tullut valituksia, ei uusi suure askeläänitasoluku  $R_{\text{impact}}$  välttämättä arvioi välipohjia oikein eli mittaluvun ja subjektiivisen käsityksen välinen korrelaatio välipohjan askelääneneristyksestä voi jäädä pieneksi. Kylliäinen ehdotti, että askeläänitasoluvun  $R_{\text{impact}}$  laskennassa oletettu askeläänien vertailuspektri vaihdettaisiin, koska tiedetään, että askeläänikojeen ja kävelyn tuottamat spektrit eivät vastaa toisiaan. Toisaalta molempien spektrit riippuvat rakennetyypistä eivätkä erot eri rakennetyypeillä mitatuilla spektreillä ole vakiot.

## 2.4 Ratkaisumallit askelääneneristysten mittausmenetelmän kehittämiseksi

Askelääneneristysten mittausmenetelmä ei kaikissa olosuhteissa vastaa ihmisten subjektiivista käsitystä välipohjarakenteiden askelääneneristyskyvyn paremmuusjärjestyksestä [2, 5, 16, 17, 35, 44, 48, 49, 50, 58, 61, 63,]. Joissain tapauksissa askelääneneristyksestä on valitettu, vaikka määräysten mukaiset vaatimukset täyttyvät [32]. Oikeaa tapaa askelääneneristysten määrittämiseksi on etsitty jo askelääneneristysten mittausmenetelmän muotoutumisesta lähtien, kun askeläänilähde kehitettiin 1930-luvulla. Varsinainen kritiikki kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n mukaista askelääneneristysten mittausmenetelmää kohtaan alkoi 1960-luvulla, kun menetelmä standardoitiin. Edelleenkin ei ole pystytty löytämään luotettavaa ja todellisuutta kuvaavaa askelääneneristysten mittausmenetelmää useista muutosyrityksistä huolimatta. Näin ollen käytössämme on yli 70 vuotta sitten kehitetty äänilähde ja 50 vuotta vanha menetelmä askelääneneristysten määrittämiseen.

Syitä askelääneneristysten mittausmenetelmän ongelmiin on haettu mitattavan taajuusalueen kapeudesta, äänilähteen ja todellisen askeläänilähteen eroavaisuudesta, mi-

tattavien äänenpainetasojen normalisointitavasta sekä mittaluvun määrittämisestä. Eri-tyisesti pienten taajuuksien vaikutusta subjektiiviseen käsitykseen on pidetty merkittävä-  
vänä. Menetelmään kohdistuvassa kritiikissä on esitetty useita ratkaisutapoja subjektiiv-  
visen käsityksen parantamiseksi. Ratkaisuja on haettu muun muassa äänilähteen muun-  
tamisesta tai sen korvaamisesta toisella äänilähteellä, mittausmenetelmän muuttamisesta  
sekä vertailukäyrämenettelyn muokkaamisesta.

Tutkimuskirjallisuudessa esiintyy kaksi pääteemaa koskien askelääneneristykseen  
mittausmenetelmän parantamista. Ensimmäisenä aiheena on esitetty askelääneneristyk-  
sen mittaamiseen ehdotetut vaihtoehtoiset askeläänilähteet. Nämä puolestaan voidaan  
jakaa kahteen ryhmään: muunnettuihin askeläänikojeisiin ja muihin vaihtoehtoisin as-  
keläänilähteisiin. Muista vaihtoehtoisista askeläänilähteistä voidaan erotella ryhmä  
”raskaat askeläänilähteet”, joka käsittää askeläänikojeen, jolla pudotetaan rengasta tut-  
kittavan välipohjan päälle ja kumipallon. Toinen tutkimuskirjallisuudessa esitetty rat-  
kaisumalli on mittausmenetelmän muuttaminen esimerkiksi käyttämällä vaihtoehtoisia  
vertailukäyriä.

### **2.4.1 Vaihtoehtoisten äänilähteiden käyttö**

Standardoidun askeläänikojeen käyttöä askelääneneristysmittauksissa on kritisoitu jo  
1960-luvulla [14, 44, 49, 50] ja siitä lähtien kojeen korvaajaksi on esitetty muunnettuja  
askeläänikojeita ja toisia askeläänilähteitä. Vaihtoehtoisilla äänilähteillä on pyritty si-  
muloimaan todellista askeläänihäätettä, kuten hyppimistä ja kävelyä, standardoitua  
askeläänikojetta paremmin. Erityisesti niiden tarkoituksena on ollut tuottaa mittaustilan-  
teessa vastaanottohuoneeseen todellista askeläänilähdettä vastaava äänispektri, jotta  
mittaustuloksista laskettujen mittalukujen ja askelääneneristykseen subjektiivisen käsi-  
tyksen korrelaatio olisi parempi.

#### ***Muunnetut askeläänikojeet***

Tiedettävästi ensimmäiset mittaukset muunnetulla askeläänikojeella tehtiin 1960-luvun  
lopulla Ruotsissa, kun Lindblad vuonna 1968 tutki välipohjien askeläänien testaamista  
sekä päällystetyillä että päällystämättömillä raskailla rakenteilla [42]. Hän suoritti mit-  
taukset sekä standardoidulla että muunnetulla askeläänikojeella, jonka vasaroiden pu-  
toamiskorkeutta oli säädetty normaalia 40 mm pienemmäksi. Lindbladin mukaan  
muunnetun askeläänikojeen iskuvoima vastasi siten paremmin kävelyn tuottamaa voi-  
maa kuin standardikojeella. Muunnettu koje simuloi kuitenkin vain korkeakorkoisilla  
kengillä kävelevän naishenkilön tuottamaa askeläänihäätettä, jota monet tosin pitivät  
häiritsevimpänä askelääninä. Kojen tuottama äänispektri ei näin ollen siis vastannut  
muunlaista askelääntä. Lindblad totesikin tutkimuksessaan, että todellisesta askeläänestä  
tarvittaisiin enemmän tutkimustietoa.

Schultz esitti vuonna 1976 vaihtoehtoisen menetelmän askelääneneristykseen mit-  
taamiseen muunnetulla askeläänikojeella [61]. Schultz ei Lindbladin [42] tapaan tyyty-  
nyt askeläänikojeen muuttamisessa vain pudotuskorkeuden muuntamiseen vaan hänen



ehdotuksensa mukaan kojetta olisi tullut muuttaa enemmänkin. Schultzin mukaan muunnetussa askeläänikojeessa olisi tullut olla viiden vasaran sijaan vain yksi vasara, jonka massa oli 200 g, ja se olisi tullut päällystää puolijoustavalla materiaalilla. Vasaran pudotuskorkeuden hän esitti säilytettävän 40 mm:ssä, mutta sen iskua olisi rajoitettu jousella, siten, että putoamisnopeus olisi ollut 0,55 m/s. Vasaran iskutiheydeksi esitettiin kaksi iskua sekunnissa. Muunnettu koje olisi Schultzin mukaan vastannut mies- ja naiskävelijän tuottaman askelherätteen keskiarvoa. Toisaalta ehdotettu muunnettu askeläänikoje jäljitteli kävelyä ainoastaan yli 150 Hz taajuuksilla, koska pienemmällä taajuuksilla kävelijän ominaisuudet ovat monimutkaiset eikä kävelyä voida näin mukailla. Tutkimuksessaan Schultz ei kuitenkaan vielä tehnyt mittauksia ehdottamallaan muunnetulla askeläänikojeella eikä sen ja todellisen askeläänen tuottaman spektrin eroista saatu myöskään subjektiivista tietoa. Tähän tuli muutos vielä 1970-luvun lopulla, kun Ruotissa tehtiin tutkimus, jossa käytettiin Schultzin ehdotuksen mukaista kojetta [48].

Nordstedt tutki vuonna 1979 betonivälipohjan ja puurunkoisen välipohjan askelääneneristystä sekä standardoidulla askeläänikojeella että käyttäen äänilähteenä Schultzin ehdotuksen mukaista muunneltua askeläänikojetta ja kahta kävelijää, joilla oli jaloissaan nahkapohjaiset ja puiset kengät [48]. Muunnetun askeläänikojeen toimiessa äänilähteenä mittaukset vastaanottohuoneessa tehtiin Schultzin ehdotuksen mukaan huippuäänepainetasoista eli mitatun äänenpainetason suurimmista hetkellisistä arvoista. Kävelyä mitattiin niin ikään huippuäänepainetasoista käyttäen lisäksi A-painotusta. Nordstedtin mukaan useat tutkijat olivat päätyneet siihen, että juuri huippuäänepainetasot määräävät subjektiivisen arvion askeläänistä. Huippuäänepainetasojen mittaamista perusteltiin myös sillä, että niitä mitattaessa vältettiin ongelmat vastaanottohuoneen äänikentän diffuusiuden puutteessa pienillä taajuuksilla ja vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan korjaamisessa. Mittaukset suoritettiin oktaavikaistoittain taajuusalueella 63–4000 Hz. Standardoidulle askeläänilähteelle mittaukset tehtiin tuolloin voimassa olleen ISO-standardin mukaisesti normalisoimalla askeläänepainetasot vertailuabsorptioalan avulla. Mittausten lisäksi askeläänilähteiden tuottamia äänenpainetasoja äänitettiin vastaanottohuoneessa kuuntelukokeita varten. Kuuntelukokeissa koehenkilöt luokittelivat kuulemansa askeläät joko voimakkaaksi tai heikoksi. Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella Schultzin ehdottama menetelmä askelääneneristyksen määrittämiseksi ei merkittävästi eronnut ISO:n esittämästä menetelmästä. Kävelyyn verrattuna muunnettu askeläänikoje tuotti kovilla päällysteillä liian suuria ja pehmeillä liian alhaisia äänenpainetasoja.

Jälkeenpäin on todettu, että mikäli askeläänikojetta muunnetaan Schultzin ehdotuksen tapaan siten, että kojeessa olisi vain yksi vasara viiden sijaan, voi se tuottaa ongelmia mittaukseen kojeen tuottaman varsin pienen äänitehon takia. Wittstock [68] tutki vuonna 2012 julkaistussa artikkelissa standardoidun askeläänikojeen tuottamaa spektriä ja hän totesi, että askeläänikoje emittoi 2 Hz viivaspektrin eli kojeen säteilemässä spektrissä on piikki 2 Hz:n välein. Hänen mukaansa askeläänikojetta muunnettaessa siten, että sen korvaisi yksivasarainen koje, tulisi tuon kojeen toimia 2 Hz taajuudella vasta-

takseen spektriltään nykyisen askeläänikojeen spektriä. Tällaisen kojeen ääniteho olisi kuitenkin 5 kertaa pienempi kuin standardoidun askeläänikojeen.

Kansainvälisen standardisoimisjärjestön ISO:n standardin ISO 10140-3 [8] mukaisessa askelääneneristykseen laboratoriomittauksessa on sallittu nykyään myös muunnetun askeläänikojeen käyttö. Muunnetulla askeläänikojeella pyritään simuloimaan paljain jaloin kävelyä. Vaatimukset muunnetusta askeläänikojeesta on esitetty standardissa ISO 10140-5 [9]. ISO:n mukaisessa muunnetussa askeläänikojeessa kojeen vasarat tulee päällystää jousilla tai vaihtoehtoisesti kojeen alle tulee asettaa kerros joustavasta materiaalista. Jousille on asetettu vaatimukset, että niiden dynaamisen jäykkyyden  $s$  tulee olla  $24 \text{ kN/m} \pm 10 \%$  ja häviökertoimen  $\eta$   $0,2 \dots 0,5$ . Päällystemateriaalin dynaamisen jäykkyyden  $s$  tulee taas olla  $34 \text{ MN/m}^3 \pm 10 \%$  ja häviökertoimen  $\eta$   $0,2 \dots 0,5$ . Päällyste saa olla mitä vain materiaalia, kunhan se täyttää kyseiset vaatimukset. Molemmissa tapauksissa vasaroiden pudotuskorkeus pidetään  $40 \text{ mm}$ :ssä. Muita muutoksia askeläänikojeeseen ei tehdä.

### ***Muut vaihtoehtoiset askeläänilähteet***

Standardoidun askeläänikojeen korvaajaksi on esitetty muunnettujen askeläänikojeiden lisäksi myös toisia äänilähteitä. Vaihtoehtoisiksi äänilähteiksi on esitetty muun muassa kojetta, jolla pudotetaan rengasta välipohjan päälle (engl. bang machine, tire impact machine), kumipalloa (engl. rubber ball), hiekkatäytteistä palloa (engl. sand ball) ja hiekkasäkkiä (engl. sand bag). Näistä rengaskoje on standardoitu Japanissa vuonna 1978 standardissa JIS A 1418-2 ja Koreassa vuonna 1981 standardissa KS F 2810. Jälkeenpäin myös kumipallo on standardoitu Japanissa askeläänilähteeksi niin ikään standardissa JIS A 1418-2. Lisäksi kumipallon käyttö vaihtoehtoisena askeläänilähteenä on nykyään mahdollista myös kansainvälisen standardisoimisjärjestön ISO:n standardin ISO 10140-3 mukaisessa askelääneneristykseen laboratoriomittauksessa [8, 9].

Standardoidun askeläänikojeen mukaisesti myös rengaskojeen tarkoituksena on simuloida todellista askeläänilähdettä. Äänilähteenä rengaskoje kehitettiin jäljittelemään kuitenkin kävelyn sijaan hyppimistä. Koreassa tehdyn tutkimuksen [25] mukaan juuri lasten hyppiminen ja juokseminen ovat syy yli  $70 \%$ :iin kaikkiin välipohjien askelääneneristykseen kohdistuneista valituksista ja näin ollen tämän raskaan askeläänikojeen käyttö on perusteltua. Rengaskojeen käytön tarkoituksena on lähinnä tuottaa standardoitua askeläänikojetta enemmän äänienergiaa pienille taajuuksille.

Ensimmäisiä mittauksia käyttäen äänilähteenä rengaskojetta, joka ei nähtävästi vastannut Japanissa ja Koreassa käytettyä kojetta, tehtiin Yhdysvalloissa vuonna 1964. Marinerin [44] käyttämä hammastettu rengaskoje ei standardoituun askeläänikojeeseen verrattuna kuitenkaan tuottanut kovinkaan suuria askeläänepainetasoja pehmeillä lattiapäällysteillä. Toisaalta kovilla päällysteillä kojeen tuottamat äänenpainetasot olivat pienillä taajuuksilla askeläänikojeen tuottamia tasoja suuremmat. Niin ikään kojeella tuotetusta äänispektristä määritetty äänekkyys oli kovilla lattiapäällysteillä suurempi kuin standardoidulla askeläänikojeella ja vastaavasti pehmeillä päällysteillä pienempi. Marinerin käyttämällä rengaskojeella eri päällysteillä tuotetut äänenpainetasot poikkesi-

vat voimakkaasti toisistaan, kun taas vastaavilla materiaaleilla standardoitu askeläänikoje tuotti samanlaista spektriä.

Yhdysvaltojen lisäksi renkaan käyttöä äänilähteenä on jälkepäin tutkittu myös muualla Pohjois-Amerikassa. Kanadalainen tutkimus, jossa selvitettiin eri askeläänilähteiden käyttöä askelääneneristyksen mittaamisessa, julkaistiin vuonna 2000 [65]. Tutkimuksessa Warnock selvitti askeläänien siirtymistä 190 välipohjalla käyttäen äänilähteinä muun muassa rengasta, standardoitua askeläänikojetta ja kahta mieskävelijää, joiden massa oli noin 90 kg. Kävelijät käyttivät jalkineina nahkapohjaisia kenkiä, joiden korot olivat kumipäällysteiset. Tutkittavat välipohjarakenteet olivat suurimmaksi osaksi kevytrakenteisia, mutta lisäksi tutkittiin joitain betonirakenteisia välipohjia. Tutkimuksessa verrattiin eri askeläänilähteiden tuottamia tuloksia ja pohdittiin mahdollisuuksia muuttaa mittausmenetelmää ja arviointisysteemiä. Tutkimuksessa muita äänilähteitä kuin askeläänikojetta mitattiin vastaanottohuoneen keskeltä yhdeltä mikrofonipaikalta. Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika säädettiin noin arvoon 0,5 s. Warnockin mukaan tutkimuksen perusteella ei ollut syytä hylätä standardoidun askeläänikojeen käyttöä askelääneneristyksen mittaamisessa. Hän ehdotti, että askelääneneristysmittausmenetelmää tulisi muokata siten, että mitattaisiin jo taajuudella 50 Hz ja käytettäisiin parempaa laskentamenetelmää yksilukuisen lukuarvon laskemiseksi.

Warnock päätyi myös vuonna 2002 julkaistussa tutkimuksessa samaan johtopäätökseen kuin aikaisemmin: hänen mukaansa käytännöllinen tapa uudistaa askelääneneristyksen mittausmenetelmää olisi käyttää askeläänilähteenä yhä standardoitua askeläänikojetta ja muuttaa mittalukujen laskentamenetelmää siten, että jo taajuudella 50 Hz mitatut äänenpainetasot otettaisiin huomioon [66]. Tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää menetelmä, jolla voitaisiin arvioida pientaajuisten askeläänien välittymistä kevytrakenteisillä välipohjarakenteilla. Siinä ehdotettiin käytettäväksi muunnettua versiota Japanin standardista, jossa käytettiin rengasta äänilähteenä. Tutkimuksessa tehtiin mittauksia yhteensä 75 välipohjarakenteella ja renkaan lisäksi äänilähteenä käytettiin muun muassa standardoitua askeläänikojetta ja mieskävelijää. Tehdyn objektiivisen analyysin perusteella rengaskojeella saadut yksilukuiset mittaluvut korreloivat hyvin kävelijällä saatu- jen vastaavien mittalukujen kanssa. Kuitenkin standardoidulla askeläänikojeella kolmannesoktaavikaistoittain saadut tulokset vastasivat hyvin kävelyä, vaikkakin askeläänikojeen tuottamat äänenpainetasot olivat suuremmat. Etenkin taajuuksilla 50–250 Hz askeläänikojeen tuottaman äänispektrin muoto vastasi hyvin kävelyn spektrin muotoa.

Warnockin lisäksi rengaskojeen käyttöä kevytrakenteisillä välipohjilla on tutkittu Japanissa vuonna 2011 Ryu et al. toimesta [58]. Tutkimuksessa selvitettiin askelääneneristyksen mittalukujen ja häiritsevyyden välistä yhteyttä puurakennuksissa, kun mittaamisessa käytetään raskaita askeläänilähteitä eli rengaskojetta ja kumipalloa. Mittaukset suoritettiin yhteensä 26 puurakenteisella välipohjalla. Mittausten lisäksi tuotetut äänet nauhoitettiin monauraalisesti keskellä vastaanottohuonetta. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää mittaluvut, jotka parhaiten kuvaavat raskaiden askeläänien häiritsevyyttä. Tulosten perusteella muun muassa Zwickerin äänekkyydensuus (engl. percentile loudness)  $N_5$  toimi parhaiten raskaan askeläänien häiritsevyyden arvioinnissa.

Raskaiden askeläänien häiritsevyyttä käyttäen rengasta äänilähteenä on tutkittu muun muassa Japanissa ja Koreassa jo aikaisemmin 2000-luvulla. Tutkimuksissaan [24, 26] Jeon et al. ovat määrittäneet kuuntelukokeiden avulla tuotetun subjektiivisen tiedon perusteella suureet, jotka korreloivat hyvin renkaan tuottaman askeläänien häiritsevyyden kanssa. Kuuntelukokeissa käytetyt nauhoitteet ja suoritettavat mittaukset tehtiin betonirakenteisissa asuinkerrostaloissa. Tutkimusten perusteella muun muassa äänenlaatuun liittyvät suureet, kuten äänekkyyys (engl. loudness) ja vaihteluvoimakkuus (engl. fluctuation strength) olivat tärkeitä tekijöitä kuvaamaan raskaiden askeläänilähteiden häiritsevyyttä [26].

Todellisen askeläänien ja rengaskojeen tuottaman askeläänien häiritsevyyksien korrelaatiota on tutkittu myös betonirakenteisilla välipohjilla [23]. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuuntelukokeiden ja objektiivisten mittausten avulla mittaluvut, jotka parhaiten kuvaavat todellisen askeläänien ja rengaskojeen tuottaman askeläänien häiritsevyyttä. Tutkimusten perusteella rengaskojetta käyttäen askeläänien häiritsevyyttä hyvin kuvaava suure oli muun muassa äänekkyyys.

Myös rengaskojeen tuottaman askeläänien ja todellisen askeläänien samankaltaisuutta on tutkittu Japanissa ja Koreassa betonirakenteisilla ja kevytrakenteisilla välipohjilla [28, 53]. Tutkimusten mukaan äänenlaatua kuvaavista parametreista äänekkyyys ja karheus (engl. roughness) ovat tärkeitä suureita todellisen askeläänien ja raskaan askeläänien samankaltaisuuden arvioinnissa, kun arvioidaan raskaita välipohjia.

Rengaskojeen ja todellisen askeläänien eroa on tutkittu Aasian maiden lisäksi myös Ruotsissa. Vuonna 1997 julkaistussa tutkimuksessa [63] Shi et al. selvittivät muun muassa kävelyn ja rengaskojeen tuottamaa iskua voima-anturisysteemillä. Tutkimuksen mukaan rengaskojeen tuottama äänispektri vastaa todellisen askeläänien spektriä standardoitua askeläänikojetta paremmin.

2000-luvulla Japanissa ja Koreassa haettiin rengaskojeelle korvaavaa raskasta äänilähdettä rengaskojeen osoittauduttua epäkäytännölliseksi kenttämittauksissa. Lisäksi renkaan iskuvoiman ajateltiin olevan niin suuri, että se saattaisi jopa vahingoittaa kevytrakenteisia puuvälipohjia. On myös esitetty, että kaupallisten rengaskojeiden iskuominaisuudet vaihtelevat tuotteesta riippuen. [53] Korvaavaksi äänilähteeksi rengaskojeelle on esitetty massaltaan 2,5 kg olevaa kumipalloa, jonka halkaisija on 180 mm ja seinämän paksuus 30 mm. Rengaskojeen tapaan kumipallon käytön tarkoituksena on simuloida hyppimistä. Japanilaisen standardin JIS A 1418-2 lisäksi kumipallo on standardoitu myös kansainvälisen standardisointijärjestön toimesta askelääneneristyksen laboratoriomittauksissa standardissa ISO 10140-3 [8]. Tarkemmat vaatimukset pallon ominaisuuksista on esitetty standardissa ISO 10140-5 [9].

Kumipallon käyttö kenttämittauksissa on rengaskojeeseen verrattuna helppoa ja käytännöllistä. Mittauksissa kumipallo pudotetaan 1 m korkeudelta välipohjarakenteen päälle ja välipohjaan kohdistuneen iskun tuottamaa ääntä mitataan [28, 52, 58, 25]. Tutkimuksissa [28, 39] kumipalloa on pudotettu keskelle välipohjarakennetta. Tutkimuksessa [25] esitetyn vertailun perusteella pallon käyttö onnistuu yhdeltä henkilöltä kun taas rengaskojeen mittaaminen vaatii kaksi henkilöä. Lisäksi muita kumipallon etuja

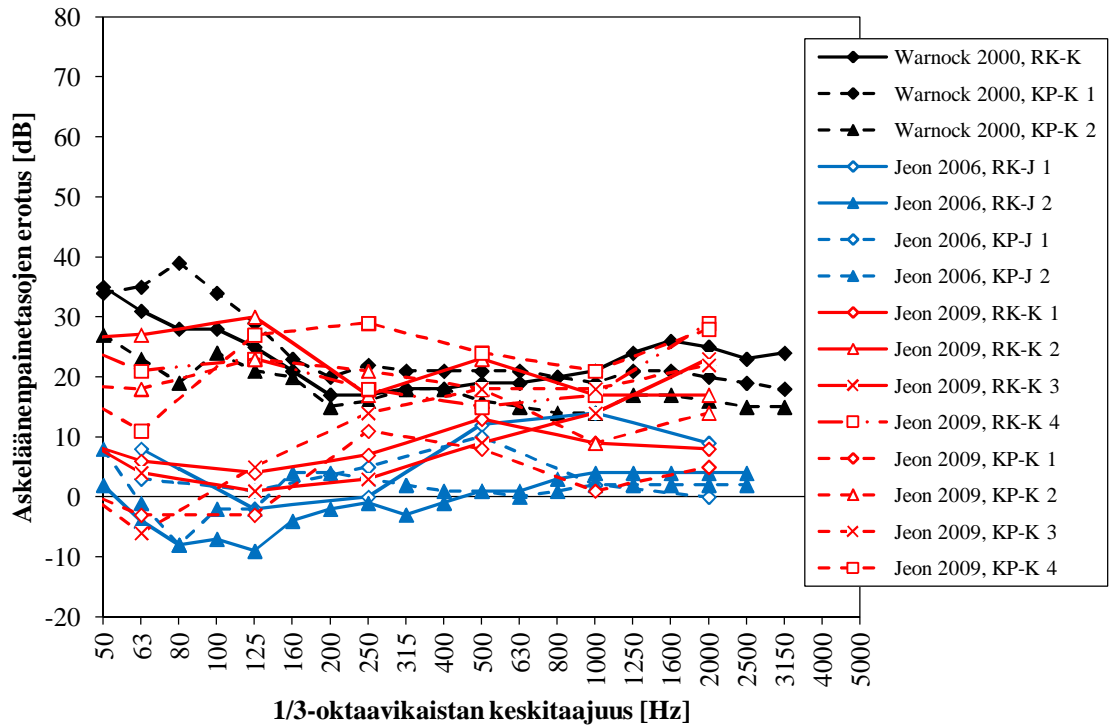
verrattuna rengaskojeeseen on se, että kumipallon käyttö ei vaadi sähköä, huoltoa eikä se vahingoita tutkittavia välipohjarakenteita. Se kehitettiin juuri askelääneneristysmittauksista johtuvien mahdollisten vaurioiden vähentämiseen puurunkoisissa rakennuksissa. On myös todettu, että kumipallon mittauksen toistettavuus on hyvä [58].

Japanissa ja Koreassa on 2000-luvulla tutkittu kumipallon käyttöä raskaana äänilähteenä [23, 25–28, 69, 39, 58, 53]. Kumipallon tuottaman askeläänen ja todellisen askeläänen eroa on selvitetty tutkimuksissa [23, 25, 28]. Tutkimukset tehtiin betonirakenteissa asuinkerrostaloissa välipohjilla, joiden kantavan teräsbetonilaatan paksuus oli 135...210 mm pintarakenteiden vaihdellessa. Mittausten lisäksi kumipallolla tuotettuja askelääniä nauhoitettiin tekopäällä binauraalisesti vastaanottohuoneessa kuuntelukokeita varten. Kuuntelukokeissa määritettiin pallolla tuotetun ja todellisen askeläänen korrelaatiota. Tutkimusten perusteella kumipallo tuotti havainnollisesti samankaltaista ääntä kuin todellinen, hyppimisestä, kevyen esineen pudottamisesta ja korkokengin sekä paljain jaloin kävelystä aiheutuva askelääni [23, 28]. Lisäksi todettiin, että subjektiivisesti kumipallon tuottama askelääni vastasi paremmin todellista askelääntä kuin rengaskojeen tuottama ääni. Kumipallon tuottama äänispektri oli myös objektiiviselta kannalta paremmin todellista askelääntä vastaava kuin standardoidulla askeläänikojeella tai rengaskojeella [25]. Ylipäätään on todettu myös, että raskaiden askeläänilähteiden taajuusominaisuudet ovat hyvin samankaltaiset kuin todellisella askeläänellä [28].

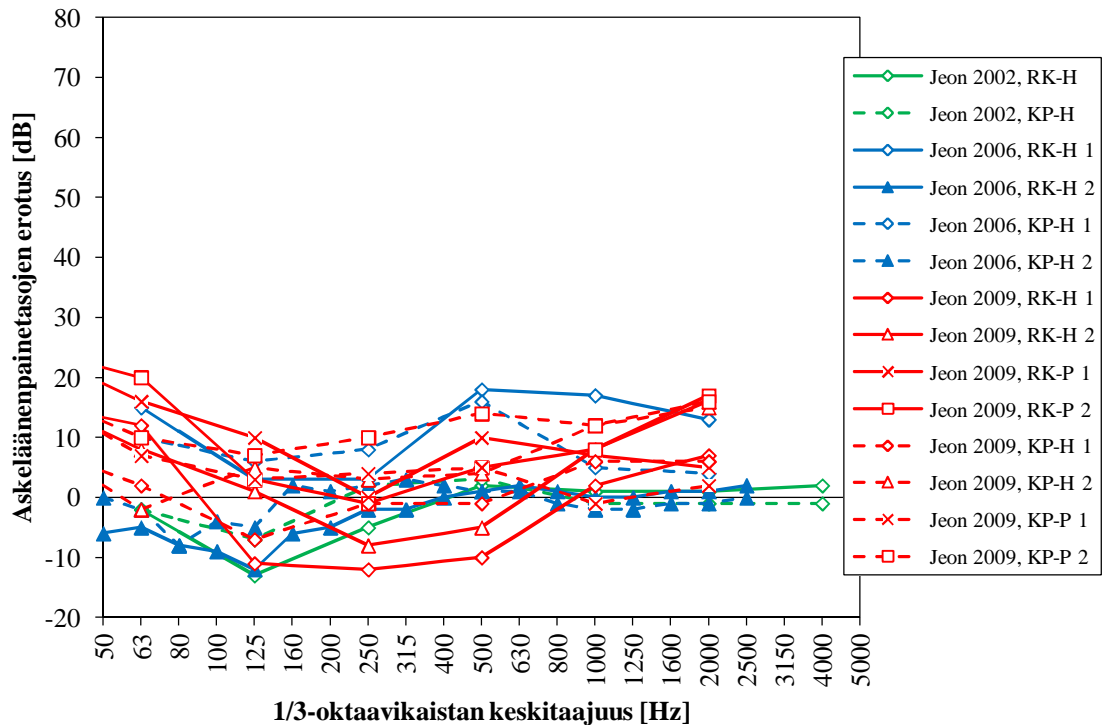
Tutkimuksissa on selvitetty, mitkä mittaluvut tai parametrit parhaiten kuvaavat todellisen askeläänen häiritsevyyttä, kun askelääneneristystä mitataan kumipallolla [23, 25, 53]. Niissä on mittausten lisäksi tehty kuuntelukokeita, joiden avulla on pyritty selvittämään subjektiivista käsitystä askeläänistä. Tutkimusten mukaan psykoakustiset ja äänenlaatuun liittyvät parametrit, kuten äänekkyyys, korreloivat hyvin subjektiivisen käsityksen kanssa häiritsevyydestä [23, 25, 53]. Tutkimuksissa on myös selvitetty kumipallon tuottaman askeläänen häiritsevyyttä [26, 27, 39, 58]. Niiden perusteella psykoakustiset parametrit äänekkyyys ja vaihteluvoimakkuus ovat osoittaneet hyvää korrelaatiota kumipallon tuottaman askeläänen kanssa [26, 27, 39, 58]. Myös esimerkiksi Apainotettu enimmäisäänepainetaso  $L_{A,max}$  on osoittautunut käytännölliseksi mittaluvuksi kumipallon tuottaman askeläänen häiritsevyyden arvioinnissa [39]. Todellisen askeläänen ja kumipallon tuottaman askeläänen samankaltaisuutta on selvitetty tutkimuksissa [28]. Psykoakustiset parametrit äänekkyyys ja karheus kuvasivat tutkimuksen mukaan parhaiten äänien samankaltaisuutta. Myös askeläänipallon käytön luotettavuutta askeläänilähteenä on tutkittu [69].

Standardoiduista vaihtoehtoisista askeläänilähteistä käytännöllisemmäksi äänilähteeksi on osoittautunut kumipallo. Tutkimuksissa esitettyjen raskaiden askeläänilähteiden tuottamien askeläänispektrien ja todellisen askeläänen spektrin vertailun perusteella äänilähteet ovat objektiiviselta kannalta suunnilleen yhtä hyviä. Kuvassa 2.4 on esitetty neljässä tutkimuksessa [23, 25, 28, 65] esitettyjen raskaiden askeläänilähteiden tuottamien ja kävelyn (K) sekä juoksemisen (J) spektrien erotukset ja kuvassa 2.5 vastaavasti raskaiden askeläänilähteiden tuottamien ja hyppimisen (H) sekä esineen putoamisen (P) spektrien erotukset. Kuvissa on esitetty kumipallon (KP) spektri katkoviivalla ja ren-

gaskojeen (RK) spektri yhtenäisellä viivalla yhdistettynä. Valkoisilla pisteillä on kuvattu oktaavikaistoittain esitetyt äänispektrit; tummennetut pisteet ovat kolmannesoktaavikaistoittain esitetyjä tuloksia. Kuvan tulokset on saatu joko suoraan tutkimuksissa esitetyistä spektrien erotuksista (Warnock) tai vähentämällä tutkimuksissa esitetyt askeläänispektrit toisistaan (Jeon et al.). Tulokset ovat yksittäisiä esitettyjä mittaustuloksia. Kaikissa tuloksissa todellisen askeläänen tuottama äänispektri on vähennetty mainitun askeläänikojeen eli rengaskojeen tai kumipallon tuottamasta äänispektristä.



**Kuva 2.4.** Kirjallisuudessa esitettyjen vaihtoehtoisten askeläänilähteiden rengaskojeen (RK) ja kumipallon (KP) tuottaman äänispektrin ja kävelyn (K) ja juoksemisen (J) spektrien erotukset [25, 28, 65]. Kolmannesoktaavikaistaiset tulokset on esitetty tummennetuilla pisteillä ja oktaavikaistaiset tulokset vaaleilla pisteillä.



**Kuva 2.5.** Kirjallisuudessa esitettyjen vaihtoehtoisten askeläänilähteiden rengaskojeen (RK) ja kumipallon (KP) tuottaman äänispektrin ja hyppimisen (H) sekä esineen pudottamisen (P) spektrien erotukset [23, 25, 28]. Kolmannesoktaavikaistaiset tulokset on esitetty tummennetuoin pistein ja oktaavikaistaiset tulokset vaalein pistein.

Kuvissa 2.4 ja 2.5 esitettyjä tuloksia vertaamalla voidaan todeta raskaiden askeläänilähteiden simuloivan muun muassa hyppimisen aiheuttamaa askelääntä paremmin kuin kävelyä. Todelliseen askelääneen verrattuna raskaat askeläänilähteet tuottavat osittain samanmuotoisen spektrin. Erot riippuvat kuitenkin rakenteesta. Raskaiden äänilähteiden ääniteho on kuitenkin erityisesti pienillä taajuuksilla suurempi kuin todellisen askeläänenergian teho.

Rengaskojeen ja kumipallon lisäksi tutkimuskirjallisuudessa on esitetty myös muita vaihtoehtoisia äänilähteitä. Mariner esitti tutkimuksessaan [44] mittaustuloksia askeläänikojeen lisäksi metallipallon pudottamisen tuottamalle askeläänelle. Hän mittasi metallipallon tuottamaa äänispektriä kahdelta eri pudotuskorkeudelta. Tulokset riippuivat vahvasti välipohjan pintamateriaalista ja pallon pudotuskorkeudesta. Metallipallon käytön tarkoituksena ei kuitenkaan ollut etsiä standardoidun askeläänikojeen korvaajaa, vaan tehdyillä mittauksilla oli tarkoituksena osoittaa, että välipohjan askelääneneristys on epälineaarista, toisin sanoen, kun askeläänihäritettä suurennetaan, mitatun vasteen suuruus ei muutu samassa suhteessa.

Muita askeläänilähteeksi tarkoitettuja palloja on tutkittu Ruotsissa ja Kanadassa. Shi et al. vuonna 1997 julkaisemassa tutkimuksessa [63] selvitettiin muun muassa hiekkapallon (engl. sand ball) käyttöä askelääneneristysmittauksissa. Tutkimuksessa käytetyt hiekkapallot olivat hiekkatäytteisiä nahkapalloja, joiden massat olivat 2, 3,5 ja 8,5 kg. Tutkimuksessa käytettiin hiekkapallon lisäksi muita äänilähteitä, kuten standardoitua

askeläänikojetta, rengaskojetta ja kävelijää. Mittaukset äänilähteille tehtiin käyttäen voima-anturisysteemiä. Hiekkapalloja pudotettiin anturisysteemin päälle korkeuksilta 30, 60 ja 90 cm. Tutkimuksen perusteella hiekkapallon käyttö askeläänilähteenä tuotti objektiivisesti paremmin todellista askelääntä vastaavaa ääntä kuin standardiaskeläänikoje. Myös Warnock tutki vuonna 2000 julkaistussa tutkimuksessa [65] rengaskojeen, standardoidun askeläänikojeen ja kävelijöiden lisäksi kahta kokeellista askeläänipalloa.

Shi et al. tutkivat vuonna 1997 myös hiekkasäkin (engl. sand bag) käyttöä askeläänilähteenä [63]. Hiekkasäkit olivat nylonkankaalla päällystettyjä hiekkatäytteisiä säkkejä, joiden massat olivat 5,5 ja 7,5 kg. Niiden pudotuskorkeudet olivat niin ikään 30, 60 ja 90 cm. Tutkimuksen perusteella hiekkasäkin taajuusominaisuudet vastasivat etenkin pienillä taajuuksilla paremmin kävelyn ominaisuuksia kuin standardoidulla askeläänikojeella. Toisaalta hiekkasäkillä saatiin huonompia tuloksia kuin edellä mainitulla hiekkapallolla.

Kanadassa vuonna 2002 julkaistussa tutkimuksessa tehtiin mittauksia myös kokeellisella askeläänilähteellä [66]. Kanadan kansallisen tutkimusneuvoston NRC:n (National Research Council) kehittämä äänilähde luotiin simuloimaan jalan tuottamaa iskuvoimaa. Äänilähde oli vasaramainen koje, joka koostui neljästä eri kerroksesta: lattiaan kosketuksissa oleva pinta ja teräslevyn yläpuolinen kerros oli joustavaa materiaalia, joustavien kerrosten välissä oli massaltaan 170 g oleva teräslevy ja ylemmän joustavan kerroksen päällä oli 4,7 kg painava teräspaino. Kojen jäljittelikin hyvin todellista kävelyä, mutta kojeen käytön ongelmana oli se, että sen tuottamat äänenpainetasot olivat hyvin pieniä eikä sen aiheuttaman äänen mittaaminen siten ollut käytännössä mahdollista. Jopa laboratorio-olosuhteissa sen tuottama signaali saattoi hävitä taustaaääneen. Toisaalta Warnock totesi tutkimuksessaan, että tämä sama ongelma kohdataan usein myös kävelyllä. Tutkimuksen tulosten perusteella ajatus siitä, että NRC:n kehittämä äänilähde toimisi vaihtoehtoisena äänilähteenä standardoidulle askeläänikojeelle, hylättiin.

## 2.4.2 Mittausmenetelmän muuttaminen

### *Vertailukäyrämenettelyn muuttaminen*

Askelääneneristykseen mittausmenetelmään kohdistuneessa arvostelussa on yhdeksi vaihtoehdoksi menetelmän parantamiseksi ehdotettu vertailukäyrämenettelyn muuttamista. Vertailukäyrämenettelyn muuttaminen on ehdotuksissa pääasiassa tarkoittanut taajuusalueen laajentamista pienemmille taajuuksille ja itse vertailukäyrän vaihtamista. Kirjallisuudessa esitetyt vertailukäyrät on johdettu muun muassa kyselytutkimuksista ja kuuntelukokeista.

Ensimmäisiä ehdotuksia vaihtoehtoisista vertailukäyristä annettiin 1950-luvun lopulla Saksassa, jossa vertailukäyrä oli standardoitu aikaisemmin 1950-luvulla [35]. Ensimmäisen ehdotetuista vertailukäyristä esitti Gösele vuonna 1959 [14]. Göselen ehdottama vertailukäyrä laski kolmannesoktaavikaistoittain 3 dB pykälän taajuusalueella



100–315 Hz, taajuusalueella 315–1000 Hz 1 dB pykälän, yli 1000 Hz:n taajuuksilla käyrä oli tasainen.

Vuonna 1965 julkaistussa tutkimuksessa Fasold johti vertailukäyrän, joka poikkesi merkittävästi Göselen esityksestä [14]. Tutkimuksessa esitettiin miehen ja naisen erilaisilla kengillä kävelyn, huonekalujen siirtelyn ja lattian siivoamisen tuottamia askelääni-spektrejä, joita verrattiin standardoidun askeläänikojeen tuottamaan spektriin. Todellisen askeläänien tuottamien spektrien perusteella Fasold muodosti ”häiritsevien äänien keskiarvospektrin”, jonka pohjalta hän johti uuden vertailukäyrän askelääneneristykseen mittaamiseen. Vertailukäyrä oli tasainen käyrä taajuusalueella 100–3150 Hz. Fasoldin mukaan johdetun vertailukäyrän mukainen laskenta tuotti paremmin subjektiivista käsitystä vastaavia arvoja kuin tuolloin Saksassa voimassa ollut DIN-standardin mukainen vertailukäyrä, joka käytännössä vastasi muodoltaan ISO-standardin mukaista käyrää. Hänen mukaansa DIN-käyrä painotti liikaa suuria taajuuksia ja siten arvioi raakaväli-pohjat väärin.

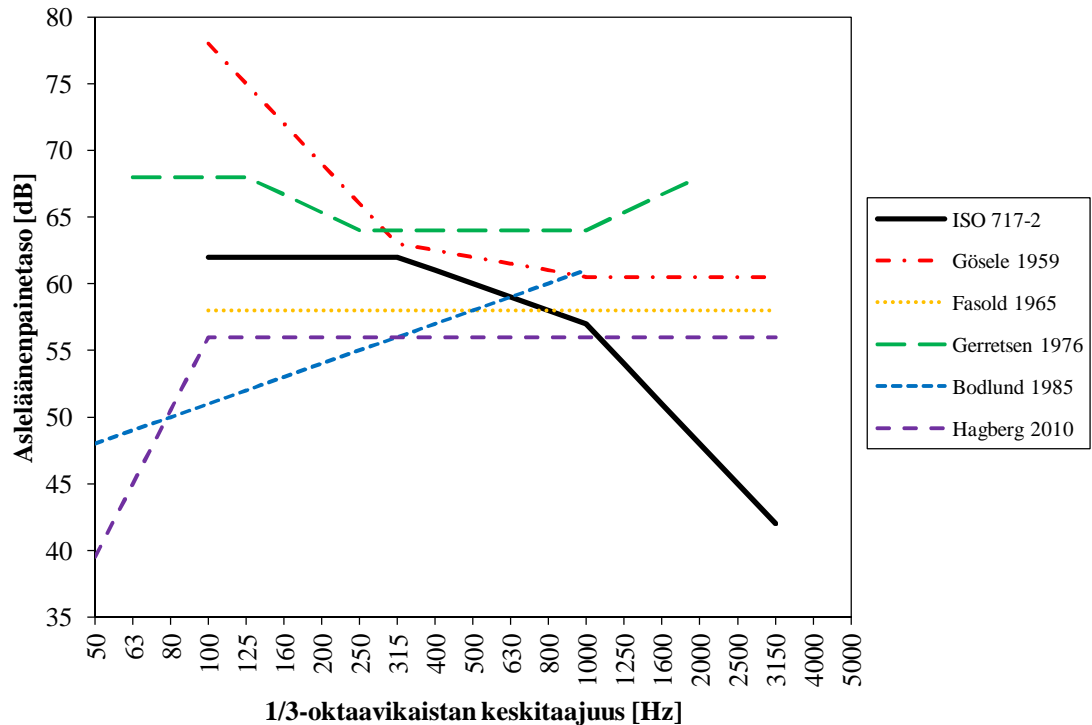
Alankomaissa Gerretsen julkaisi vuonna 1976 tutkimuksen [17], jossa selvitettiin niin ikään standardoidun askeläänikojeen ja todellisen askeläänilähteen tuottamien spektrien eroa. Tutkimuksessa mitattiin kävelyn ja askeläänikojeen tuottamaa ääntä 49 välipohjalla. Välipohjat olivat päällystämättömiä homogeenisia rakenteita ja kelluvia betoni- ja puuvälipohjia. Kaikki mitatut äänenpainetasot standardisoitiin vertailujälkikaiunta-ajan 0,5 s perusteella. Saatujen spektrien avulla johdettiin uusi askelääneneristykseen vertailukäyrä käyttäen hyväksi meluluokituskäyriä (NR-käyriä). Gerretsen oletti, että meluluokituskäyrät tuottavat subjektiivisesti oikeanlaisen arvion kävelyäänistä. Gerretsenin ehdotuksen mukainen vertailukäyrä oli tasainen taajuusalueilla 63–125 Hz ja 250–1000 Hz. Alueella 125–250 Hz käyrä laski 4 dB suuremmille taajuuksille mentäessä ja alueella 1000–2000 Hz nousi vastaavasti saman verran.

Ruotsissa on 1980-luvulta lähtien tehty tutkimusta vertailukäyrämenettelyn kehittämiseksi, kun Bodlund julkaisi vuonna 1985 tutkimuksen [5], jossa hän selvitti mahdollisia vaihtoehtoja uudeksi vertailukäyräksi. Bodlund muodosti vertailukäyrät 160 asuinrakennuksessa tehdyn askelääneneristysmittauksen ja asukkaille tehtyjen haastattelujen perusteella. Tutkitut välipohjarakenteet olivat puu- ja betonirakenteisia ja niiden päällystemateriaaleina käytettiin sekä kovia että pehmeitä päällysteitä. Tutkimuksessa Bodlund esitti useita vaihtoehtoja uudeksi vertailukäyräksi. Vaihtoehtoja karsittiin tutkimuksen edetessä, kunnes lopulta vertailtiin parhaita käyriä ISO:n mukaisen vertailukäyrän lisäksi. Tutkimuksen yhteydessä tehty haastattelututkimus suoritettiin pääasiassa puhelimitse. Haastatteluissa asukkailta selvitettiin rakennusten ääneneristykseen tasoa. Tutkimuksessa verrattiin myös kävelyn ja askeläänikojeen tuottamia spektrejä, kun kävelijällä oli jalassaan sukat tai kumipohjaiset kengät. Tuloksista todettiin, että pienitaajuiset äänet muodostavat suurimman osan kävelystä aiheutuvasta melusta, kun verrataan kävelyn spektriä askeläänikojeen tuottamaan spektriin. ISO:n mukainen vertailukäyrä näytti painottavan liikaa keskitaajuuksia ja suuria taajuuksia. Tutkimuksen perusteella tasaisesti taajuusalueella 50–1000 Hz keskitaajuuksittain 1 dB pykälän nouseva vertailukäyrä osoittautui erittäin toimivaksi vaihtoehdoksi. Myös C-painottamalla äänen-

painetasot tuolloin voimassa olleen Japanin standardin mukaisesti ja käyttämällä alankomaista standardia saatiin hyviä tuloksia subjektiivisen käsityksen kanssa. Alankomaisessa standardissa käytettiin vertailukäyränä edellä mainittua Gerretsenin ehdottamaa vertailukäyrää [17].

Hagberg julkaisi vuonna 2010 tutkimuksen [20], jossa niin ikään tutkittiin vaihtoehtoisia vertailukäyriä askelääneneristyksen määrittämiseen ISO:n vertailukäyrän tilalle. Tutkimus oli jatkoa vuonna 1985 Bodlundin julkaisemalle tutkimukselle [5]. Tutkimuksessa selvitettiin askelääneneristysmittauksen vertailukäyrävaihtoehtoja käyttäen hyväksi Bodlundin aineistoa ja uusia mittaustuloksia. Tutkimuksessa käytettiin 22 välipohjan mittaustulosta, joista 12 oli vanhaa Bodlundin aineistosta otettua mittausta ja 10 uutta tulosta. Uusiin mittaustuloksiin liittyen haettiin subjektiivista vastetta asukkaille tehdylle kyselytutkimuksella. Kyselytutkimuksessa asukkaat arvostelivat sanallisen arvostelun lisäksi huoneistonsa askelääneneristystä asteikolla 1...7, jossa 1 tarkoitti huonoa askelääneneristystä ja 7 erinomaista askelääneneristystä. Tutkimuksessa vertailukäyrämenettelyyn liittyvä laskenta tehtiin ISO-standardin mukaisesti, vain vertailukäyrää muutettiin. Tutkimuksessa esitettiin käytettäväksi vertailukäyrää, joka laskee rajusti mentäessä 100 Hz pienemmille taajuuksille ja pysyi muuten tasaisena. Hagbergin mukaan hänen ehdottamallaan vertailukäyrällä saavutettaisiin 87 % korrelaatio subjektiivisen käsityksen kanssa. Bodlundin esittämä vertailukäyrä taas saavutti Hagbergin mukaan 83 % korrelaation. Hagbergin mukaan ISO-standardin mukaisilla mittaluvuilla  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_I$  ja  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ja standardin mukaisella vertailukäyrämenettelyllä saavutettaisiin sen sijaan korrelaatiot 74 %, 79 % ja 84 %, tässä järjestyksessä. Täten spektripainotustermin  $C_{I,50-2500}$  käyttöönotto parantaisi ISO-standardin mukaisen mittaluvun ja subjektiivisen arvion välistä korrelaatiota huomattavasti. Korrelaatio olisi jopa suurempi kuin Bodlundin ehdottamalla vertailukäyrämenettelyllä saavutettaisiin. Hagbergin mukaan mittaus tulisi ulottaa pienille taajuuksille, mutta myöskään suuria taajuuksia ei saa laskennasta jättää pois, jotta estettäisiin uusien kovapäällysteisten raskaiden välipohjarakenteiden käyttöönotto.

Kirjallisuudessa esitetyt vertailukäyrät on esitetty kuvassa 2.6 [5, 14, 17, 20]. Kuvassa kukin vertailukäyrä on eri tasolla. Kuvassa on esitetty viiden ehdotetun vertailukäyrän lisäksi myös ISO-standardin [13] mukainen vertailukäyrä. Esitetyistä vertailukäyristä Bodlundin ja Hagbergin esittämät käyrät näyttävät korostavan eniten pienten taajuuksien vaikutusta. Toisaalta Bodlund ei vertailukäyrällään ottanut lainkaan huomioon yli 1000 Hz:n taajuuksia. Pieniä taajuuksia aina 100 Hz:iin asti painotti hyvin myös Fasoldin esittämä vertailukäyrä. Fasoldin ehdotus otti huomioon myös suuret taajuudet. Samankaltaisesti kuin Fasoldin ja Hagbergin ehdotuksissa myös Gerretsen ehdotti vertailukäyrän olevan keskitaajuuksilla tasainen. Toisaalta Gerretsenin ehdotuksen mukainen käyrä ei taas painottunut pienille taajuuksille. Vähiten pieniä taajuuksia otti huomioon 1950-luvulla Göselen esittämä vertailukäyrä.



**Kuva 2.6.** Standardoitu vertailukäyrä ja kirjallisuudessa ehdotetut vertailukäyrät [5, 13, 14, 17, 20].

### **Mittaustuloksien normalisointitavan muuttaminen**

Vertailukäyrämenettelyn lisäksi kritiikin kohteena on ollut myös mittausmenetelmän tapa normalisoida mitatut askeläänepainetasot vertailuabsorptioalan mukaan. Ennen vuotta 1967, jolloin Suomen ensimmäiset laajan hyväksynnän saaneet suositukset askelääneneristyksestä, Ääneneristysnormit [56], julkaistiin, Suomessa annetuissa ohjeissa esitettiin käytettävän mitattujen äänenpainetasojen standardisointia jälkikaiunta-ajan mukaan [7, 71]. Kuitenkin vuonna 1965 tapaa standardisoida äänenpainetasot jälkikaiunta-ajan perusteella arvosteltiin, mikä näyttää vaikuttaneen jälkepäin julkaistuihin Ääneneristysnormeihin [51]. Näin ollen Suomessa siirryttiin käyttämään normalisointia  $10 \text{ m}^2$  vertailuabsorptioalaan. [40, 41]

Standardisoitu askeläänitasoluku  $L'_{nT,w}$ , jonka mukaan mitatut askeläänepainetasot standardisoidaan jälkikaiunta-ajan perusteella, on ollut ISO-standardissa kauan ja sitä on käytetty muissa maissa [54, 55]. Tästä huolimatta maissa, joissa on käytössä normalisoitu askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ , normalisointimenetelmää on kritisoitu. Yhdysvalloissa LoVerde et al. arvostelivat vuonna 2005 julkaistussa tutkimuksessa [43] tapaa normalisoida mitatut askeläänepainetasot. Heidän mukaansa oli sekavaa, että ilmapääneneristävyudet ja askeläänepainetasot normalisoidaan eri tavoin. Askelääneneristävyuksien laskentaan käytetään absorptioalan mukaista normalisointia, vaikka tutkimuksen mukaan jälkikaiunta-ajan mukaan normalisointia olisi toivottavampaa. LoVerden et al. mukaan tutkimukset tukevat sitä, että 0,5 sekuntia, jota käytetään myös vertailujälkikaiunta-ajan arvona, on tyypillinen kalustetun asuinhuoneen jälkikaiunta-aika, kun taas  $10 \text{ m}^2$  vertailuabsorptioalalle ei kirjallisuudesta löydy perustelua. Lisäksi jälkikaiunta-

ajan mukaan normalisointi edellyttäisi vain jälkikaiunta-ajan mittaamista, kun taas absorptioalan mukainen normalisointi vaatii lisäksi vastaanottohuoneen tilavuuden ja lämpötilan määrittämisen, mikä tuo laskentaan lisää virhelähteitä. Jälkikaiunta-ajan mukaan normalisointia perusteltiin myös sillä, että sitä käyttäen normalisointisuunta pysyy suurin piirtein samana erisuuruksilla huoneilla. Lisäksi absorptioalan mukaan normalisoinnilla rankaistetaan tilavuudeltaan suuria huoneita pienten huoneiden hyötyessä. Myös Ruotsissa Hagberg ehdotti tutkimuksessaan [20] vaihtoehtoa muuttaa mittausmenetelmää siten, että mitatut äänenpainetasot standardoitaisiin jälkikaiunta-ajan perusteella.

## 2.5 Askeläänikojeen tuottaman äänen ja todellisen askeläänen ero

Askeläänikojeen tuottaman äänen ja todellisen askeläänen eroa voidaan tutkia sekä objektiivisesti että subjektiivisesti. Kojeen ja todellisen askeläänen objektiivisella erolla tarkoitetaan äänten mitattavissa olevaa, esimerkiksi äänispektrien välistä, eroa. Tässä objektiivista eroa on selvitetty kirjallisuudessa esitettyjen askeläänikojeen ja todellisen askeläänen tuottamien spektrien erotusten kautta. Tällä tavoin voidaan ennustaa rakennusakustisten mittalukujen vastaavuutta subjektiivisen käsityksen kanssa; jos äänispektrien erotus tuottaa tasaisen erotusspektrin, voidaan olettaa askelääneneristykseen arviointimenetelmän olevan virheetön ainakin askeläänilähteen osalta.

Subjektiivista käsitystä askelääneneristyksestä voidaan selvittää tekemällä kuuntelukokeita nauhoitettujen askeläänien perusteella. Tällöin saadaan selville eri askeläänien ero ihmisen näkökulmasta. Subjektiivinen ero riippuu kuitenkin monesta tekijästä. Erään tutkimuksen mukaan subjektiivinen käsitys riippuu muun muassa arvostelijan sukupuolesta ja iästä [47]. Tässä askeläänikojeen ja todellisen askelääniherätteen tuottaman äänen subjektiivista eroa on selvitetty kirjallisuuden avulla.

### 2.5.1 Askeläänikojeen ja kävelyn ero

Askeläänikojeen ja kävelyn äänen eroa on tutkittu 1960-luvulta lähtien. Tutkimuksissa on selvitetty askeläänikojeen ja kävelyn spektrien eroa fysikaalisesti sekä äänten subjektiivista vastaavuutta. Objektiivisissa tutkimuksissa on laajasti todettu, että askeläänikojeen tuottama äänispektri poikkeaa voimakkaasti todellisen kävelyn tuottamasta spektristä.

Ensimmäisiä tutkimuksia askeläänikojeen ja kävelyn erosta julkaistiin Yhdysvalloissa vuonna 1964, kun Mariner esitti, että kansainvälisen standardisointijärjestön ISO:n standardoiman askeläänikojeen tuottama askelääni ei vastaa todellista askelääntä [44]. Tutkimuksessa mitattiin askeläänikojeen lisäksi naiskävelijän tuottamaa askelääntä, kun kävelijällä oli jalassaan kovakorkoiset kengät. Mariner esitti tutkimuksessaan mittaustuloksia muun muassa kävelijän ja askeläänikojeen tuottamille spektreille eri lattianpäällysteillä.

Toisen Yhdysvaltalaisen vuonna 1965 julkaistun tutkimuksen mukaan ISO:n askeläänikojeen mukaiset mittaukset antavat hyvin virheellisen kuvan joillakin lattiapäällysteillä saavutetusta askelääneneristyksestä [67]. Tutkimuksessa Watters selvitti todellisen askelen ja askeläänikojeen eroja. Tutkimuksessa todellisena askeläänilähteenä toimi kävelevä nainen, jolla oli jalassaan kovakorkoiset kengät. Tutkimuksen perusteella askeläänikojeen vasaran tuottama iskuvoima oli paljon voimakkaampi ja tuotti enemmän suurtaajuisia askeläänikomponentteja kuin kengän korko.

Myös Saksassa tutkittiin askeläänikojeen ja kävelyn eroa 1960-luvulla, kun Fasold selvitti vuonna 1965 julkaistussa tutkimuksessa askeläänien spektrejä [14]. Tutkimuksessa mitattiin muun muassa miehen ja naisen erilaisilla kengillä kävelyn tuottamaa askeläänispektriä ja askeläänikojeen tuottamaa spektriä. Näiden spektrien perusteella muodostettiin ”häiritsevien äänien keskiarvospektri”, jonka perusteella taas johdettiin ehdotettu uusi vertailukäyrä askelääneneristyksen mittaamiseen. Fasoldin tekemän tutkimuksen perusteella kävelyn ja askeläänikojeen erot olivat suuria koko mitatulla taajuusalueella keskitaajuuksilla 50–10000 Hz.

Gerretsenin vuonna 1976 ehdottama vertailukäyrä perustui askeläänikojeen ja todellisen askeläänilähteen tuottamien äänispektrien eroon [17]. Hänen mukaansa ISO-standardin mukainen askelääneneristyksen mittaamenetelmä oli osoittautunut epätydyttäväksi, mikä johtui askeläänikojeen ja muun muassa kävelyn erosta. Gerretsen selvitti tutkimuksessaan askeläänikojeen ja kävelyn eroa 49 välipohjarakenteella. Tutkimuksessa mitatut äänenpainetasot normalisoitiin 0,5 s jälkikaiunta-ajan perusteella. Gerretsenin tekemien mittausten perusteella pienillä taajuuksilla askeläänikojeen ja kävelyn tuottaman spektrin ero on pieni, mutta se kasvoi suuremmille taajuuksille mentäessä.

Blazier et al. julkaisivat vuonna 1994 tutkimuksen, jossa selvitettiin askelääneneristystä puurakenteisessa kerrostalossa [4]. He pitivät ongelmallisena sitä, että käytettävissä ollut mittaamenetelmä ei ottanut lainkaan alle 100 Hz taajuuksia huomioon ja kuitenkin kävelyn tuottaman spektrin huippuarvot sijaitsivat puurakenteisten välipohjien kantavan rakenteen alimmalla ominaistajuudella, joka oli tavallisesti alueella 15–30 Hz. Tehtyjen mittausten ja niistä määritettyjen äänekkyyksien perusteella pienet taajuudet muodostivat tärkeän osan kävelyn tuottamasta äänispektristä. Tutkimusten perusteella äänet keskittyivät huomattavan suurelta osin välipohjan ominaistajuudelle. Huomattavaa oli myös se, että tutkimuksen perusteella askeläänikoje ja kävelijä tuottivat hyvin samansuuruisia äänenpainetasoja pienille alle 100 Hz taajuuksille. Näin ollen askeläänikojeen muodostama spektri vastasi pienillä taajuuksilla hyvin kävelyn spektriä. Toisaalta tämän alueen yläpuolella erot kävelijän ja askeläänikojeen välillä olivat huomattavan suuret. Blazier et al. ehdottivat tutkimuksessa askeläänikojeen vasaroiden päällystämistä spektrien vastaavuuden parantamiseksi.

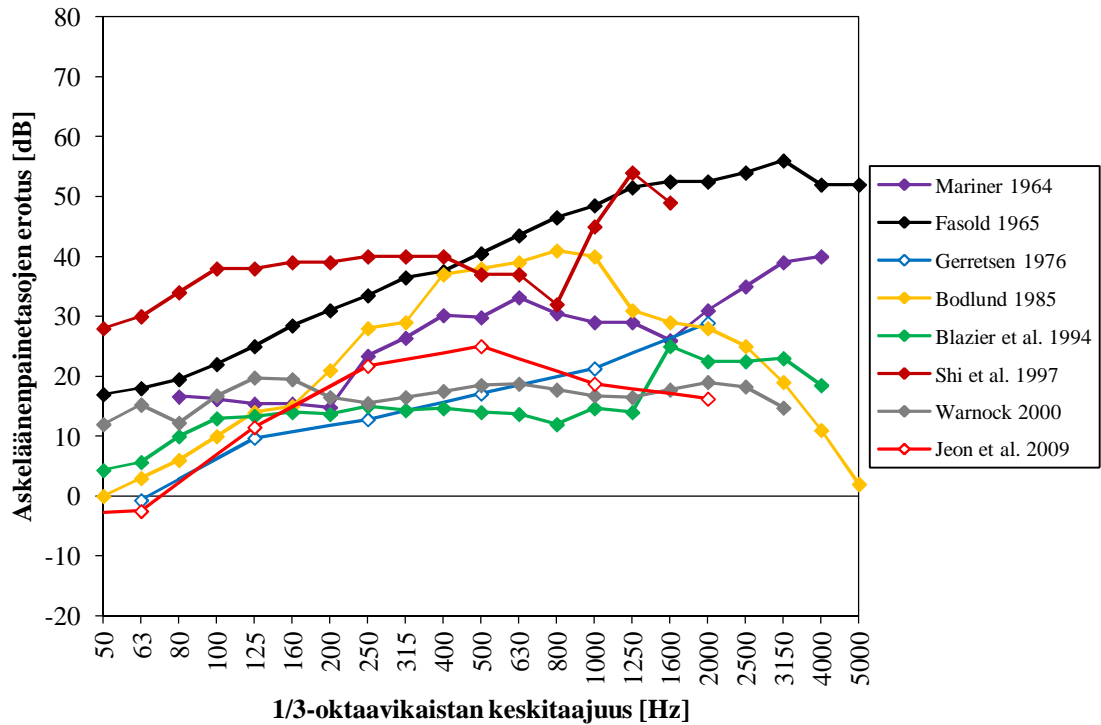
Ruotsissa vuonna 1997 julkaistussa tutkimuksessa Shi et al. selvittivät muun muassa askeläänikojeen ja kävelyn tuottamaa spektriä [63]. Tutkimuksessa mittaukset tehtiin voima-anturisysteemillä. Tutkimuksen perusteella askeläänikojeen (yhden vasaran pudotuksen) ja kävelyn spektrit olivat hyvin erilaiset. Ne poikkesivat toisistaan erityisesti

pienillä taajuuksilla. Kävelyn spektri sisälsi vahvempia pientaajuisia komponentteja kuin askeläänikoje.

Kanadassa Warnock on 2000-luvun alussa tutkinut muun muassa askeläänikojeen ja kävelyn tuottamien spektrien eroa [65, 66]. Tutkimuksissa askelääniä tutkittiin useilla rakenteilla ja rakennetyypeillä. Warnockin mukaan askeläänikojeen ja kävelyn tuottamat spektrit korreloivat hyvin pienillä taajuuksilla alueella 50–250 Hz. Tämä tulos oli yllättävä, koska sen mukaan käyttäen askeläänikojetta askeläänilähteenä voidaan ennustaa melko hyvin kävelyn tuottamia äänenpainetasoja.

Koreassa Jeon et al. tutkivat vuonna 2009 julkaistussa tutkimuksessa eri askeläänilähteiden käyttöä askelääneneristysmittauksissa [28]. Tutkimuksessa selvitettiin lisäksi myös askeläänilähteiden ja todellisen askeläänen eroja. Tutkimukset tehtiin kahdella eri välipohjarakenteella, joiden pintarakenteina olivat puinen lattia, sementtilaastitasoite 45 mm ja kevytbetoni 45 mm. Toinen välipohjien kantavasta teräsbetoni-laatasta oli paksuudeltaan 180 mm ja tämän päällä oli vielä joustava eristekerros, jonka paksuus oli 30 mm, toisen välipohjan kantavan teräsbetoni-laatan paksuus oli 210 mm. Tutkimuksen mukaan kävelyn ja askeläänikojeen tuottamat spektrit erosivat vähiten toisistaan pienillä taajuuksilla ja erotus kasvoi melko tasaisesti taajuuden kasvaessa

Kirjallisuudessa esitetyt askeläänikojeen ja kävelyn tuottamien spektrien erot on esitetty kuvassa 2.7 taajuusalueella 50–5000 Hz [5, 4, 14, 17, 28, 44, 63, 65]. Kuvassa värillisellä pisteellä esitetyt tulokset ovat kolmannesoktaavikaistoittain mitattuja ja vaaleat pisteet oktaavikaistoittain mitattuja tuloksia. Kuvan tulokset on saatu joko suoraan tutkimuksissa esitetyistä askeläänikojeen ja kävelyn spektrien erotuksista tai vähentämällä tutkimuksissa esitetyt askeläänikojeen ja kävelyn tuottamat askeläänispektrit toisistaan. Kaikki tulokset on esitetty siten, että askeläänikojeen tuottamasta spektristä on vähennetty kävelyn spektri. Jos tutkimuksissa on esitetty tuloksia useammalle eri rakenteelle tai kävelijöitä on ollut useampia, on tulokset saatu ottamalla kaikista tuloksista aritmeettinen keskiarvo.



**Kuva 2.7.** Kirjallisuudessa esitetyt askeläänikojeen ja kävelyn tuottamien spektrien erotukset taajuusalueella 50–5000 Hz [5, 4, 14, 17, 28, 44, 63, 65]. Kolmannesoktaavikaistaiset tulokset on esitetty tummennetuoin pistein ja oktaavikaistaiset tulokset vaalein pistein.

Askeläänikojeen ja kävelyn tuottamien äänten subjektiivista eroa on selvitetty tutkimuksissa [49, 50]. Subjektiivinen tieto tutkimuksissa on tuotettu kuuntelukokeilla tehdyin tutkimuksin. Tätä tietoa hyväksi käyttäen voidaan ennustaa rakennusakustisten mittalukujen ja subjektiivisen käsityksen mukaista yhtäläisyyttä.

Olynyk ja Northwood tutkivat 1960-luvulla askeläänikojeen ja kävelyn tuottamaa askelääntä subjektiivisesti [49, 50]. Vuonna 1965 julkaistussa tutkimuksessa [49] Olynyk ja Northwood selvittivät kuuntelukokein kävelyäänien äänekkyyttä. Nauhoitteet kuuntelukoetta varten tehtiin kahdella välipohjarakenteella. Kuuntelukokeissa subjektiivista käsitystä arvioitiin myös pyytämällä koehenkilöitä säätämään peittoääntä tasolle, jolla kävelyäänit juuri peittyivät. Peittoääninä tutkimuksessa käytettiin NC-40 melukäyrän mukaista satunnaiskohinaa. Tutkimuksen perusteella askeläänikojeella saadut tulokset välipohjan askelääneneristyksestä olivat päteviä vain arviointimenetelmien mukaan hyväksyttävien välipohjien käytössä, kun taas muille välipohjille arviointimenetelmä antoi subjektiivista käsitystä parempia tuloksia.

Olynyk ja Northwood julkaisivat vuonna 1968 tutkimuksen [50], jossa tutkittiin välipohjien askelääneneristystä subjektiivisesti käyttäen äänilähteinä standardoitua askeläänikojetta ja sekä mies- että naiskävelijöitä. Tutkimuksessa mittaukset tehtiin kentällä asuinrakennuksissa, -kerrostaloissa ja joissain toimistorakennuksissa. Tutkimukset suoritettiin 22 puurunkoisella ja 7 betonirakenteisella välipohjalla. Subjektiivista käsitystä kävelyn tuottamasta äänestä arvioitiin kuuntelukokeilla, joissa koehenkilöt sääteli-

vät peittoäänien tasoa, kunnes kävelyn ääninäytettä ei enää kuullut. Peittoääninä käytettiin niin ikään melukäyrän NC-40 mukaista satunnaiskohinaa, jonka äänenpainetaso määritettiin A-painotettuna. Tutkimuksen tulosten perusteella puurunkoisilla välipohjilla naisten kävelyn tuottamien äänien erot poikkesivat huomattavasti enemmän keskimääräisestä kuin betonivälipohjilla. Eron uskottiin johtuvan pintamateriaalin vaihtelusta eri rakenteilla. Yleisesti naisten kävelyn tuottamat askeläänet olivat subjektiivisesti kovempia kuin miesten, vaikka miesten kävelyäänet muodostuivat merkittävämmiksi paremmilla välipohjilla. Lisäksi todettiin, että oli huomattavaa, että miesten ja naisten kävelyn askeläänet eivät millään rakenteella vastanneet subjektiivisesti täysin toisiaan. Tulosten perusteella todettiin, että hieman parempia tuloksia saataisiin askeläänikojeen ja kävelyn suhteen, jos käytettäisiin tasaista vertailukäyrää. Tutkimuksessa huomautettiin vielä, että vaikka naisten korkokengillä kävely tuottaa suurimman melun ja täten edun mittauksissa, ei korkokengillä kävely ole ongelmallisinta kävelystä johtuvan askeläänien aiheuttaja.

### 2.5.3 Askeläänikojeen ja muun askeläänien ero

Askeläänikojeen ja kävelyn lisäksi muun todellisen askeläänien, kuten hyppimisen, esi-  
neen putoamisen ja siivoamisen tuottaman askeläänien, spektriä on tutkittu 1960-luvulta lähtien. Ensimmäisiä tutkimuksia, jossa selvitettiin askeläänikojeen tuottaman äänispektrin lisäksi muun todellisen askeläänien kuin kävelyn tuottamaa spektriä julkaistiin Saksassa vuonna 1965. Tutkimuksessaan [14] Fasold selvitti kävelyn ja askeläänikojeen tuottaman äänispektrin lisäksi huonekalujen siirtämisen ja lattian siivoamisen tuottamaa askelääntä. Tutkimuksen tulosten perusteella askeläänikojeen ja muun askeläänien tuottamien spektrien erot olivat pienimmillään pienillä taajuuksilla ja kasvoivat suuremmille taajuuksille mentäessä.

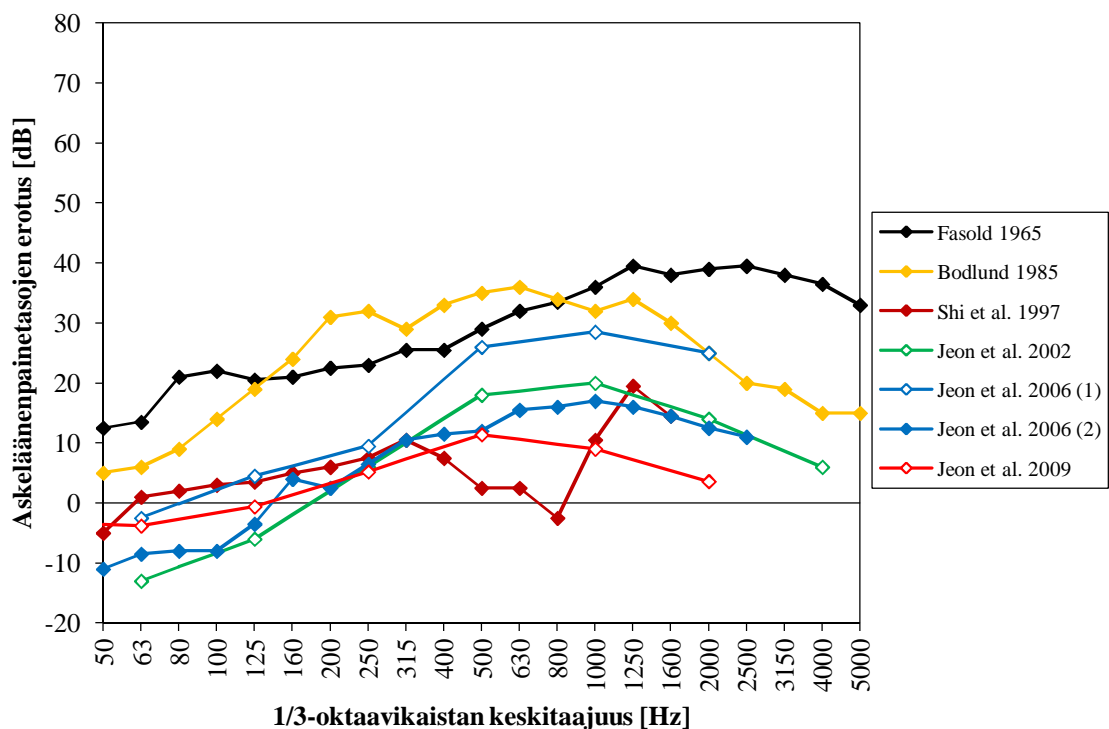
Ruotsissa Bodlundin julkaisemassa tutkimuksessa selvitettiin myös portaissa juoksemisesta aiheutuvaa askeläänispektriä [5]. Bodlundin tulosten perusteella juoksemisen ja askeläänikojeen tuottamat spektrit erosivat toisistaan siten, että erot pienillä taajuuksilla kasvavat suuremmille taajuuksille mentäessä noin 200 Hz asti ja taajuusalueella 200–1250 Hz erot pysyvät likimain tasaisina ja taajuuksilla yli 1250 Hz erot pienevät mentäessä suuremmille taajuuksille.

Vuonna 1997 Shi et al. julkaisemassa tutkimuksessa selvitettiin kävelyn ja askeläänikojeen eron lisäksi juoksemisen ja hyppimisen tuottamien spektrien eroa askeläänikojeen tuottamaan spektriin [63]. Tutkimuksessa askeläänikojeen tuottamaa spektriä selvitettiin käyttäen mittauksissa vain yhtä kojeen vasaraa. Tulosten perusteella hyppimisen ja juoksemisen tuottamat äänispektrit olivat tasoiltaan paremmin askeläänikojeen tuottamia tasoja vastaavia kuin kävelyn spektri. Kuitenkin kävelyn tuottaman äänen tapaan myös hyppimisestä ja juoksemisesta aiheutuvat äänet sisälsivät korkeimmat taajuuskomponenttinsa pienillä taajuuksilla, kun taas askeläänikoje tuotti eniten ääntä suuremmille taajuuksille.



Jeon et al. ovat 2000-luvulla selvittäneet askeläänikojeen tuottaman spektrin lisäksi muun askeläänien tuottamaa spektriä erilaisilla betonirakenteisilla välipohjilla [23, 28]. Myös Jeon et al. mukaan todellisen askeläänien ja askeläänikojeen tuottamien äänispektrien erot ovat pienimmillään pienillä taajuuksilla. Tulosten perusteella spektrien erotus kasvaa melko tasaisesti aina noin 1000 Hz asti, kunnes erotus alkaa tätä suuremmille taajuuksilla taas laskea. Vuonna 2002 [23] ja 2006 [25] julkaistujen tutkimusten tulosten perusteella johdetut spektrien erotukset olivat samankaltaiset. Vuonna 2009 julkaistun tutkimuksen [28] perusteella askeläänikojeen ja todellisen askeläänien tuottamien spektrien erotus oli kauttaaltaan aikaisempiin tuloksiin verrattuna pienempi.

Kirjallisuudessa esitetyt askeläänikojeen ja muun askeläänien kuin kävelyn tuottamien spektrien erot on esitetty kuvassa 2.8 taajuusalueella 50–5000 Hz [5, 14, 23, 25, 28, 63]. Kuvassa värillisellä pisteellä esitetyt tulokset ovat kolmannesoktaavikaistoittain mitattuja ja vaaleat pisteet oktaavikaistoittain mitattuja tuloksia. Kuvan tulokset on saatu joko suoraan tutkimuksissa esitetyistä askeläänikojeen ja kävelyn spektrien erotuksista tai vähentämällä tutkimuksissa esitetyt askeläänikojeen ja kävelyn askeläänispektrit toisistaan. Kaikki tulokset on esitetty siten, että askeläänikojeen tuottamasta spektristä on vähennetty kävelyn spektri. Jos tutkimuksissa on esitetty tuloksia useammalle eri rakenteelle tai kävelijöitä on ollut useampia, on tulokset saatu ottamalla kaikista tuloksista aritmeettinen keskiarvo.



**Kuva 2.8.** Kirjallisuudessa esitetyt askeläänikojeen ja muun kävelyn tuottamien todellisten askeläänien spektrien erotukset taajuusalueella 50–5000 Hz [5, 14, 23, 25, 28, 63]. Kolmannesoktaavikaistaiset tulokset on esitetty tummennetuin pistein ja oktaavikaistaiset tulokset vaalein pistein.

## 2.6 Tutkimustarve askelääneneristykseen arviointimenetelmän parantamiseksi

Askelääneneristykseen arvioinnissa käytetään epäsuoraa arviointimenetelmää, jossa standardoitu askeläänikoje kohdistaa välipohjaan askelääniherätteen ja sen tuottamaa ääntä mitataan vastaanottohuoneessa. Tätä menetelmää on kritisoitu, koska sen tuottamien tulosten perusteella välipohjarakenteet eivät arvioidu ihmisen kannalta oikein [2, 5, 16, 17, 35, 44, 48–50, 58, 61, 63]. Menetelmän parantamiseksi askeläänikojeen tilalle on ehdotettu vaihtoehtoisia askeläänilähteitä, jotka voidaan jakaa muunnettuihin askeläänikojeisiin ja muihin vaihtoehtoisiin askeläänikojeisiin [23–28, 39, 44, 48, 52, 53, 58, 61, 63, 65, 66, 68, 69]. Äänilähteen vaihtamisella on pyritty aikaansaamaan paremmin todellista, kuten kävelystä tai hyppimisestä aiheutuvaa, askelääntä tuottava koje, jonka avulla arviointi tuottaisi oikeanlaisia tuloksia. On kuitenkin esitetty, että menetelmän puutteista huolimatta standardiaskeläänilähdettä ei ole syytä vaihtaa [65, 66]. Tämän perusteella on ilmeistä, että askeläänikojetta ei tule korvata muulla äänilähteellä, koska jos askeläänilähde vaihdettaisiin, vanhoista mittaustuloksista tulisi vertailukelvottomia.

Askelääneneristykseen arviointimenetelmän kehittämiseksi esitettyjä ratkaisuja, joilla arvioinnissa voitaisiin käyttää askeläänikojetta, ovat vertailukäyrämenettelyn ja mittaus-tuloksien normalisointitavan muuttaminen. Erityisesti vertailukäyrämenettelyn muuttamisen on osoitettu parantavan menetelmää subjektiiviselta kannalta [5, 14, 17, 20]. Kuitenkin standardiehdotuksen mukaisessa askelääneneristykseen laskentamenetelmässä [59] vertailukäyrämenettely poistuu käytöstä, jolloin tulee etsiä toinen ratkaisu menetelmän parantamiseksi. Ehdotetussa menetelmässä vertailuspektrinä käytetään rakenteeseen kohdistuneen äänitehotason ja toiselle puolelle siirtyneen äänitehotason suhdetta eli askeläänikojeen spektriä. Kirjallisuuden perusteella on kuitenkin ilmeistä, että askeläänikojeen tuottama äänispektri ei vastaa subjektiivista kokemusta askelääneneristyksestä (kuvat 2.7 ja 2.8). Sen takia on tutkittava todellisen askelääniherätteen, kuten kävelyn, huonekalujen siirron ja lasten leikkimisen, tuottamaa askelääntä.

Kirjallisuudessa on esitetty useita psykoakustisia mittalukuja, jotka kuvaavat todellisen askelääniherätteen tuottaman äänen aiheuttamaa aistimusta. Psykoakustisten mittalukujen tarkoituksena on kuvata sitä, miltä ääni kuulostaa ihmisen korvassa. Mittalukuihin vaikuttavat sekä äänen ajalliset että taajuusominaisuudet [15]. Esitettyjä psykoakustisia mittalukuja ovat muun muassa äänekkyyys, karheus, vaihteluvoimakkuus, harhaton häiritsevyys (engl. unbiased annoyance), A-painotettu ekvivalentti äänitaso ja A-painotettu F-aikapainotettu enimmäisäänitaso [23, 25, 28, 47, 53]. Näistä hyvin todellisen askeläänien tuottamaa aistimusta kuvaavia psykoakustisia mittalukuja ovat A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$ , A-painotettu F-aikapainotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,Fmax}$  ja äänekkyyys  $N$  [23, 28, 47, 53].

Tässä tutkimuksessa selvitetään askelääneneristykseen nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisen arviointimenetelmän sekä todellisen askelääniherätteen tuottaman äänen välistä yhteyttä tekemällä askeläänilaboratoriossa mittauksia erilaisilla askeläänilähteillä ja määrittämällä rakenteiden rakennusakustiset mittaluvut ja todellisen

askeläänen tuottamat psykoakustiset mittaluvut, jotka kuvaavat kunkin äänilähteen tuottamaa ääntä. Rakennusakustisten mittalukujen tarkoituksena on kuvata välipohjan objektiivista askelääneneristystä, kun taas psykoakustiset mittaluvut arvioivat, miten ihminen aistii tilassa kuullun askeläänen. Tutkimuksessa selvitetään standardoidun askeläänikojeen lisäksi kävelyn, tuolin siirron ja pallon pompottamisen tuottamaa ääntä. Mittauksia tehdään yhdeksällä eri välipohjarakenteella, joiden kantava rakenne on sama, mutta pintarakenteet vaihtelevat. Mittauksia suoritetaan eri rakenteilla, koska kunkin askeläänilähteen tuottama äänispektri riippuu lattianpäällysteestä. Näin ollen saadaan tietoa etenkin pintarakenteen vaikutuksesta eri askelääniherätteen alapuoliseen tilaan tuottamaan ääneen. Asuinhuoneistoissa tehdyllä tutkimuksella ei olisi tällaista etua vaan jouduttaisiin tekemään mittauksia mahdollisesti jopa eri rakennuksissa. Tällöin ei saataisi täsmällistä tietoa pintarakenteen vaikutuksesta mitattavaan askeläänepainetasoon, koska myös kantavat rakenteet vaihtuisivat, vaikka rakennetyyppi olisikin sama.

Mittaustulosten perusteella määritetään välipohjien nykystandardin mukaiset rakennusakustiset mittaluvut  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_I$ ,  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ ,  $\Delta L_w$ ,  $L'_{nT,w}$ ,  $L'_{nT,w} + C_I$  ja  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaiset rakennusakustiset mittaluvut  $R_{\text{impact}}$ ,  $D_{nT,\text{impact}}$  ja  $\Delta R_{\text{impact}}$ . Todellisen askelääniherätteen tuottamaa ääntä kuvaamaan lasketaan psykoakustiset mittaluvut äänekkyyys  $N$ , äänekkyyystaso  $L_N$ , A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,\text{eq}}$  ja A-painotettu F-aikapainotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,\text{Fmax}}$ . Nämä mittaluvut valittiin, koska tutkimuksissa niiden on osoitettu kuvaavan hyvin subjektiivista käsitystä todellisten askeläänilähteiden tuottamasta askeläänestä [23, 28, 47, 53]. Psykoakustisten mittalukujen perusteella voidaan ennustaa muun muassa, mihin järjestykseen eri välipohjarakenteet asettuvat ihmisen kokemuksen perusteella. Vertaamalla taas todellisen askeläänen tuottamia mittalukuja nykyisen ja ehdotetun menetelmän mukaisiin rakennusakustisiin mittalukuihin voidaan päätellä, kuinka hyvin nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset menetelmät vastaavat todellisuutta.

## 3 ASKELÄÄNIKOKKEET

### 3.1 Mittauslaboratorio

Tutkimuksessa tehdyt askeläänikokeiden mittaukset suoritettiin Nokialla Upofloor Oy:n tehtaassa askeläänilaboratoriossa. Laboratorio koostui kahdesta päällekkäisestä huoneesta: lähetys- ja vastaanottohuoneesta. Laboratorion huoneet olivat toisistaan erillään siten, ettei niitä yhdistänyt muu kuin niiden välissä oleva välipohjarakenne. Yläpuolella olevan lähetyshuoneen eli huoneen, jossa välipohjaan aiheutettiin askelääniheräte, pinta-ala oli noin 26,4 m<sup>2</sup> huoneen ollessa noin 4,4 m leveä ja 6,0 m pitkä. Alapuolella sijaitsevan vastaanottohuoneen tilavuus oli noin 60 m<sup>3</sup> ja sen pinta-ala oli hieman lähetyshuoneen alaa pienempi, noin 24,0 m<sup>2</sup>. Huoneen huonekorkeus oli 2,5 m. Vastaanottohuoneessa mitattiin välipohjaan kohdistuvan askelääniherätteen tuottamaa ääntä.

Tutkimuksen mittaukset tehtiin ajankohtana, jolloin tehtaassa tuotantolinja oli väliaikaisesti kiinni. Näin tehtaassa koneista ei aiheutunut ylimääräistä ääntä askeläänilaboratorioon. Vastaanottohuoneen taustäänitaso oli tutkimuksen aikana suunnilleen vakio, jolloin mittausolosuhteet olivat kullekin tilanteelle yhtäläiset. Tutkimuksen aikana huoneen A-painotettu ekvivalentti kokonaistaustäänitaso  $L_{A,eq}$  vaihteli mittauspisteessä 1 välillä 17,9...18,2 dB ja pisteessä 2 välillä 17,0...17,3 dB.

Mittauslaboratorion vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika mitattiin tutkimuksen alkuvaiheessa. Tavoitteena oli, että tutkimuksessa huoneen jälkikaiunta-aika vastaisi suurin piirtein asuinhuoneiston jälkikaiunta-aikaa eikä huone olisi siten ollut liian kaiuntainen. Kalustetun makuuhuoneen jälkikaiunta-aika 500 Hz taajuudella on noin 0,5 sekuntia [57]. Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aikaa lyhennettiin lisäämällä huoneen nurkkiin villapaaleja.

### 3.2 Mittalaitteet

Tutkimuksessa käytetyt mittalaitteet saatiin käyttöön Työterveyslaitoksen sisäympäristölaboratoriolta. Mittalaitteena käytettiin kannettavaa tietokonetta, jonka mittausohjelmistona toimi Samurai 1.5. Mittausmikrofoneina olivat kondensaattorimikrofonit G.R.A.S. 40AF ja Brüel & Kjaer 4190. Askeläänikojeena käytettiin standardoitua askeläänikojetta Norsonic Nor277. Jälkikaiunta-aikaa mitattaessa äänilähteenä käytettiin pallokaiutinta Brüel & Kjaer OmniPower 4296, jonka vahvistimena toimi tehovahvistin Brüel & Kjaer 2716C.

### 3.3 Rakenteet

Tutkittavana oli yhteensä yhdeksän erilaista välipohjarakennetta VP1...VP9. Välipohjarakenteiden kantava rakenne oli kaikilla tutkittavilla rakenteilla sama: 265 mm paksu ontelolaatasto, jonka päällä oli tasoite. Siten raakavälipohjan pintamassa  $m'$  oli noin  $400 \text{ kg/m}^2$ . Tutkimuksessa tehtäviä kokeita varten lähetyshuoneeseen rajattiin ala, jonka sivujen pituudet olivat 4 m ja 3 m. Kaikki kokeissa tutkittavat pintarakenteet asetettiin lähetyshuoneeseen samaan kohtaan (kuvat 3.4 ja 3.5).

Pintarakenteina tutkittiin julkisissa tiloissa ja asuinhuoneistossa käytettäviä muovimattoja, lautaparkettia alusmateriaaleineen, toimisto- ja asuntokäyttöön tarkoitettuja tekstiilimattoja ja kolmea erilaista levyrakenteista parkettipäällysteistä kelluvaa lattiaa (taulukko 3.1). Pintarakenteet valittiin siten, että matto- ja parkettipäällysteisten rakenteiden askelääneneristävyyden parannusluvut  $\Delta L_w$  olivat mahdollisimman erilaisia. Kelluvien rakenteiden tapauksessa taas valittiin ominaistajuudeltaan toisistaan poikkeavia lattioita.

**Taulukko 3.1.** Tutkittujen välipohjarakenteiden pintarakenteet ja niille mitatut askelääneneristävyyden parannusluvut  $\Delta L_w$ . Kaikkien välipohjarakenteiden kantavana rakenteena toimi 265 mm paksu ontelolaatasto, jonka päällä oli tasoite.

Välipohja	Pintarakenne
VP1	-
VP2	- Julkisissa tiloissa käytettävä muovimatto: Upofloor Estrad, $\Delta L_w = 2 \text{ dB}$
VP3	- Asuinhuoneistoissa käytettävä muovimatto: Upofloor Upostep, $\Delta L_w = 21 \text{ dB}$
VP4	- Lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm - Parketinalusmateriaali Tuplex, $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$
VP5	- Tekstiilimatto toimistokäyttöön: Orient Occident Oy Epoca Compact, $\Delta L_w = 21 \text{ dB}$
VP6	- Tekstiilimatto asuntokäyttöön: Orient Occident Oy Milliken, $\Delta L_w = 37 \text{ dB}$
VP7	- Lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm - Parketinalusmateriaali Tuplex, $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$ - 2 x lattiakipsilevy Gyproc GL 15 mm - Askeläänieristelevy Isover VKL 13 mm Koko pintarakenteen $\Delta L_w = 29 \text{ dB}$
VP8	- Lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm - Parketinalusmateriaali Tuplex, $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$ - 2 x lattiakipsilevy Gyproc GL 15 mm - Askeläänieristelevy Isover FLO 50 mm Koko pintarakenteen $\Delta L_w = 36 \text{ dB}$
VP9	- Lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm - Parketinalusmateriaali Tuplex, $\Delta L_w = 20 \text{ dB}$ - 4 x lattiakipsilevy Gyproc GL 15 mm - Askeläänieristelevy Isover FLO 50 mm Koko pintarakenteen $\Delta L_w = 38 \text{ dB}$

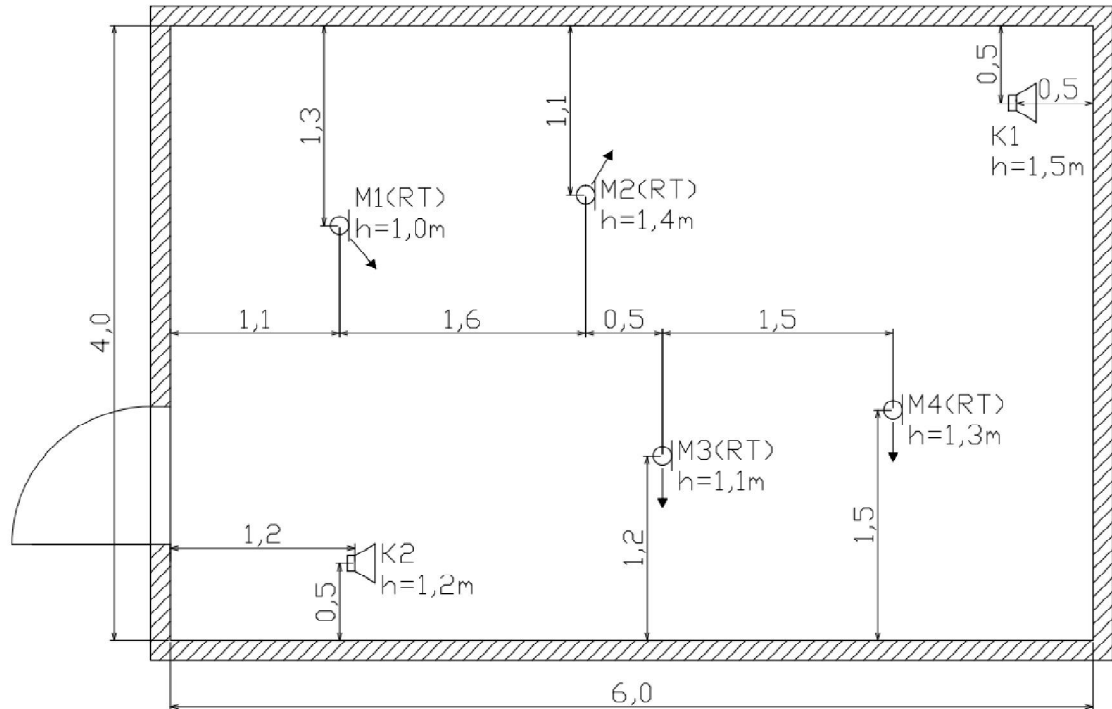
### 3.4 Jälkikaiunta-ajan mittaaminen

Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika mitattiin luvussa 2.2 esitetyllä tavalla. Jälkikaiunta-aika mitattiin ennen askeläänimittausten aloittamista, minkä perusteella pääteltiin huoneeseen tarvittava lisävaimennusmateriaalin määrä. Tulosten perusteella huoneen nurkkiin asennettiin villapaaleja. Asennuksen jälkeen vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika mitattiin toistamiseen. Mittaamiseen käytettiin ympärisäteilevää kaiutinta, niin sanottua pallokaiutinta (kuva 3.1).



*Kuva 3.1. Jälkikaiunta-ajan mittaamisessa käytetty ympärisäteilevä kaiutin.*

Jälkikaiunta-ajan mittaamisessa käytettiin kahta lähetyspaikkaa ja neljää mikrofonipaikkaa. Kultakin paikalta lähetettiin kaksi pursketta vaaleanpunaista kohinaa kutakin mikrofonipaikkaa kohden. Näin ollen mittauksia tehtiin yhteensä 16 kappaletta. Mitatuista vaimenemakäyristä määritettiin vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika kolmannesoktaavikaistoittain keskitaajuuksilla 50–5000 Hz. Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan mittaamiseen käytetyt kaiutin- ja mikrofonipaikat, niiden korkeusasemat ja mikrofonien suunnat on esitetty kuvassa 3.2.

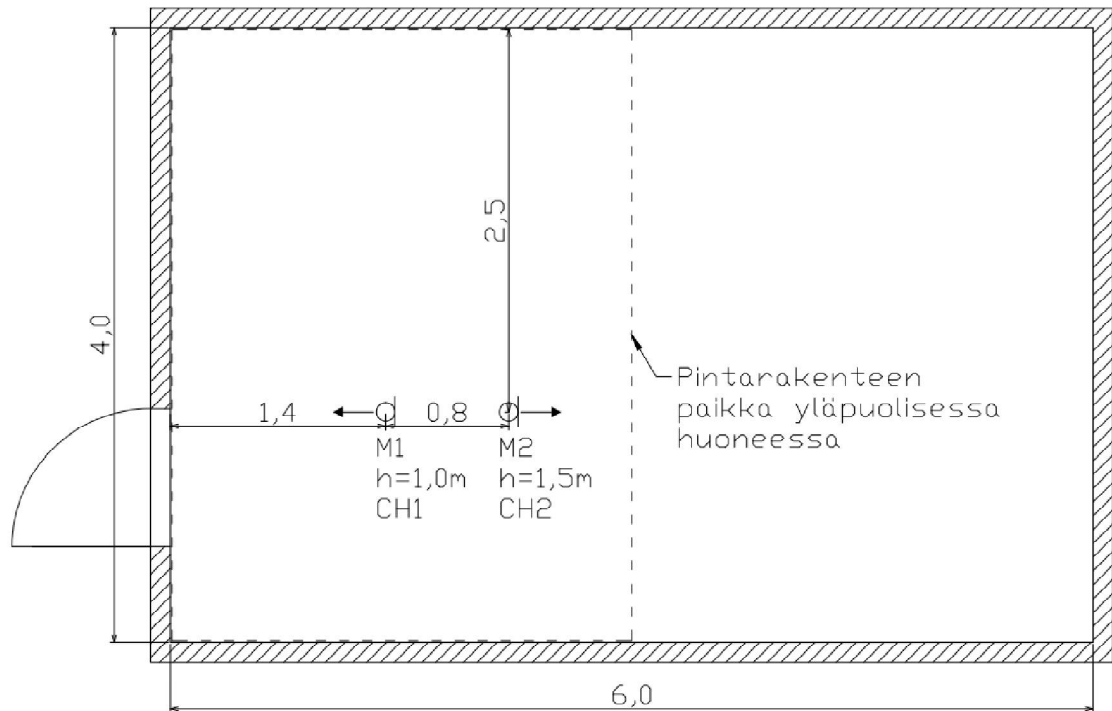


**Kuva 3.2.** Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan mittaamisessa käytetyt kaiutin- ja mikrofonipaikat, niiden korkeusasemat ja mikrofonien suunnat.

### 3.6 Askeläänispektritutkimus

Askeläänispektritutkimuksessa mitattiin standardoidun askeläänikojeen, kävelyn, pallon pompottamisen ja tuolin siirron vastaanottohuoneeseen tuottamaa äänispektriä kullakin välipohjarakenteella. Kaikki tutkimuksessa tehdyt mittaukset suoritettiin kauko-ohjauksella lähetyshuoneesta. Näin ollen mittajaan läsnäolo ei vaikuttanut vastaanottohuoneen äänikenttään. Jokaisen askelääniherätteen tuottamaa ääntä mitattiin kahdesti yhden mittauksen keston ollessa 40 sekuntia kaikilla muilla herätteillä paitsi askeläänikojeen tapauksessa, jossa askeläänikojeella oli neljä lähetyspaikkaa ja kutakin paikkaa kohden mitattiin 10 sekunnin ajan.

Kunkin askelääniherätteen tuottamaa ääntä mitattiin ja nauhoitettiin vastaanottohuoneessa kaksikanavaisesti mikrofonipaikoista 1 ja 2 (kuva 3.3). Taustaäänikorjausta varten samoilla paikoilla mitattiin kaksikanavaisesti myös taustaäänienpainetaso. Taustaäänienpainetasoa mitattiin 60 sekunnin ajan. Mikrofonipaikat valittiin siten, että ne sijaitsivat vastaanottohuoneessa yläpuolisen pintarakenteen alapuolella, mutta eivät kuitenkaan aivan huoneen keskellä, jossa olisi voinut esiintyä haitallisia huonemoodeja, jotka olisivat vahvistaneet muodostuvia ääniä jollain tietyllä taajuudella. Askelääniherätteiden nauhoitukset tehtiin, jotta koko signaali saatiin tallennettua. Tällöin voitiin myös jälkikäteen varmistaa, ettei signaaliin aiheutunut mittauksen aikana kuultavaa häiriötä.



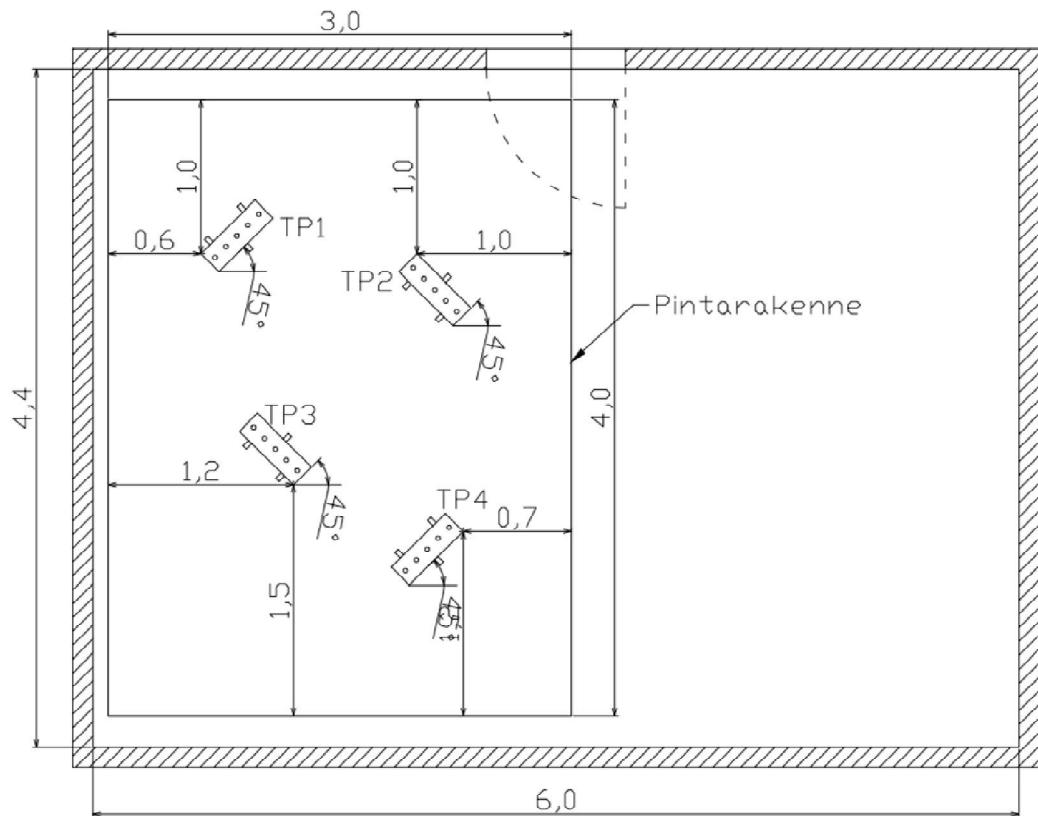
**Kuva 3.3.** Askeläänitutkimuksen mittaus- ja nauhoituspaikat, niiden korkeusasemat ja mikrofonien suunnat vastaanottohuoneessa.

Askeläänitutkimuksessa kullekin askelääniherätteelle mitattiin herätteen tuottama ekvivalentti äänenpainetaso eli keskiäänepainetaso  $L_{eq}$  [dB] ja F- eli fast-aikapainotettu äänenpainetaso kolmannesoktaavikaistoittain keskitaajuuksilla 20–20000 Hz. Fast-aikapainotuksen avulla ilmoitettiin äänenpainetaso ajan funktiona 120 ms:n jaksoissa. Fast-aikapainotuksella mitattujen äänenpainetasojen avulla haettiin herätteen tuottama enimmäisäänepainetaso. F-aikapainotuksen on todettu vastaavan hyvin sitä, miten ihmisen kuuloaisti arvioi lyhytaikaisten äänten voimakkuutta [57].

### 3.6.1 Askeläänikojeen tuottaman äänen mittaaminen

Askeläänikojeen tuottamaa spektriä mitattiin kojeen koputtaessa neljällä eri lähetyspaikalla TP1...TP2 pintarakenteen päällä (kuva 3.4). Askeläänikoje asetettiin kussakin paikassa 45° kulmaan kantavaan välipohjarakenteeseen nähden. Kojien lähetyspaikat olivat samat kullakin pintarakenteella ja mittaukset toistettiin jokaisella luvussa 3.3 esitetyllä välipohjarakenteella. Askeläänikojeen vastaanottohuoneeseen tuottamaa askelääntä mitattiin kaksikanavaisesti kutakin lähetyspaikkaa kohden 10 sekuntia. Mittaukset suoritettiin kahteen kertaan.

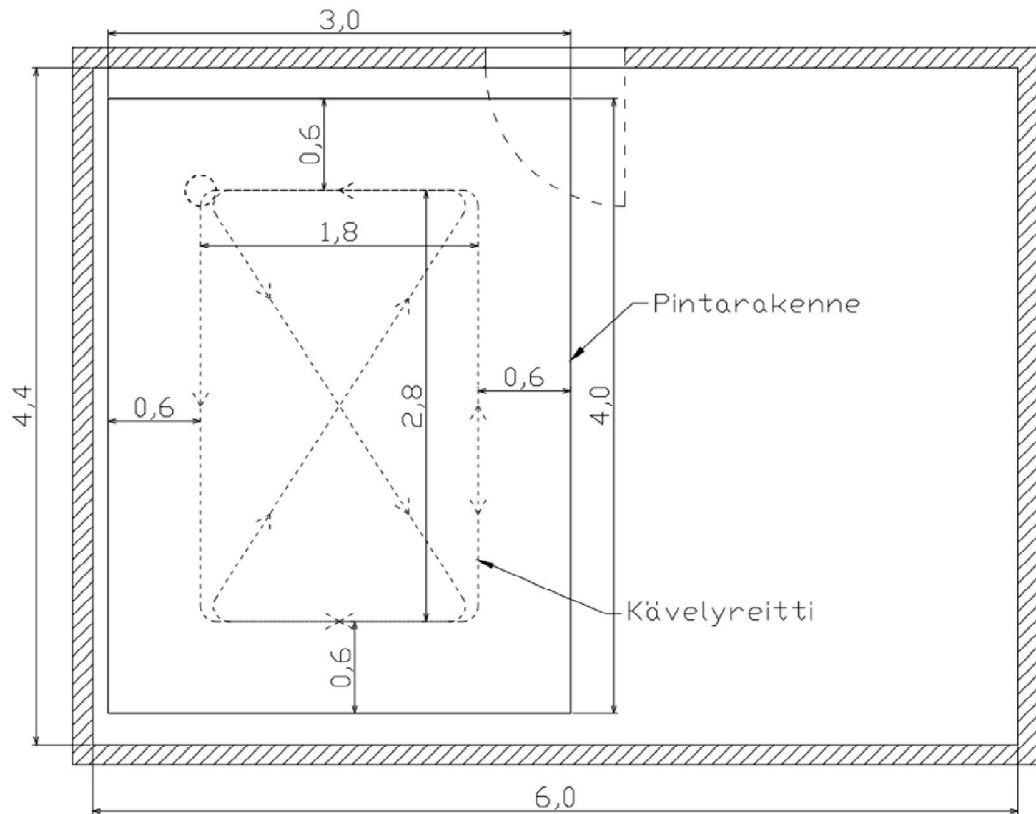




**Kuva 3.4.** Askeläänikojeen lähetyspaikat TP1...TP4 lähetyshuoneen pintarakenteella. Askeläänikoje asetettiin  $45^\circ$  kulmaan kantavaan rakenteeseen nähden.

### 3.6.2 Kävelyn tuottaman äänen mittaaminen

Askeläänitutkimuksessa tutkittiin kävelyn tuottamaa askeläänispektriä mittaamalla kävelyä 40 sekunnin ajan, kun koekävelijöillä oli jalassaan sukat, pehmeäpohjaiset kengät ja kovapohjaiset kengät. Mittaukset tehtiin kahdesti ja toistettiin jokaisella luvussa 3.3 esitetyllä välipohjarakenteella. Kävelyn aiheuttamaa askelääntä mitattaessa koekävelijä käveli pintarakenteen päälle muodostettua kävelyreittiä pitkin (kuva 3.5). Kävelyreitti koostui kahdesta osasta: suorakaiteen ja tiimalasin muotoisesta kierroksesta. Kierroksia käveltiin kokeessa vuorotellen, kunnes mittausaika täyttyi. Mittauksen alkaessa kävely aloitettiin aina samalta paikalta. Reitti pidettiin jokaisella pintarakenteella samana.



**Kuva 3.5.** Kävelyreitti pintarakenteella. Kävelijä lähti mittauksen alkaessa ympyrällä merkatusta lähtöpisteestä ja kiersi ensin suorakaiteen muotoisen reitin vastapäivään ja tämän jälkeen tiimalasin muotoisen reitin. Kävelyä jatkettiin kävelemällä vuoron perään näitä reittejä mittauksen loppuun asti.

Tutkimuksessa toimi koekävelijöinä kolme mieskävelijää W1, W2 ja W3. Taulukossa 3.2 on esitetty kävelijöiden sukupuolen lisäksi kävelijöiden ikä, massa, pituus ja kengän koko. Tässä tutkimuksessa kukin kävelijöistä piti jaloissaan omia sukkiiaan ja kenkiään. Tästä johtuen jokaisen kengän ja sukkien ominaisuudet olivat erilaiset. Koekävelijöiden tutkimuksessa käyttämät kengät on esitetty kuvassa 3.6.

**Taulukko 3.2.** Koekävelijöiden sukupuoli, ikä, massa, pituus ja kengän koko.

Kävelijä	Sukupuoli	Ikä	Massa	Pituus	Kengän koko
W1	Mies	22 v.	86 kg	188 cm	46
W2	Mies	40 v.	125 kg	191 cm	44
W3	Mies	23 v.	91 kg	183 cm	42



**Kuva 3.6.** Koekävelijöiden tutkimuksessa käyttämät kengät. Vasemmalta oikealle: kävelijän W1 pehmeä- ja kovapohjaiset kengät, kävelijän W2 pehmeä- ja kovapohjaiset kengät, kävelijän W3 pehmeä- ja kovapohjaiset kengät.

### 3.6.3 Pallon pompottamisen tuottaman äänen mittaaminen

Askeläänitutkimuksessa käytettiin askeläänilähteenä myös niin sanottua superpalloa, jonka massa oli noin 45 g (kuva 3.7). Palloa pompotettiin keskellä pintarakennetta ja tämän tuottamaa ääntä mitattiin muiden herätteiden tapaan vastaanottohuoneessa kaksikanavaisesti 40 sekuntia. Kaikilla rakenteilla palloa pompotti kävelijä W3. Palloa pompotettiin kullakin välipohjarakenteella heittämällä palloa toistuvasti koko mittauksen ajan kohti lattiaa siten, että pallo palautui suunnilleen samaan korkeusasemaan kuin mistä se on päästetty irti. Tämäkin mittaus tehtiin kahdesti kullakin välipohjarakenteella.



**Kuva 3.7.** Askeläänitutkimuksessa askeläänilähteenä käytetty superpallo. Pallon massa oli noin 45 grammaa.

### 3.6.4 Tuolin siirron tuottaman äänen mittaaminen

Tutkimuksessa selvitettiin tuolin siirrosta vastaanottohuoneeseen aiheutuvaa ääntä. Tutkimuksessa käytettiin puista tuolia (kuva 3.8). Tuolin siirtäjänä kaikilla välipohjarakenteilla toimi koekävelijä W1. Tuolin siirto tehtiin pöydän ääressä keskellä pintarakennet-

ta seuraavasti: ensin koehenkilö veti tuolin pois päin pöydästä, minkä jälkeen koehenkilö asettui tuolin eteen ja veti tuolin pöytää kohti, istuutui tuolille, nousi pois tuolilta, työnsi tuolin pois päin pöydästä ja vielä lopuksi työnsi tuolin takaisin pöydän viereen. Siirtotapahtumaa mitattiin niin ikään kaikilla välipohjarakenteilla 40 sekuntia. Koehenkilö oli harjoitellut tekemään tämän liikesarjan siten, että mittauksen aikana tehtiin yhteensä noin neljä sarjaa. Tuolia siirrettäessä koehenkilöllä oli jalassaan pehmeäpohjaiset kengät. Kuvassa 3.8 on esitetty tuolin siirron koejärjestely liikesarjan alussa.



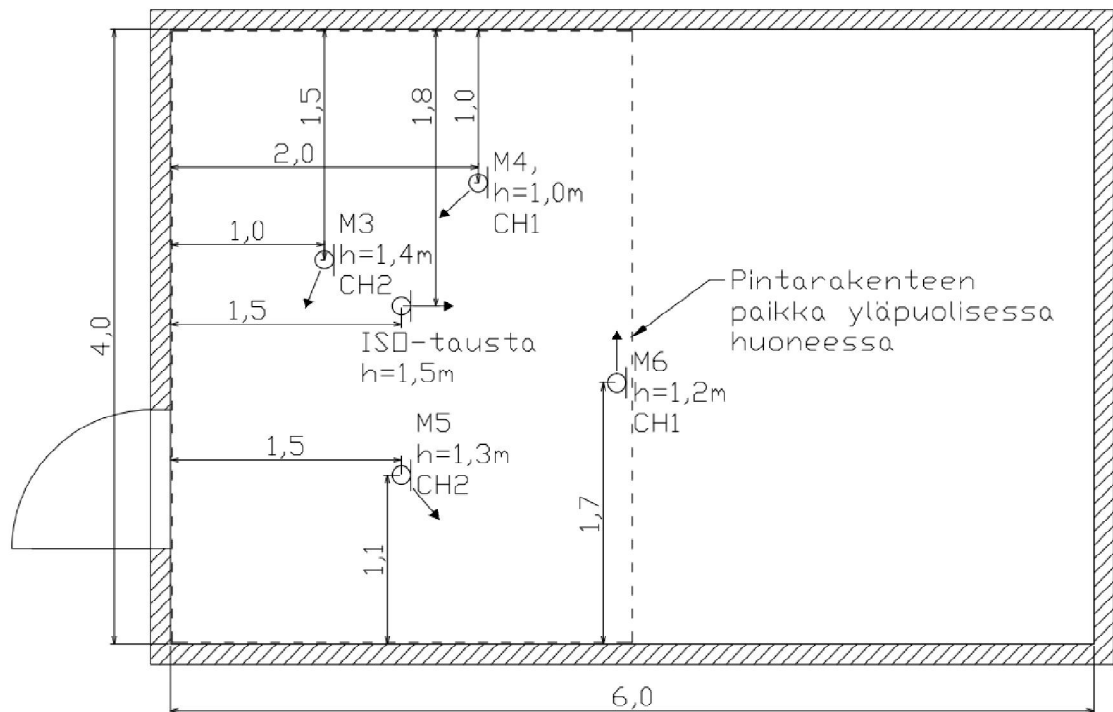
*Kuva 3.8. Tuolin siirron koejärjestely liikesarjan alussa. Tuoli ja pöytä asetettiin pituussuunnassa keskelle pintarakennetta ja tuolin siirto aloitettiin siirtämällä tuoli pöydästä pois päin.*

### **3.7 Askelääneneristyksen mittaaminen**

Askeläänitutkimuksen lisäksi selvitettiin kunkin välipohjarakenteen askelääneneristys kenttämittauksin sekä nykyisen mittausmenetelmän [13] että standardiehdotuksen [59] mukaan. Askelääneneristysmittaukset suoritettiin luvussa 2.2 esitetyllä standardin ISO 140-7 [10] mukaisella tavalla. Näitä mittauksia varten tuli määrittää kolmannesoktaavikaistoittain vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika, taustäänepainetaso ja askeläänikojeen tuottama askeläänepainetaso vastaanottohuoneessa.

Vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika määritettiin luvussa 3.4 esitetyllä tavalla tilanteessa, jossa huoneeseen oli lisätty vaimennusmateriaalia huoneen nurkkiin. Tällöin vastaanottohuoneen olosuhteet olivat siis samat kuin askeläänispektritutkimuksen aikana. Askelääneneristysmittausten yhteydessä mitattiin vastaanottohuoneen taustäänepainetaso yhdellä mikrofoni paikalla suurin piirtein keskellä askeläänepainetason mittaustaikkoja. Taustäänimittaus tehtiin kerran kunkin välipohjarakenteen askelääneneristysmittauksen yhteydessä ja mittauksen kesto oli 60 sekuntia.

Askelääneneristysmittauksissa askeläänikojeen paikat välipohjan pintarakenteella olivat kaikilla rakenteilla samat kuin askeläänitutkimuksessa käytetyt lähetyspaikat (kuva 3.4). Askeläänikojeen tuottamat äänenpainetasot mitattiin vastaanottohuoneessa kuvassa 3.9 esitetyistä paikoista. Taustaäänepainetason mittauspaiikka on myös esitetty kuvassa. Kuvassa on esitetty lisäksi kunkin mikrofonin korkeusasema ja mikrofonien suunnat. Askeläänikojeen vastaanottohuoneeseen tuottamia äänenpainetasoja mitattiin kutakin lähetyspaikkaa kohden jokaisesta mittauspisteestä 15 sekunnin ajan. Standardissa ISO 140-7 [10] esitetyn ohjeen mukaan pienillä alle 100 Hz taajuuksilla mikrofonipaikkojen etäisyyksien huoneen reunoista tulisi olla vähintään 1,2 m, mutta tätä rajoitusta ei tässä tutkimuksessa noudatettu, koska tällöin kaikkien mikrofonien olisi tullut sijaita suunnilleen samassa korkeusasemassa, jolloin ei olisi saatu kattavaa kuvaa huoneen äänikentästä.



**Kuva 3.9.** Askelääneneristysmittauksissa käytetyt mittauspaiikat ja niiden korkeusasemat sekä mikrofonien suunnat vastaanottohuoneessa.

### 3.8 Spektritutkimuksen mittaustulosten laskenta

Mittaustuloksista selvitettiin kunkin askeläänihäätteen tuottaman äänen ominaisuuksia esittämällä jokaisen häätteen tuottamat äänispektrit ja spektrin muotoa sekä äänen tuottamaa aistimusta kuvaavat psykoakustiset mittaluvut. Tutkimuksessa käytetty mittaushjelma Samurai 1.5 ilmoitti mitatun ekvivalentin äänenpainetason eli keskiäänepainetason  $L_{eq}$  sekä enimmäis- ja vähimmäisäänepainetasot taajuuskaistoittain keskitaajuuksilla 20–20000 Hz. Ohjelmalla tallennettiin taajuuskaistaiset mitatut äänenpainetasot myös ajan funktiona koko mittauksen ajan. Tutkimuksessa käytettiin fast-aikapainotusta

(F-aikapainotus) eli ohjelma ilmoitti äänenpainetasot 120 ms ajanjaksoissa. Tätä dataa käytettiin, kun haettiin kunkin askelääniherätteen tuottamat hetkelliset enimmäisspektrit.

### 3.8.1 Taustaäänikorjaaminen

Ennen varsinaista laskentaa kaikki mittaustulokset tuli taustaäänikorjata. Toisin sanoen mitatuista äänenpainetasoista eliminoitiin vastaanottohuoneessa vallinneen taustaäänien vaikutus mitattuihin äänispektreihin. Kaikki spektritutkimuksessa saadut mittaustulokset taustakorjattiin kanavittain eli mitatun äänenpainetason taustakorjaus tehtiin samalta paikalta mitatulla taustaäänienpainetasolla. Taustaäänikorjauksella määritettiin taustakorjattu äänenpainetaso  $L_{p,c}$  [dB], joka tässä tutkimuksessa oli joko ekvivalentti äänenpainetaso tai hetkellinen äänenpainetaso. Tämä korjaus tehtiin taajuuskaistoittain vastaanottohuoneessa mitatuille signaalin ja taustaäänienpainetason yhdistetyille äänenpainetasoille  $L_{p,sb}$  [dB] vähentämällä siitä mitatun taustaäänienpainetason  $L_{p,b}$  [dB] vaikutus kaavan (3.1) mukaisesti:

$$L_{p,c} = 10 \lg(10^{L_{p,sb}/10} - 10^{L_{p,b}/10}) \quad (3.1)$$

Koska kaavaa (3.1) ei ole määritelty, kun taustaäänienpainetaso  $L_{p,b}$  on yhtä suuri tai ylittää mitatun signaalin ja taustaäänien yhdistetyn äänenpainetason  $L_{p,sb}$ , tutkimuksessa käytettiin taustaäänienpainetasona mitattua vähimmäisäänienpainetasoa. Mikäli olisi käytetty mitattua ekvivalenttia taustaäänitasoa, ongelmia olisi tullut erityisesti suurilla taajuuksilla, joilla askelääniherätteen vaikutus oli hyvin pieni eli herätteen tuottamaa askelääntä ei kantautunut juuri lainkaan vastaanottohuoneeseen. Tällöin mitattu taustaäänitaso olisi siis voinut hyvinkin ylittää herätteen tuottaman äänenpainetason. Erityisesti ajan funktiona mitattuja äänenpainetasoja korjattaessa tämä ongelma olisi tullut esille. Ongelmatapauksissa, joita tästä menettelystä huolimatta syntyi, määriteltiin taustakorjauksen tuottaman äänenpainetason suuruudeksi kyseiselle taajuuskaistalle 0 dB. Tällaisia tilanteita mittausdatan käsittelyssä esiintyi kuitenkin vain vähän. Jos äänispektirin yhden taajuuskaistaisen arvon suuruus on 0 dB, sen vaikutus spektrille määritettyyn äänenpainetasojen energieettiseen summaan ja äänekkyyteen on pieni.

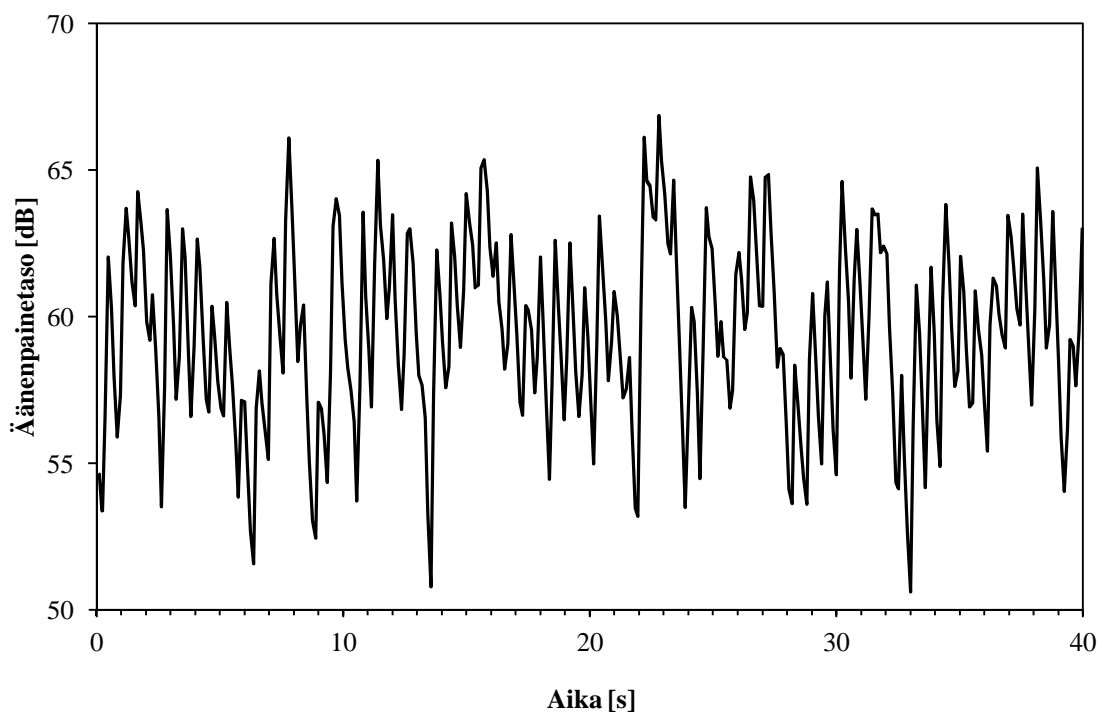
### 3.8.2 Askeläänen äänekkyyden ja äänekkyytason laskenta

Ihminen ei aisti äänen tuottamaa äänekkyyttä samalla asteikolla kuin äänenpainetaso vaan aistimusta kuvaamaan on kehitetty objektiivinen suure äänekkyyys  $N$  [soni] (engl. loudness), joka kuvaa äänen subjektiivista äänenvoimakkuutta [15, 29]. Äänekkyyden perusteella voidaan laskea myös toinen psykoakustinen suure: äänekkyytason  $L_N$  [foni] (engl. loudness level).

Äänekkyyden ja äänekkyytason laskentaan on esitetty laskentamenetelmä standardissa ISO 532 [22]. Standardissa on esitetty Stevensin menetelmä (menetelmä A) ja Zwickerin menetelmä (menetelmä B), jotka pohjautuvat 1960-luvun vaihteessa julkais-

tuihin tutkimuksiin. Menetelmillä voidaan määrittää oktaavi- tai kolmannesoktaavikais-toittain mitatuista äänenpainetasoista spektrin äänekkyyys ja äänekkyytaso. Näistä menetelmistä tarkempi on Zwickerin menetelmä, jossa äänekkyyys määritetään graafisesti äänekkyyysdiagrammeja käyttäen. Standardissa esitetyt menetelmät soveltuvat stationäärisille äänille.

Todellista askelääntä ei voida pitää stationäärisenä äänenä. Esimerkiksi kävelystä aiheutuu hetkellisiä huippuja, jotka tekevät signaalista ajallisesti vaihtelevan (kuva 3.10). Tällöin ekvivalenttien äänenpainetasojen perusteella määritetty askeläänen äänekkyyys ei vastaa ihmisen kokemusta sen äänekkyydestä. Sen sijaan askeläänikojeen tuottamaa askelääntä voidaan pitää stationäärisenä, koska kojeen tuottama iskutiheys on suuri verrattuna esimerkiksi kävelyn [24]. Sen vuoksi askeläänikojeen tuottaman äänen äänekkyyden arviointiin voidaan käyttää stationääriselle äänelle soveltuvaa laskentamenetelmää.



**Kuva 3.10.** Kävelyn tuottaman askeläänen kokonaisäänepainetaso  $F$ -aikapainotettuna ajan funktiona. Kuvassa on esitetty yksi mittaus kävelijän W1 sukilla kävelystä parkettipäällysteisellä välipohjalla VP4.

Moore et al. ovat julkaisseet useita äänekkyyden laskentaa koskevia tutkimuksia [18, 45, 46]. Tutkimuksissaan he ovat käsitelleet sekä stationäärisen että ajallisesti vaihtelevan äänen äänekkyyden arviointia. He ovat myös julkaisseet ohjelmoimansa ohjelmat äänekkyyden laskentaan. Näistä ohjelmista mainittakoon muun muassa TVL (Time-Varying Loudness), jolla voidaan arvioida ajallisesti vaihtelevan signaalin äänekkyyttä ja Loud2006a (Loudness model calculated according to ANSI S3.4-2007), jolla

voidaan laskea äänekkyyden stationääriselle äänelle amerikkalaisen standardin ANSI S3.4 [1] mukaan.

Glasbergin et al. mukaan ajallisesti vaihtelevan signaalin äänekkyyden määräytyy signaalin hetkellisesti äänekkäimpien äänispektrien perusteella [18]. Myös Zwickerin mukaan amplitudimoduloidun signaalin, jonka modulaatiotaajuus on alle 10 Hz, ja jollaisena muun muassa kävelyn tuottamaa ääntä voidaan pitää, äänekkyyden määräytyy ensimmäisäänispektrien perusteella [15, 70]. Tällä perusteella voidaan laskea myös todellisen askeläänien äänekkyyden käyttäen stationääriselle äänelle soveltuvaa äänekkyyden laskentamenetelmää määrittämällä äänekkyyden ensimmäisäänispektrien kautta. Ajallisesti vaihteleville signaaleille soveltuvaa äänekkyyden laskentaohjelmaa TVL ei tässä käytetty, koska sen avulla äänekkyyden olisi tullut määrittää koko mittausaikaan, joka siis myös sisälsi taustäänen. Sitä vastoin tutkimuksessa äänekkyyden arviointiin käytettiin amerikkalaisen standardin mukaista menetelmää ja askeläänien äänekkyyden määritettiin taustakorjatuille äänille ohjelmalla Loud2006a.

Ohjelmalla Loud2006a laskettiin taustakorjatun askeläänien äänekkyyden syöttämällä äänispektrit ohjelmaan kolmannesoktaavikaistoittain keskitäajuuksilla 50–16000 Hz. Lisäksi ohjelmalla laskiessa oletettiin, että vastaanottohuoneen äänikenttä oli diffuusi ja että mittauspaikalla ääni kuultiin binauraalisesti eli sama ääni kuultiin molemmissa korvissa yhtä aikaa. Tutkimuksessa askeläänin tuottaman askeläänien äänekkyyden  $N$  ja äänekkyyden taso  $L_N$  laskettiin ohjelmalla käyttämällä syötteenä askeläänin tuottamaa taajuuskaistaista ekvivalenttia äänenpainetasoa.

### 3.8.3 Ekvivalentin äänenpainetason määrittäminen

Askeläänieräkkeiden tuottamille äänille määritettiin taajuuskaistainen ekvivalentti äänenpainetaso eli keskiäänepainetaso  $L_{eq,i}$  [dB] laskemalla kaavan (3.1) mukaisesti kanavittain taustakorjatuista keskiäänepainetasoista  $L_{eq,j}$  [dB] kolmannesoktaavikaistoittain  $i$  energettinen keskiarvo kaavalla (3.2):

$$L_{eq,i} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_{eq,j}/10} \right) \quad (3.2)$$

jossa

$n$  on tehtyjen mittausten lukumäärä

Askeläänin tapauksessa taajuuskaistainen ekvivalentti äänenpainetaso laskettiin kolmannesoktaavikaistoittain kaavalla (3.2) kutakin kuvassa 3.4 esitettyä lähetyspaikkaa kohden kahdesti kaksikanavaisesti mitatuista ja taustakorjatuista keskiäänepainetasoista, jolloin tehtyjen mittausten lukumäärä  $n$  oli siis kuusitoista. Muiden askeläänieräkkeiden tapauksessa ekvivalentti äänenpainetaso laskettiin kahdesti kaksikanavaisesti mitatuista ja taustakorjatuista ekvivalenteista äänenpainetasoista, jolloin



tehtyjen mittausten lukumäärä oli kutakin askelääniherätettä ja välipohjarakennetta kohden neljä.

Muodostetuista taajuuskaistaisista ekvivalenteista äänenpainetasoista  $L_{eq,i}$  määritettiin ekvivalentti kokonaisäänepainetaso  $L_{eq}$  [dB] laskemalla niistä logaritminen summa kaavan (3.3) mukaisesti:

$$L_{eq} = 10 \lg \left( \sum 10^{L_{eq,i}/10} \right) \quad (3.3)$$

Lasketuista kolmannesoktaavikaistaisista ekvivalenteista äänenpainetasoista  $L_{eq,i}$  muodostettiin lisäksi taajuuskaistoittain A-painotettu ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{A,eq,i}$  [dB] lisäämällä niihin A-painotus keskitaajuuksittain. A-painotus on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain keskitaajuuksilla 20–20000 Hz taulukossa 3.3.

**Taulukko 3.3.** A-painotus kolmannesoktaavikaistoittain keskitaajuuksilla 20–20000 Hz.

Taajuus [Hz]	A-painotus [dB]
20	-51,0
25	-44,7
31,5	-39,4
40	-34,6
50	-30,2
63	-26,2
80	-22,5
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8
1000	0,0
1250	0,6
1600	1,0
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1,0
5000	0,5
6300	-0,1
8000	-1,1
10000	-2,5
12500	-4,3
16000	-6,6
20000	-9,3

Samaan tapaan kuin ekvivalenttia kokonaisäänepainetasoa määritettäessä kolmannesoktaavikaistoittain muodostetuista A-painotetuista ekvivalenteista äänenpainetasoista  $L_{A,eq,i}$  muodostettiin myös A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$  [dB] lasquemalla taajuuskaistaisista arvoista logaritminen summa kaavan (3.4) mukaisesti.

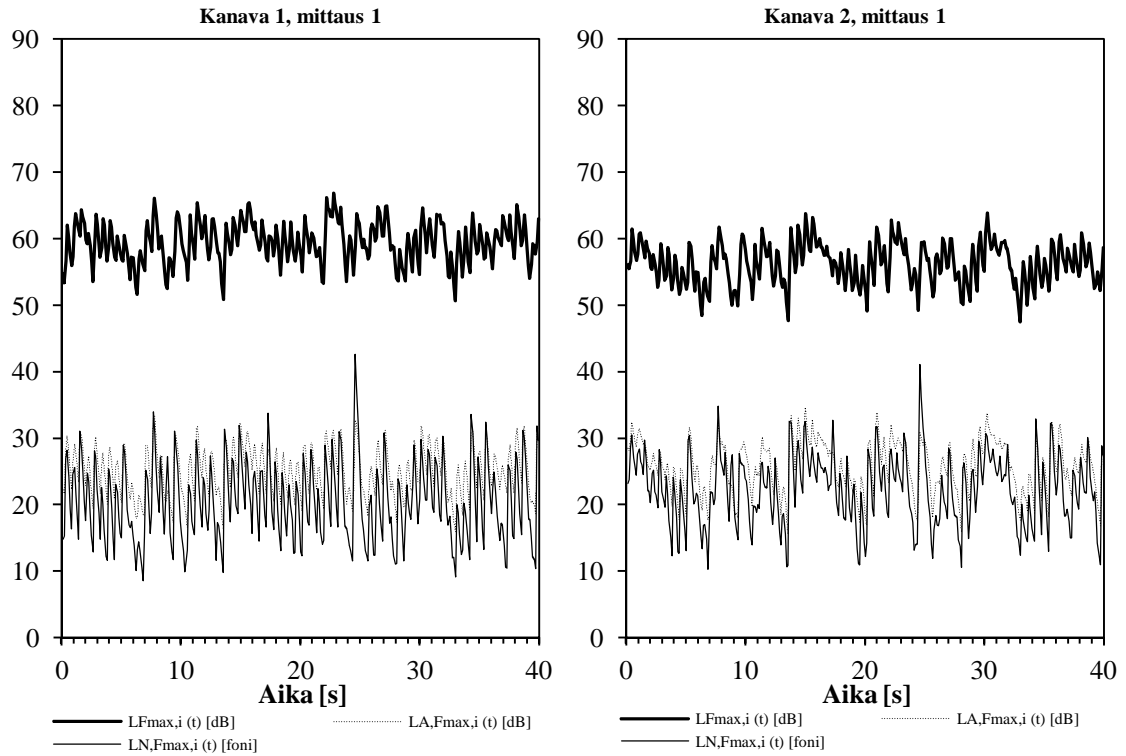
### 3.8.4 Enimmäisäänepainetason määrittäminen

Tutkimuksessa eri askelääniherätteiden enimmäisäänepainetaso määritettiin hakemalla ajan funktiona fast-aikapainotuksella kolmannesoktaavikaistoittain mitatuista, taustakorjatuista äänenpainetasoista hetkelliset enimmäisspektrit ja muodostamalla näistä keskiarvospektri. Tämä toimenpide suoritettiin ensimmäiselle ja toiselle mittaukselle mittauskanavittain. Kävelyn tapauksessa tämä tarkoitti jokaisen mittauksen aikana astutun askelen, pallon pompottamisen tapauksessa jokaisen pallon välipohjarakenteeseen tuottaman iskun ja tuolin siirron tapauksessa kunkin siirtovaiheen enimmäisspektrin hakemista.

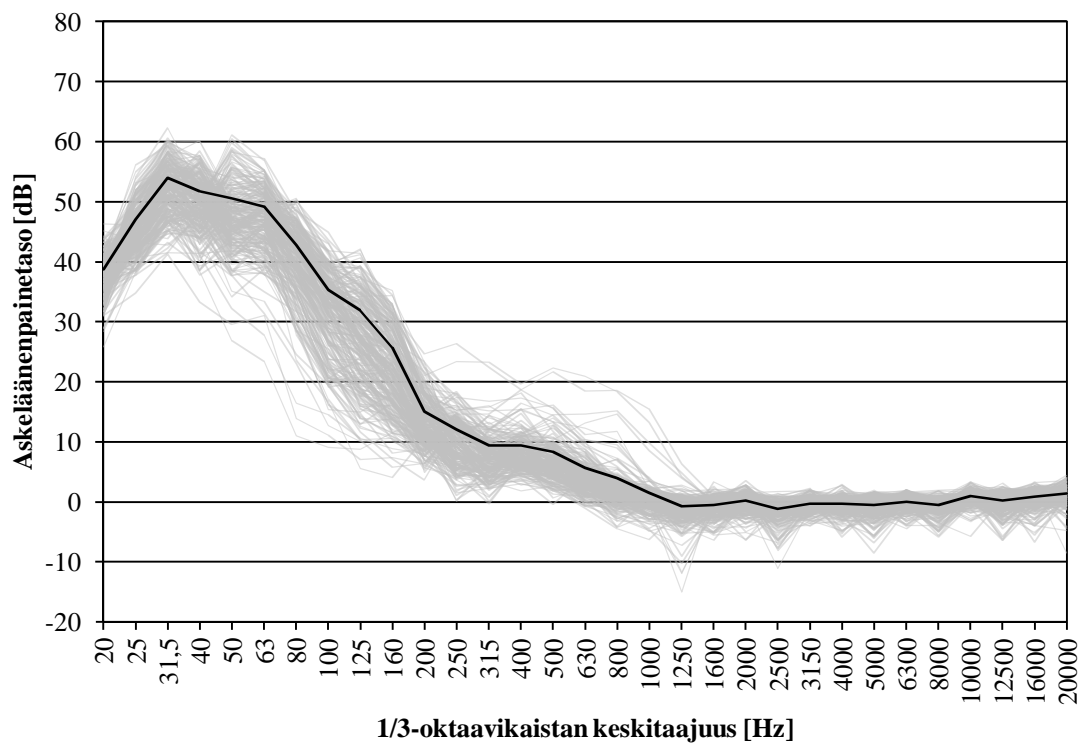
Hetkellistä enimmäisspektriä ei kuitenkaan voida hakea yksiselitteisesti, vaan sille täytyy antaa jokin hakukriteeri, joka määrittää spektrin suuruuden. Hakukriteereinä käytettiin ajan funktiona määritettyä askeläänispektrille muodostettua logaritmistä summaa  $L_{Fmax,i}(t)$  [dB], A-painotettua logaritmistä summaa  $L_{A,Fmax,i}(t)$  [dB] ja äänekkyyystasoa  $L_{N,Fmax,i}(t)$  [foni]. Logaritminen summa laskettiin luvussa 3.8.3 esitetyllä tavalla. Äänekkyyystason laskenta on esitetty luvussa 3.8.2.

Ajan funktiona määritetyistä hakukriteereistä haettiin hetkelliset maksimi- ja minimikohdat. Mikäli datassa ilmeni kuitenkin kaksoishuippuja eli kaksi hetkellistä maksimikohtaa vierekkäin, poimittiin näistä ainoastaan suurempi. Esimerkki ajan funktiona määritetyistä hakukriteereistä on esitetty kuvassa 3.11.

Kun maksimikohdat oli haettu kullakin eri hakuperusteella, poimittiin ne hetkelliset enimmäisspektrit, joiden perusteella maksimikohtien hakukriteerien arvot oli muodostettu. Tämän jälkeen kaikista askelääniherätteen tuottamalle äänelle määritetyistä hetkellisistä enimmäisspektreistä laskettiin taajuuskaistoittain energieettinen keskiarvo, jota pidettiin enimmäisäänepainetasospektrinä kyseisen herätteen tuottamalle äänelle. Tällä menetelmällä saatiin siis kolme erilaista enimmäisäänepainetasospektriä:  $L_{Fmax}$  ( $L_{Fmax,i}$ ),  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ), yksi jokaiselle hakukriteerille. Kuvassa 3.12 on esitetty esimerkki äänekkyyystason hakukriteerillä haetuista hetkellisistä enimmäisspektreistä ja niistä lasketusta energieettisestä keskiarvosta.



**Kuva 3.11.** Esimerkki kävelyn tuottamasta äänestä ajan funktiona kolmella eri hakukriteerillä (ensimmäisen mittauksen tulokset kanavilla 1 ja 2). Kuvassa kävelijän W1 sukilla kävely välipohjarakenteella VP4.



**Kuva 3.12.** Esimerkki kävelyn tuottamista hetkellisistä enimmäisspektreistä (harmaat viivat) ja niistä lasketusta enimmäisäänepainetasospektristä  $L_{Fmax}$  (musta viiva). Kuvan tulokset on haettu äänekkyytason hakukriteerillä ( $L_{N,Fmax,i}$ ).

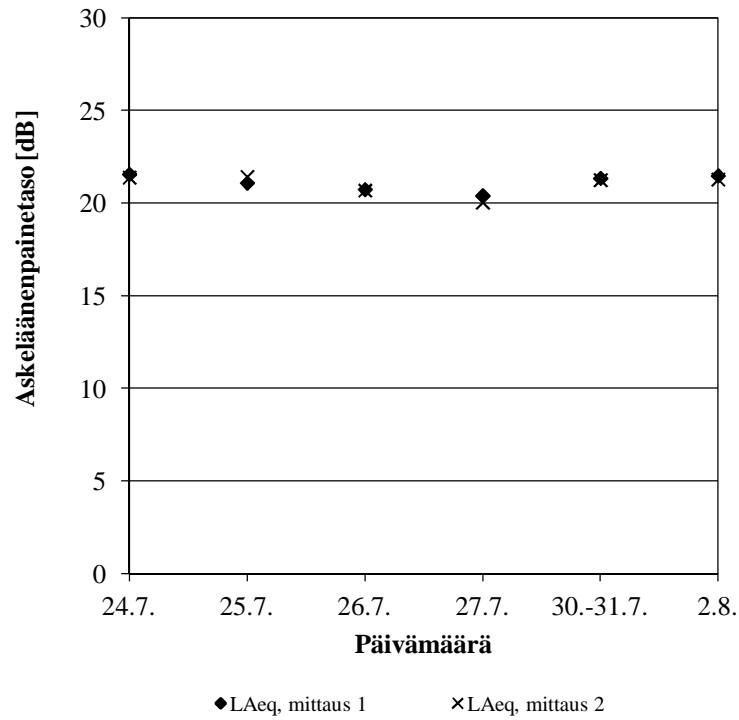
Hetkellisistä enimmäisspektreistä muodostetusta enimmäisäänepainetasospektristä saatiin yksilukuiset mittaluvut enimmäisäänepainetaso  $L_{F_{\max}}$  [dB] ja A-painotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,F_{\max}}$  [dB] laskemalla muodostetun enimmäisäänepainetasospektrin kolmannesoktaavikaistaisista äänenpainetasoista logaritminen summa kaavan (3.3) tapaan.

Enimmäisäänepainetasospektrin etuna verrattuna ekvivalenttiin äänenpainetasospektriin on se, että se mahdollistaa paremmin eri askelääniherätteiden tuottamien äänispektrien ja niistä muodostettujen psykoakustisten mittalukujen vertailun, koska tällöin tulos ei riipu niin suuresti mitatun askelääniherätteen iskutiheydestä. Toisin sanoen enimmäisäänepainetasospektrin tapauksessa ei ole väliä, kuinka monta askelta kukin kävelijä kävelee, kuinka monta pallon iskua välipohjarakenteeseen kohdistuu tai kuinka monta liikesarjaa tuolin siirrossa tehdään mittauksen aikana.

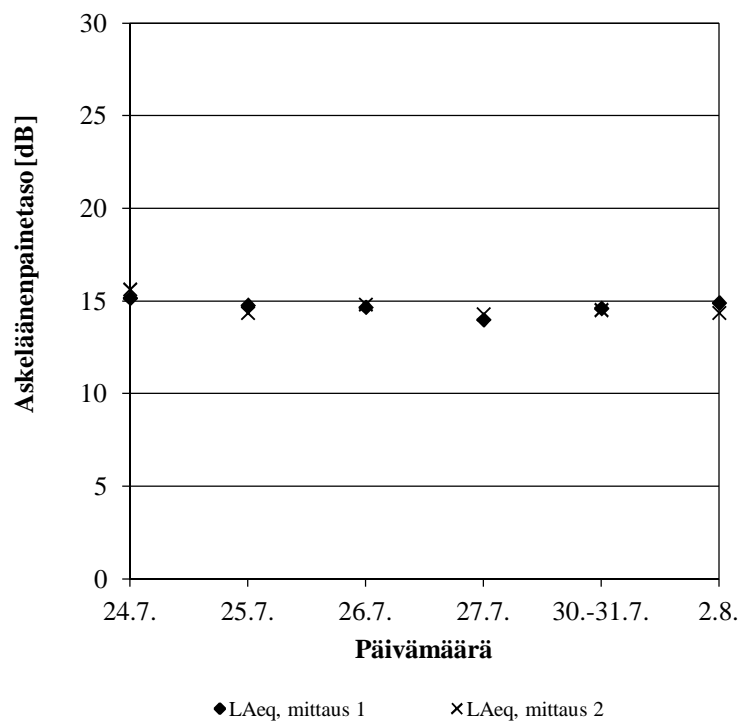
### 3.9 Kävelyn toistettavuus

Tutkimuksessa selvitettiin myös kävelyn toistettavuutta, jonka avulla voitiin arvioida saatujen kävelyspektrien luotettavuutta. Toisin sanoen selvitettiin sitä, miten paljon kävelyn tuottama askelääni riippuu muun muassa mittauksen ajankohdasta. Tutkimuksessa kävelyn toistettavuutta arvioitiin mittaamalla kaikkien kävelijöiden kävelyn tuottamaa askelääntä kaksikanavaisesti raakavälipohjalla luvussa 3.6.2 esitetyllä tavalla. Raakavälipohjalla käveltäessä käytettiin jalanpäällysteinä pehmeäpohjaisia kenkiä. Mittauksen aikana vastaanottohuoneessa oli sama lisävaimennus kuin askeläänispektritutkimuksessa eli villapaalit huoneen nurkissa. Mittauksia tehtiin tutkimuksen aikana yhteensä kuusi kertaa ja jokaisella kerralla kukin kävelijä käveli rakenteella kahdesti. Kahden kävelyn välinen aika oli noin 5–10 minuuttia kaikilla paitsi yhdellä mittauksella, jossa toinen kävelyistä tehtiin edellisenä päivänä.

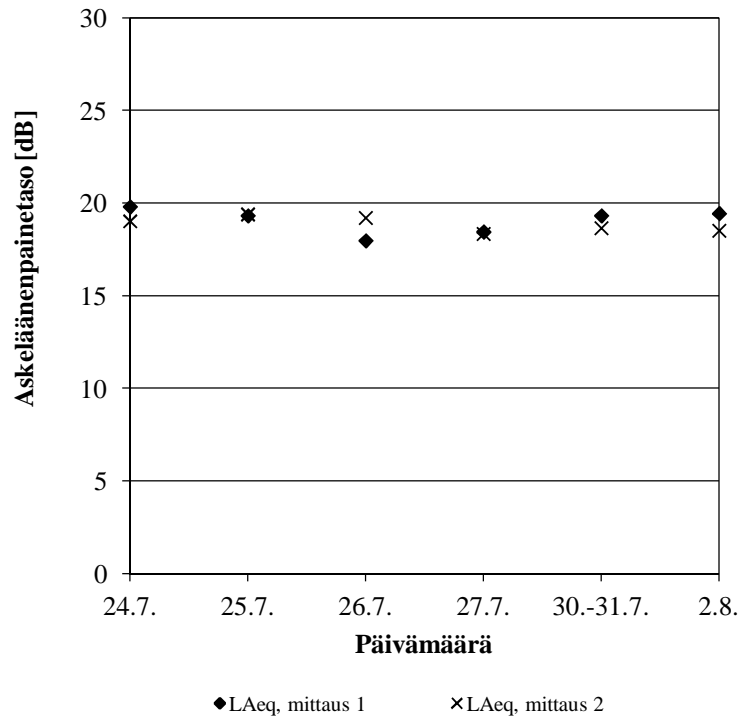
Kunkin koekävelijän kävelyistä määritettiin kävelyn tuottamat A-painotetut ekvivalentit kokonaisäänitasot  $L_{A,eq}$  jokaiselle mittaukselle (kuvat 3.13–3.15) [30]. Ne muodostettiin ottamalla taajuuksittain energeettinen keskiarvo mikrofoni paikoilla mitatuista ja taustakorjatuista äänenpainetasoista ja muodostamalla näin saadusta äänenpainetasosta A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$  yhdelle mittauskerralle. Kaikista eri päivinä saaduista A-painotetuista ekvivalenteista kokonaisäänitasoista  $L_{A,eq}$  laskettiin lisäksi keskiarvot ja keskihajonnat (taulukko 3.4). Lisäksi muodostettiin samana päivänä mitattujen A-painotettujen kokonaisäänitasojen erotuksista keskiarvot, keskihajonnat, minimi- ja maksimiarvot sekä maksimierot kaikille kävelijöille (taulukko 3.5). Kovalainen on tutkinut kävelyn toistettavuutta tarkemmin lähteessä [30].



**Kuva 3.13.** Kävelijän W1 kävelyn toistettavuus eri päivinä mitatun A-painotetun ekvivalentin kokonaisäänitason  $L_{A,eq}$  perusteella [30].



**Kuva 3.14.** Kävelijän W2 kävelyn toistettavuus eri päivinä mitatun A-painotetun ekvivalentin kokonaisäänitason  $L_{A,eq}$  perusteella [30].



**Kuva 3.15.** Kävelijän W3 kävelyn toistettavuus eri päivinä mitatun A-painotetun ekvivalentin kokonaisäänitason  $L_{A,eq}$  perusteella [30].

**Taulukko 3.4.** Koekävelijöiden kävelyn toistettavuus eri päivinä mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella [30].

Kävelijä	Keskiarvo [dB]	Keskihajonta [dB]
W1	21,1	0,5
W2	14,7	0,4
W3	19,0	0,6

**Taulukko 3.5.** Koekävelijöiden kävelyn toistettavuus samana päivänä mitattujen mittaluvun  $L_{A,eq}$  erotusten perusteella [30].

Kävelijä	Erotusten keskiarvo [dB]	Erotusten keskihajonta [dB]	Erotusten minimiarvo [dB]	Erotusten maksimiarvo [dB]	Erotusten maksimiero [dB]
W1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,3
W2	0,3	0,2	0,1	0,5	0,5
W3	0,6	0,5	0,1	1,2	1,2

Taulukossa 3.3 esitettyjen tulosten perusteella kaikkien kävelijöiden kävely oli hyvin toistettavaa, koska kävelyn perusteella saatu A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$  ei juuri vaihdellut. Kaikkien kävelijöiden tuottamien mittalukujen keskihajonta eri päivien välillä oli vain noin 0,5 dB. Tämän perusteella voidaan todeta, että mittauksen ajankohta ei juuri vaikuttanut kävelyn perusteella saatuihin mittalukuihin ja että koekävelijöiden kävelytyyli oli vakio. Myös perättäisten mittauksen perusteella kävelijöiden kävelytyyli oli vakio (taulukko 3.4). Kahden perättäisen mittauksen erotusten

keskihajonta mittaluvulla  $L_{A,eq}$  oli 0,1–0,5 dB ja perättäisten mittausten ero oli suurimmillaan 0,3–1,2 dB.

### 3.10 Rakennusakustisten mittalukujen määrittäminen

Välipohjarakenteiden askelääneneristystä kuvaavat rakennusakustiset mittaluvut määritettiin standardin ISO 717-2 [13] mukaisesti luvussa 2.3.1 esitetyllä tavalla. Kullekin välipohjalle selvitettiin sen askeläänitasolukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{nT,w}$  lisäksi spektripainotustermit  $C_I$  ja  $C_{I,50-2500}$  ja askelääneneristävyyden parannusluku  $\Delta L_w$ . Mittaluvut laskettiin sekä 1 dB:n että 0,1 dB:n tarkkuudella. 0,1 dB:n tarkkuudella laskettaessa menetelmä oli muutoin sama kuin luvussa 2.3.1 esitetty, mutta vertailukäyrämenettely tehtiin siirtäen vertailukäyrää 0,1 dB:n pykälän.

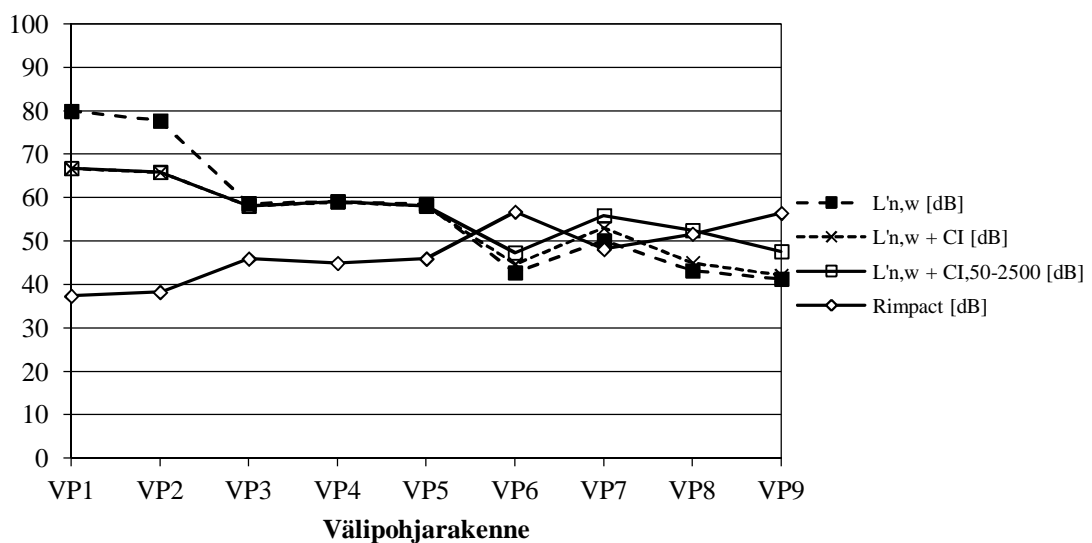
Lisäksi jokaiselle välipohjalle laskettiin standardiehdotuksen [59] mukaiset rakennusakustiset mittaluvut askelääneneristysluku  $R_{\text{impact}}$  ja standardisoitu askeläänitasoero  $D_{nT,\text{impact}}$  sekä askelääneneristävyyden parannusluku  $\Delta R_{\text{impact}}$  luvun 2.3.2 mukaisesti. Myös ehdotetun menetelmän mukaiset mittaluvut laskettiin 1 dB:n ja 0,1 dB:n tarkkuudella.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Välipohjien rakennusakustiset mittaluvut

Tulokset välipohjarakenteiden VP1...VP9 askelääneneristykselle on esitetty liitteessä 1. Liitteessä olevat englanninkielisten merkintöjen suomenkieliset vastineet on esitetty liitteen 1 alussa. Kaikki liitteen tulokset laskettiin luvuissa 2.2, 2.3 ja 3.10 esitettyjen menetelmien mukaisesti. Liitteessä kullekin välipohjalle on esitetty nykystandardin ISO 717-2 [13] mukaiset (normalisoidut) rakennusakustiset mittaluvut  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_I$ ,  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $\Delta L_w$  ja askeläänepainetasot sekä standardisoidut mittaluvut  $L'_{nT,w}$ ,  $L'_{nT,w} + C_I$  ja  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ja askeläänepainetasot. Liitteessä on esitetty myös standardiehdotuksen [59] mukaiset rakennusakustiset mittaluvut  $R_{\text{impact}}$ ,  $D_{nT,\text{impact}}$  ja  $\Delta R_{\text{impact}}$ . Kaikki mittaluvut lukuun ottamatta askelääneneristävyuden parannuslukua  $\Delta L_w$  määritettiin sekä 1 dB:n että 0,1 dB:n tarkkuudella.

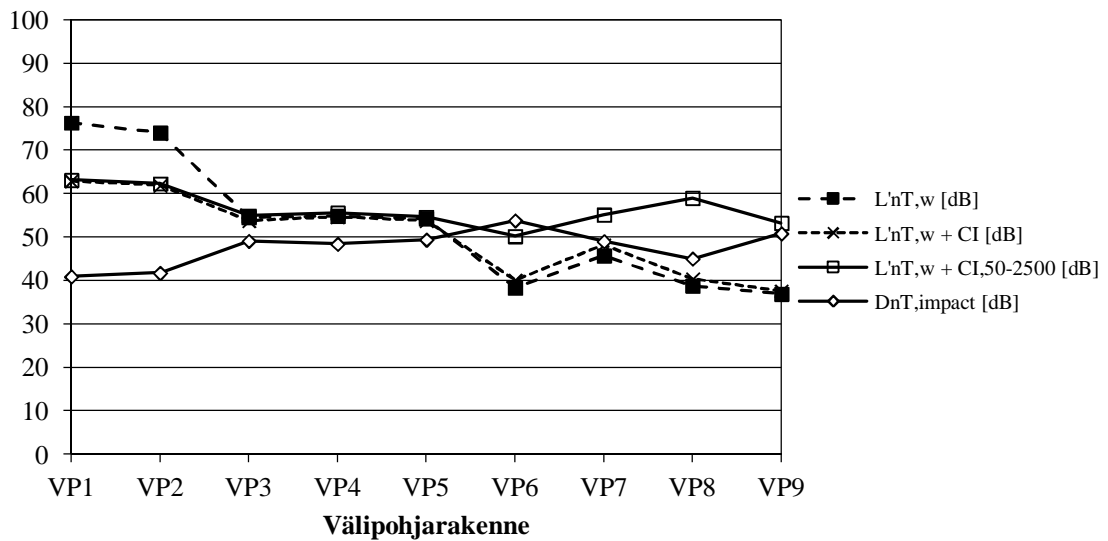
Välipohjarakenteille saadut tulokset on esitetty koottuna 0,1 dB:n tarkkuudella kuvissa 4.1–4.2. Kuvassa 4.1 on esitetty nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset normalisoidut rakennusakustiset mittaluvut ja kuvassa 4.2 vastaavasti standardisoidut mittaluvut. Kuvia tulkittaessa tulee ottaa huomioon, että nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen mukaan välipohjarakenteen askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienempi on sille määritetty mittaluku, kun taas standardiehdotuksen mukaisten mittalukujen perusteella välipohjarakenteen askelääneneristys on sitä parempi, mitä suurempi on sille määritetty mittaluku.



**Kuva 4.1.** Välipohjien VP1...VP9 askelääneneristys, normalisoidut rakennusakustiset mittaluvut 0,1 dB:n tarkkuudella. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi mitä



pienemmät nykystandardin mukaiset mittaluvut  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_b$ ,  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ovat ja mitä suurempi standardiehdotuksen mukainen mittaluku  $R_{impact}$  on.



**Kuva 4.2.** Välipohjien VP1...VP9 askelääneneristys, standardisoidut rakennusakustiset mittaluvut 0,1 dB:n tarkkuudella. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi mitä pienemmät nykystandardin mukaiset mittaluvut  $L'_{nT,w}$ ,  $L'_{nT,w} + C_b$ ,  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ovat ja mitä suurempi standardiehdotuksen mukainen mittaluku  $D_{nT,impact}$  on.

## 4.2 Välipohjien psykoakustiset mittaluvut

Tulokset välipohjarakenteiden askelääneneristykselle eri askelääniherätteiden tuottaman askeläänen perusteella on esitetty liitteissä 2...10. Liitteissä olevat englanninkielisten merkintöjen suomenkieliset vastineet on esitetty liitteen 1 alussa. Liitteissä 2...10 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain keskitäajuuksilla 20–20000 Hz kunkin askelääniherätteen tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  [dB], A-painotettu ekvivalentti äänitaso  $L_{A,eq}$  [dB] sekä kolme erilaista enimmäisäänepainetasospekttriä  $L_{Fmax}$  [dB] käyttäen hakukriteerinä ajallisesti vaihdelleen äänispektrin perusteella muodostettua logaritmistä summaa ( $L_{Fmax,i}$ ), A-painotettua logaritmistä summaa ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja äänekkyydestä ( $L_{N,Fmax,i}$ ). Lisäksi kunkin herätteen tapauksessa on vertailukohtana esitetty askeläänikojen tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  kyseisellä rakenteella.

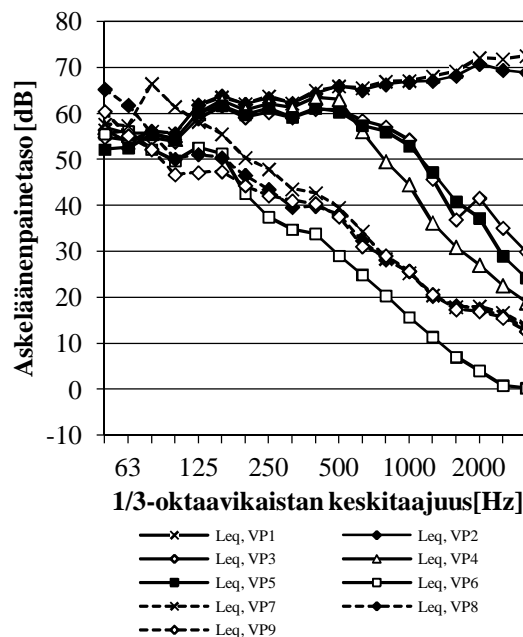
Liitteissä esitetyistä äänispektreistä määritettiin yksilukuiset mittaluvut. Ekvivalenteista taajuuskaistaisista äänenpainetasoista  $L_{eq}$  määritettiin mittaluvut ekvivalentti kokonaisäänepainetaso  $L_{eq}$  [dB], A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$  [dB], äänekkyyden  $N$  [soni] ja äänekkyydestä  $L_N$  [foni]. Enimmäisäänepainetasospektreistä määritettiin äänekkyyden ja äänekkyydestä lisäksi mittaluvut F-aikapainotettu enimmäisäänepainetaso  $L_{Fmax}$  [dB] ja A-painotettu F-aikapainotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,Fmax}$  [dB]. Liitteissä esitetty merkintä *en* tarkoittaa sitä, että tulokset saatiin laskemalla energeettiset keskiarvot yksittäisistä mittauksista tai hetkellisistä enimmäisspektreis-

tä. Liitteissä on esitetty myös vertailun vuoksi välipohjalle määritetyt rakennusakustiset mittaluvut.

Luvuissa 4.2.1–4.2.6 on esitetty eri askelääniherätteiden tuottamat äänispektrit ja niistä lasketut psykoakustiset mittaluvut koottuina. Luvussa 4.2.1 esitetyt psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$  ja  $L_N$  laskettiin askeläänikojeen tuottaman ekvivalentin äänenpainetason perusteella. Luvuissa 4.2.2–4.2.6 on esitetty kävelyn, pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman äänen perusteella saadut psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kullakin välipohjarakenteella. Näistä A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$  laskettiin askelääniherätteen tuottaman taajuuskaistaisen ekvivalentin äänenpainetason perusteella, A-painotettu fast-aikapainotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) laskettiin hakukriteerin  $L_{A,Fmax,i}$  perusteella saadun enimmäisäänepainetasospektrin ja äänekkyystaso  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) hakukriteerin  $L_{N,Fmax,i}$  saadun enimmäisäänepainetasospektrin perusteella.

#### 4.2.1 Askeläänikojeen tuottama ääni

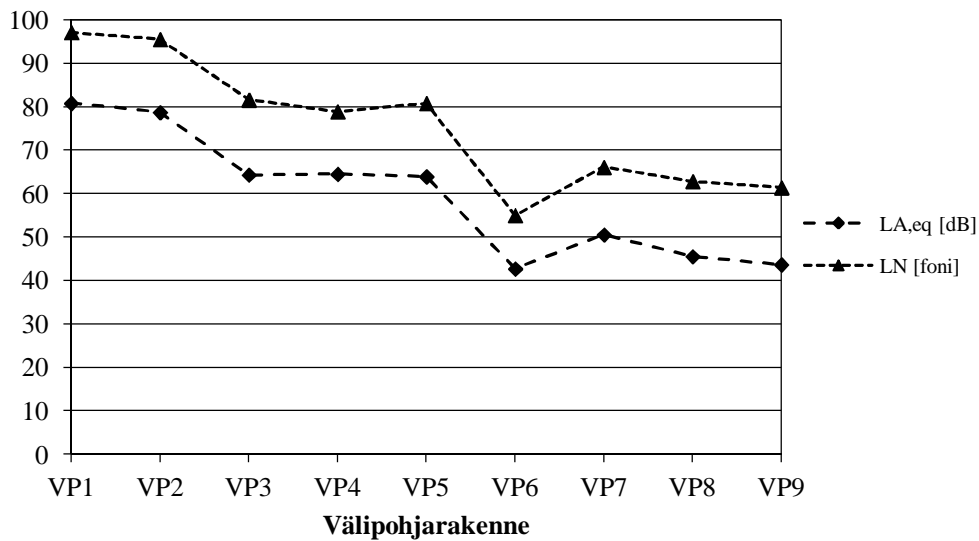
Kuvassa 4.3 on esitetty askeläänikojeen tuottama ekvivalentti äänenpainetasospektri  $L_{eq}$  välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta askeläänikojeen tuottamaan ääneen.



**Kuva 4.3.** Askeläänikojeen tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Askeläänikojeen tuottaman äänispektrin perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$  ja  $L_N$  välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.4). Mittaluvut laskettiin kullekin välipohjalle askeläänikojeen tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin perus-

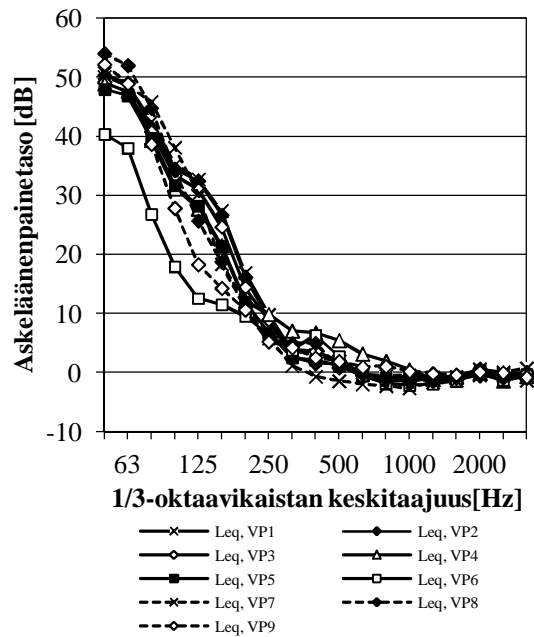
teella. Välipohjan askelääneneristys on askeläänikojeen tuottaman äänen kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.



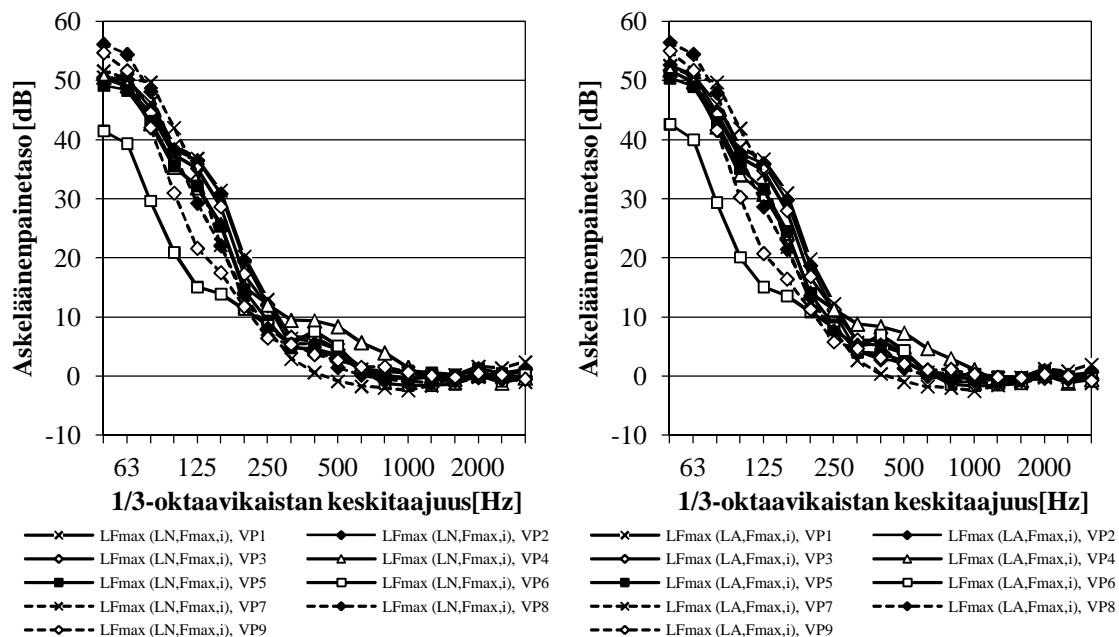
**Kuva 4.4.** Askeläänikojeen tuottaman askeläänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

#### 4.2.2 Sukilla kävelyn tuottama ääni

Kuvassa 4.5 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W1 sukilla kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.6 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaa-tasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta sukilla kävelyn tuottamaan ääneen.



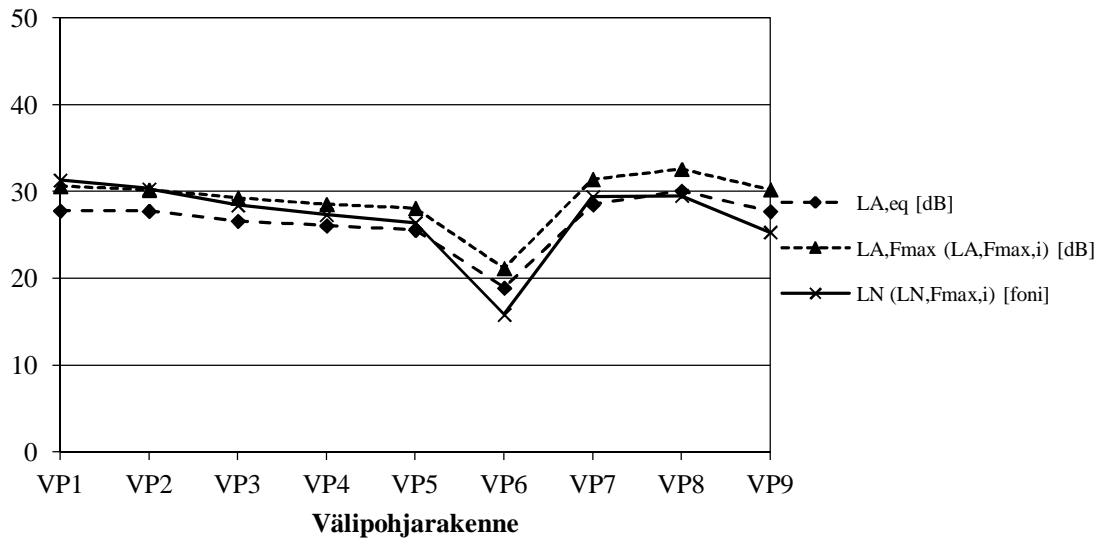
**Kuva 4.5.** Kävelijän W1 sukilla kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.6.** Kävelijän W1 sukilla kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}(L_{A, Fmax,i})$  ja  $L_{Fmax}(L_{N, Fmax,i})$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

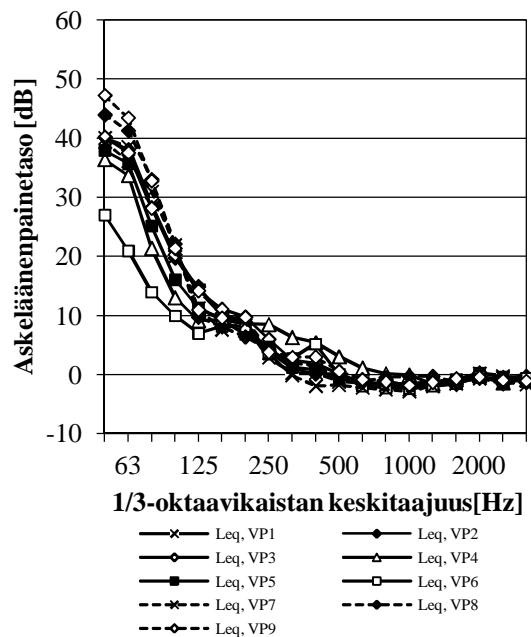
Kävelijän W1 sukilla kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.7). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin sukilla kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä.

Välipohjan askelääneneristys on sukilla kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.

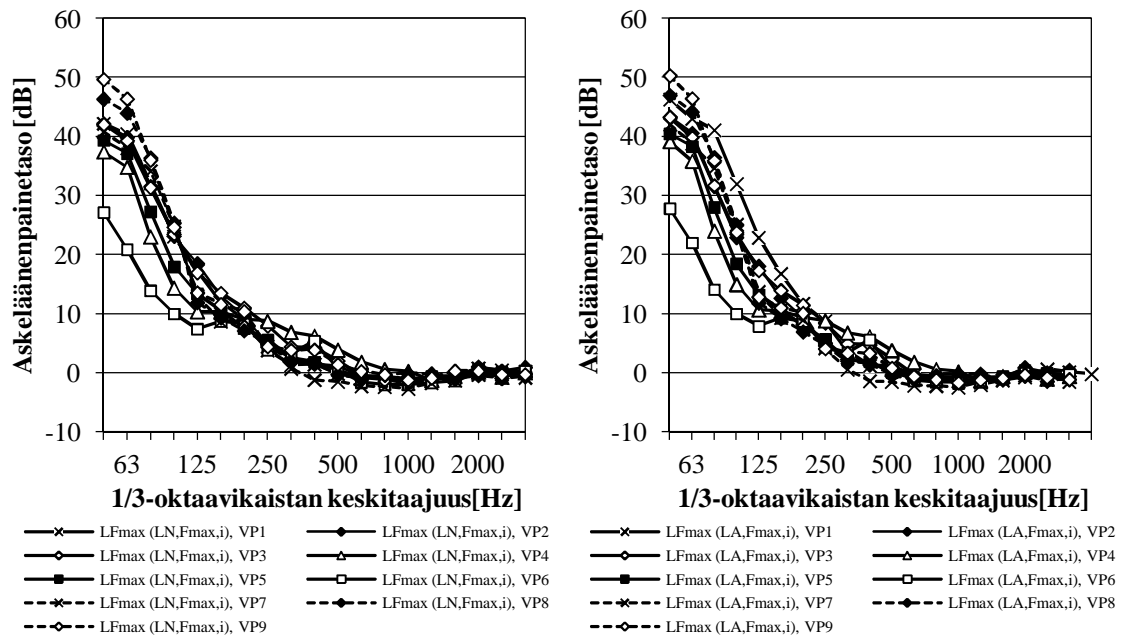


**Kuva 4.7.** Kävelijän W1 sukilla kävelyn tuottaman askeläänän perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

Kuvassa 4.8 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W2 sukilla kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.9 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta sukilla kävelyn tuottamaan ääneen.

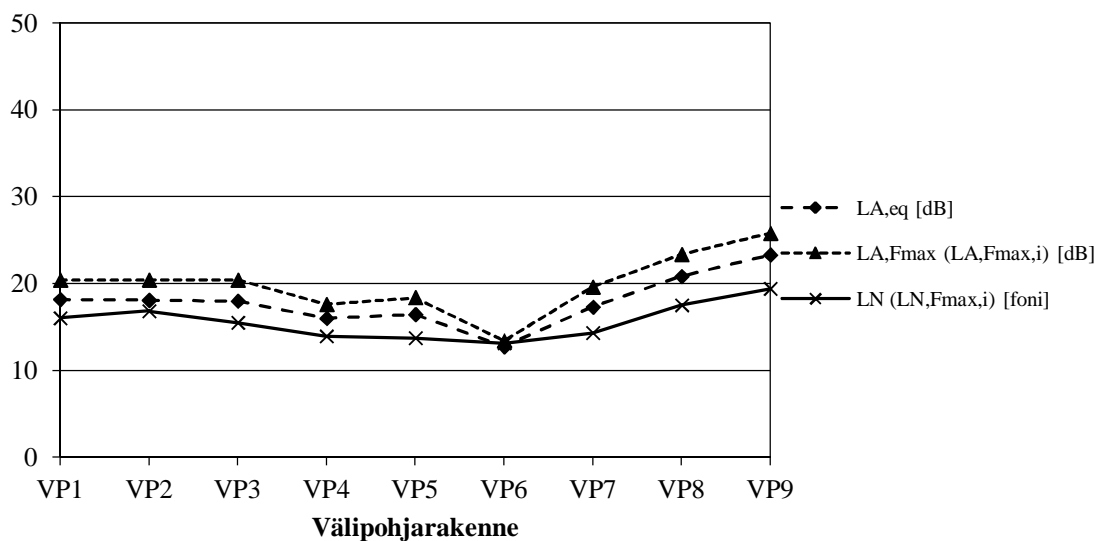


**Kuva 4.8.** Kävelijän W2 sukilla kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



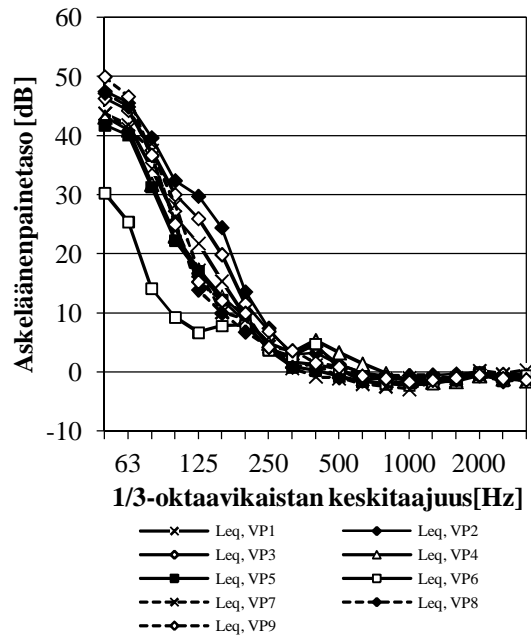
**Kuva 4.9.** Kävelijän W2 sukilla kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}(L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_{Fmax}(L_{N,Fmax,i})$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Kävelijän W2 sukilla kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}(L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_N(L_{N,Fmax,i})$  välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.10). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin sukilla kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}(L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_N(L_{N,Fmax,i})$  enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}(L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_{Fmax}(L_{N,Fmax,i})$  perusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on sukilla kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.

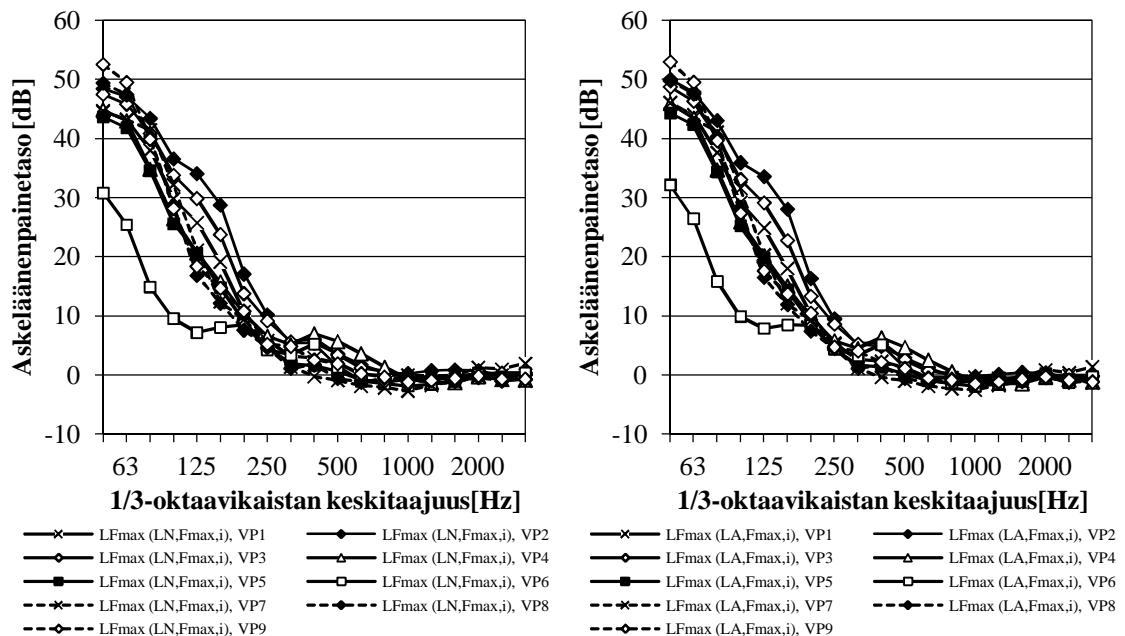


**Kuva 4.10.** Kävelijän W2 sukilla kävelyn tuottaman askeläänien perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

Kuvassa 4.11 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W3 sukilla kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.12 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta sukilla kävelyn tuottamaan ääneen.

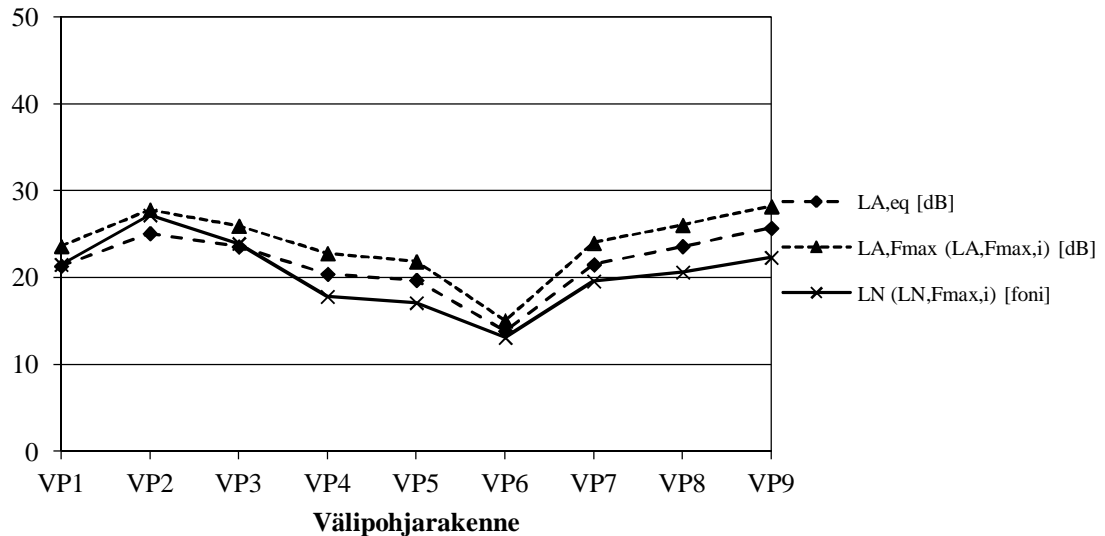


**Kuva 4.11.** Kävelijän W3 sukilla kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.12.** Kävelijän W3 sukilla kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Kävelijän W3 sukilla kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.13). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin sukilla kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on sukilla kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.

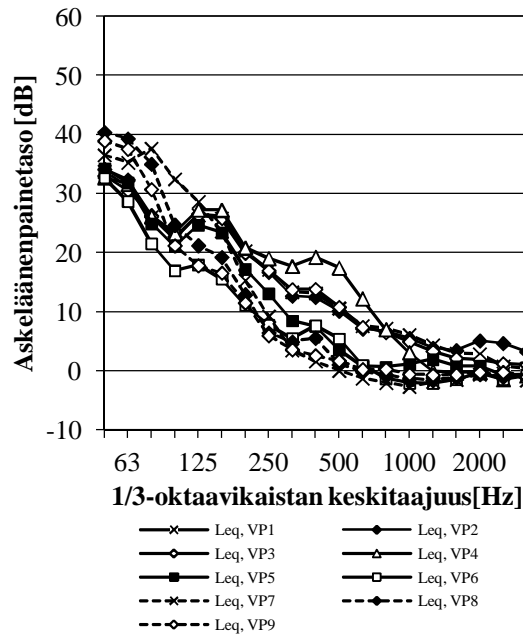


**Kuva 4.13.** Kävelijän W3 sukilla kävelyn tuottaman askelääneneristys perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

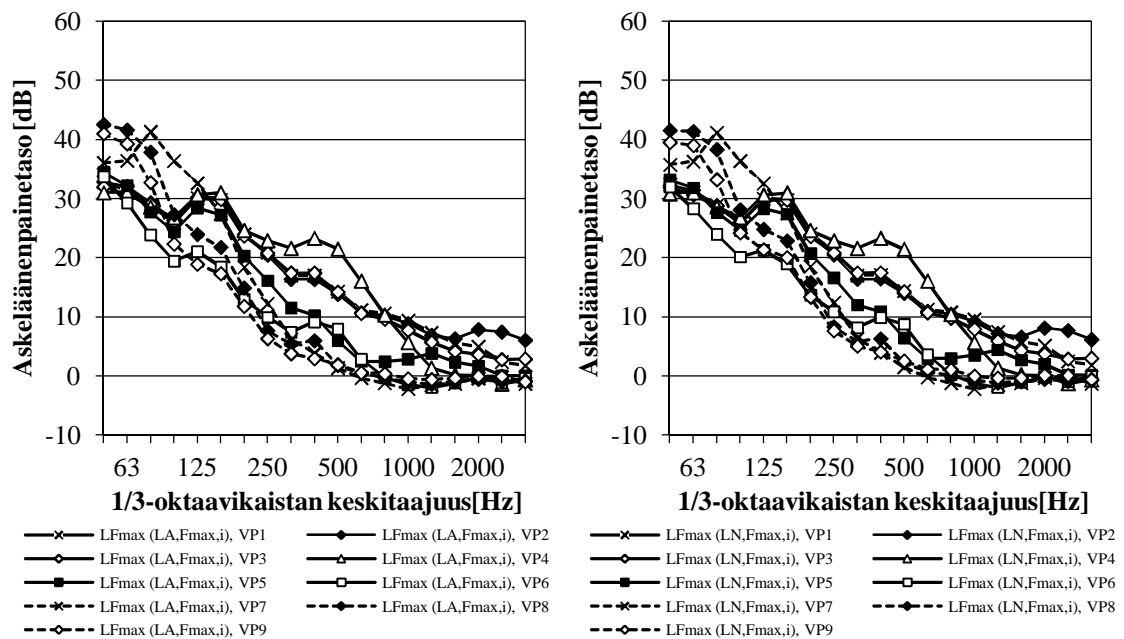
#### 4.2.3 Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ääni

Kuvassa 4.14 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.15 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamaan ääneen.





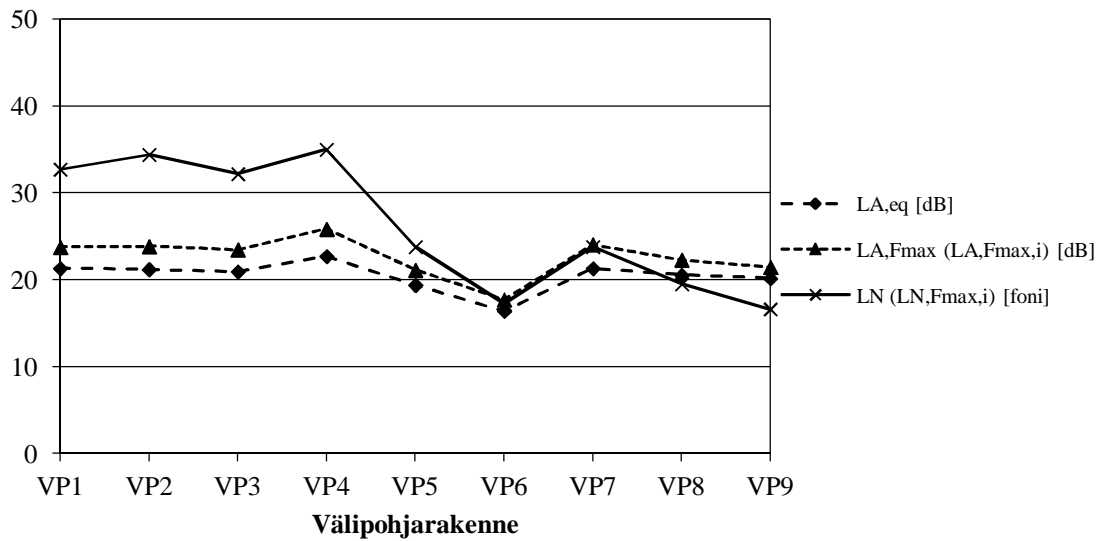
**Kuva 4.14.** Kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.15.** Kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

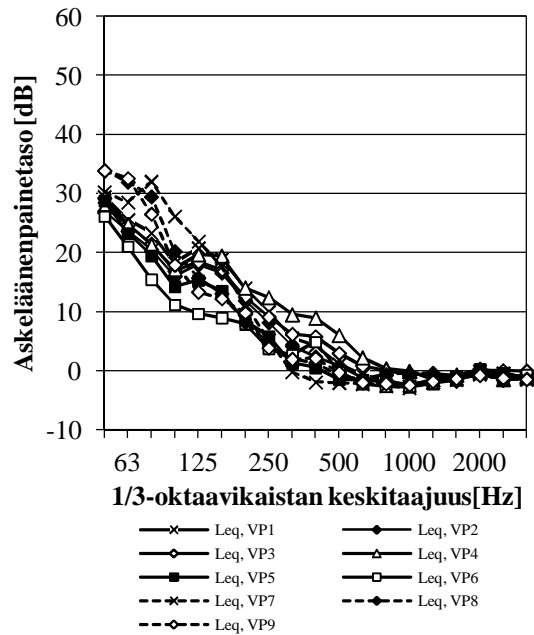
Kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.16). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$

( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.

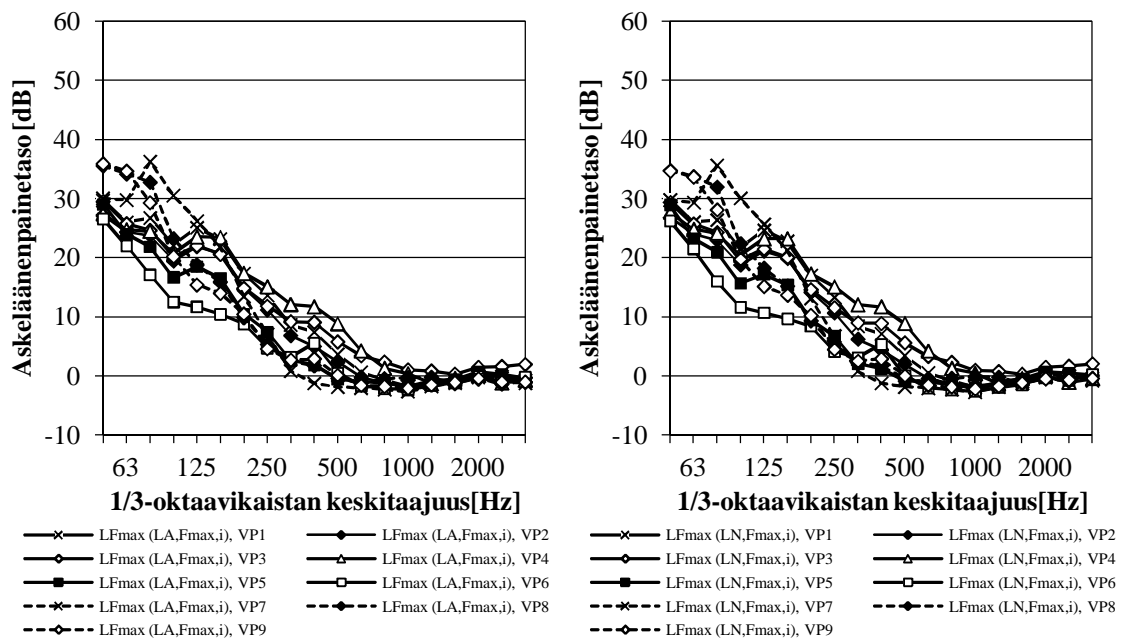


**Kuva 4.16.** Kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askelääneneristys perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

Kuvassa 4.17 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.18 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamaan ääneen.



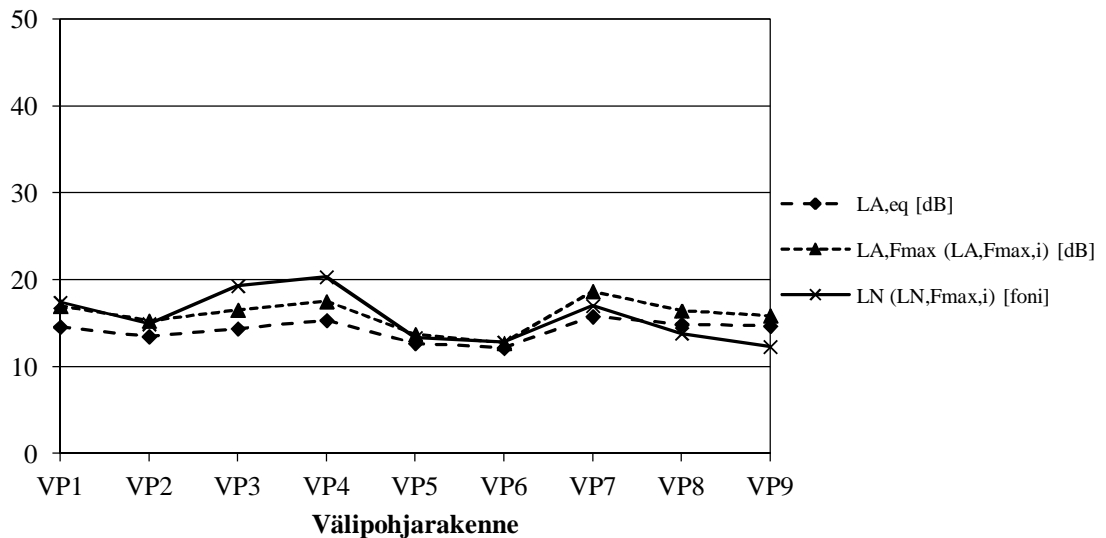
**Kuva 4.17.** Kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.18.** Kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

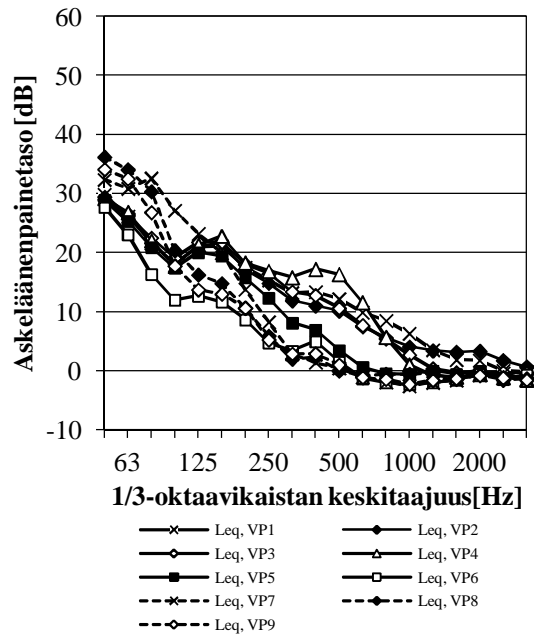
Kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A, eq}$ ,  $L_{A, Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.19). Mittaluku  $L_{A, eq}$  laskettiin pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A, Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_{Fmax}$

( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.

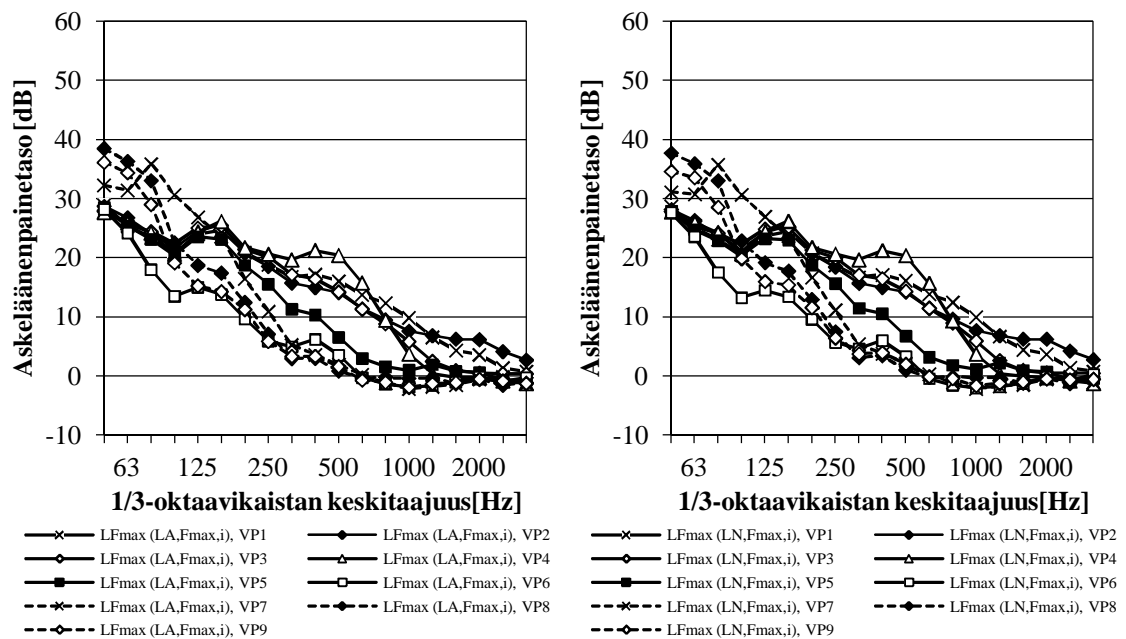


**Kuva 4.19.** Kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askelääneneristys perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

Kuvassa 4.20 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.21 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamaan ääneen.



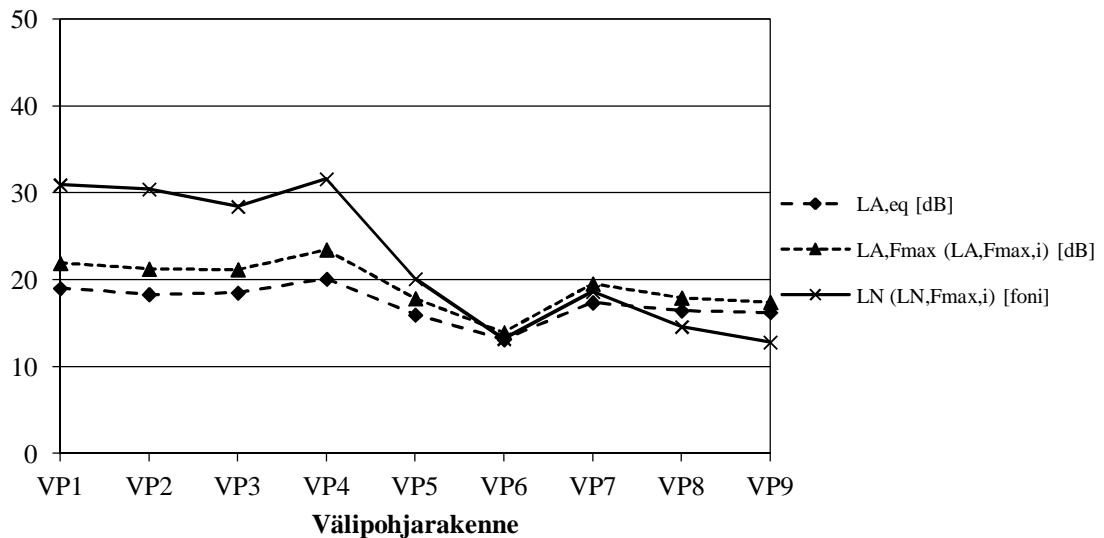
**Kuva 4.20.** Kävelijän W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.21.** Kävelijän W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Kävelijän W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A, eq}$ ,  $L_{A, Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.22). Mittaluku  $L_{A, eq}$  laskettiin pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A, Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_{Fmax}$

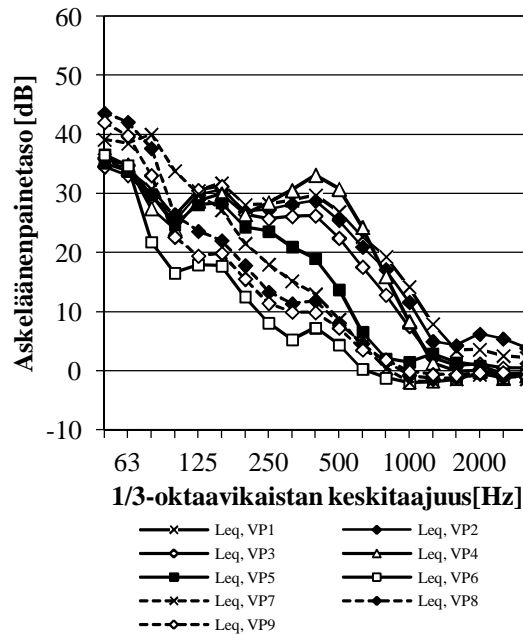
( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on pehmeöpohjaisilla kengillä kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.



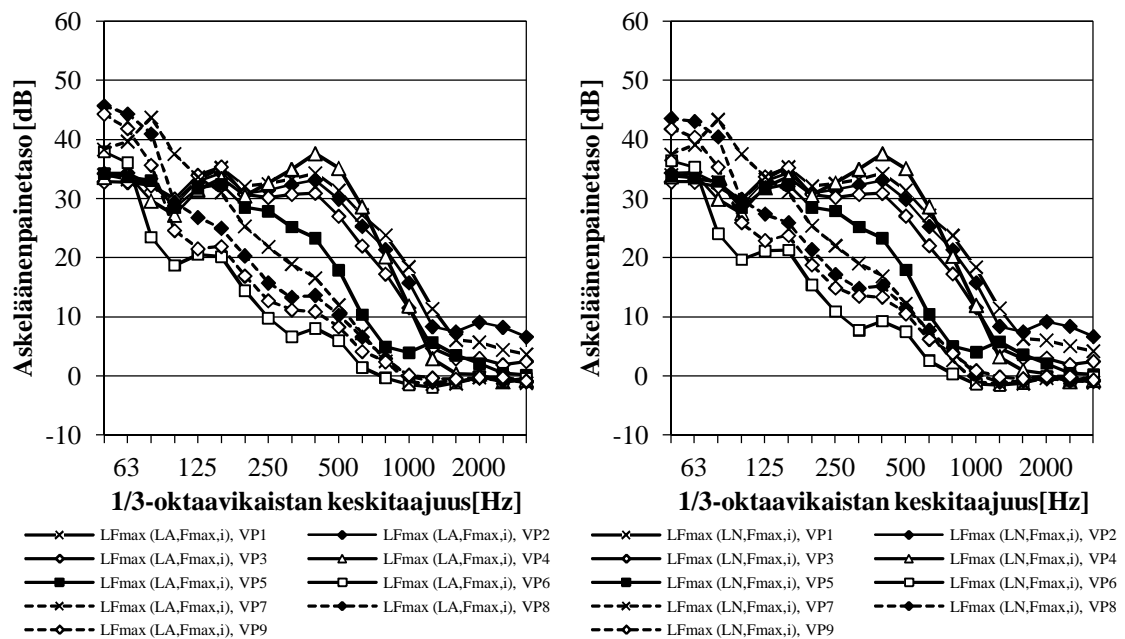
**Kuva 4.22.** Kävelijän W3 pehmeöpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askelääneneristys perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

#### 4.2.4 Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ääni

Kuvassa 4.23 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.24 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamaan ääneen.



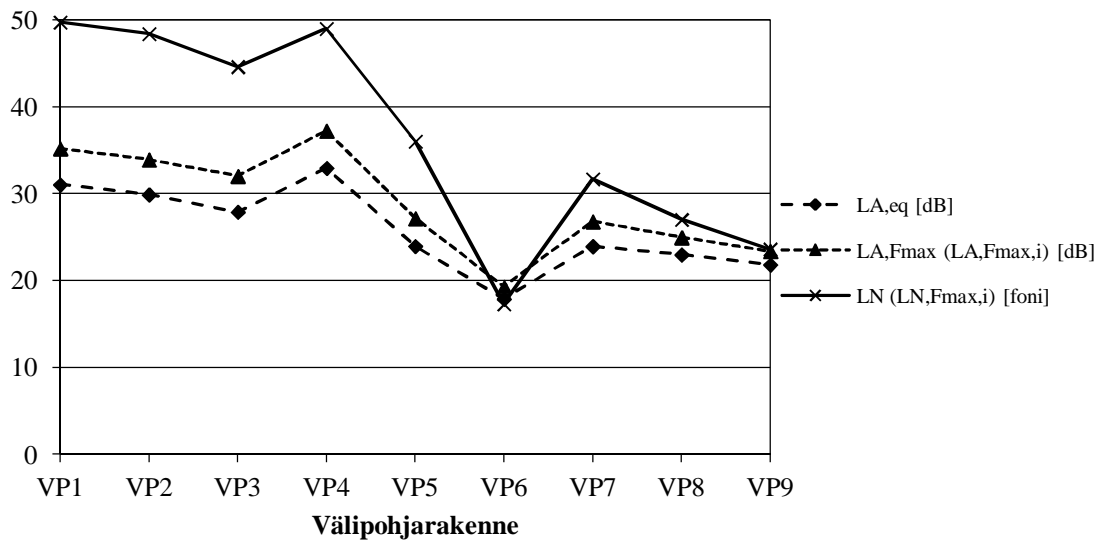
**Kuva 4.23.** Kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.24.** Kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.25). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) pe-

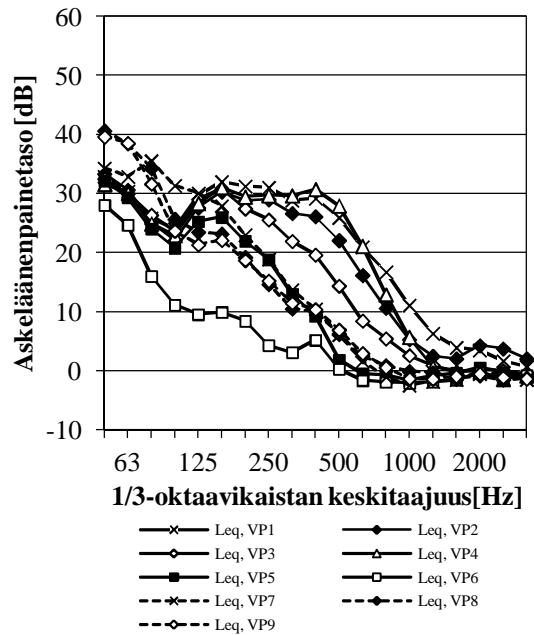
rusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on kovapohjaisilla kengillä kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.



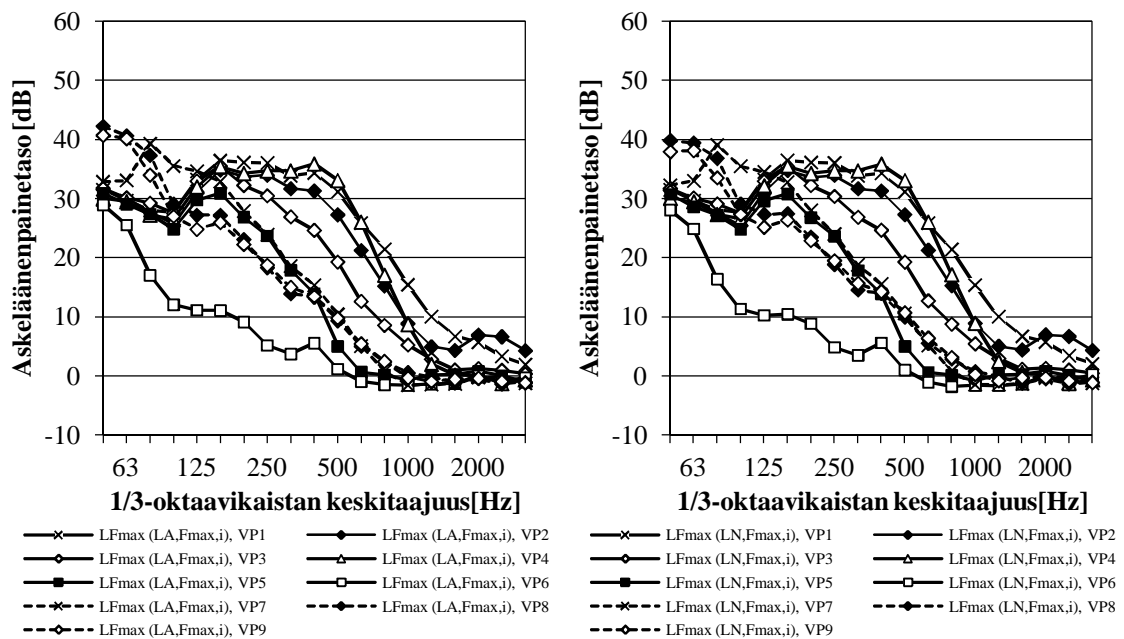
**Kuva 4.25.** Kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänien perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

Kuvassa 4.26 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.27 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamaan ääneen.





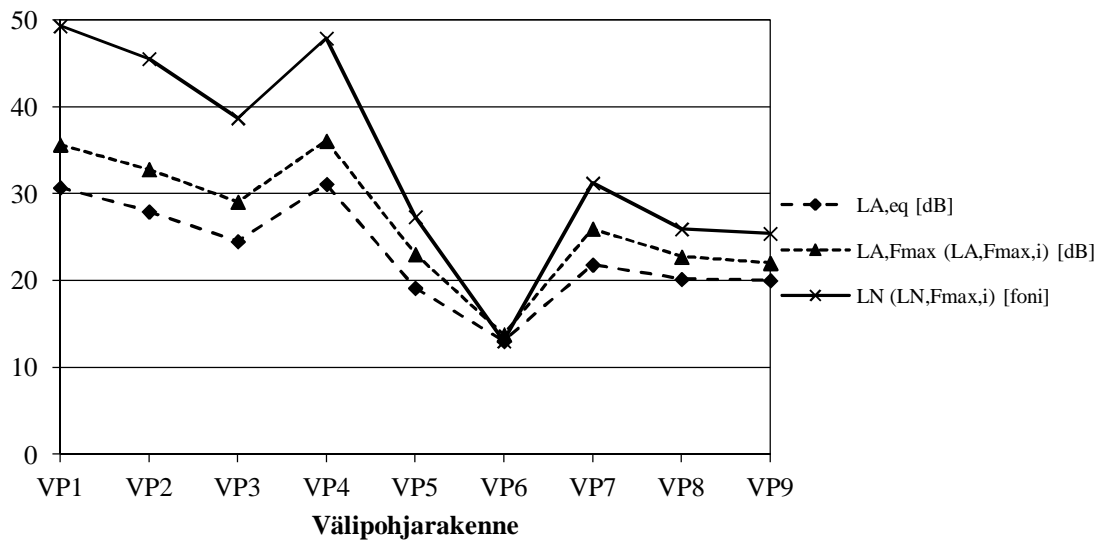
**Kuva 4.26.** Kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.27.** Kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

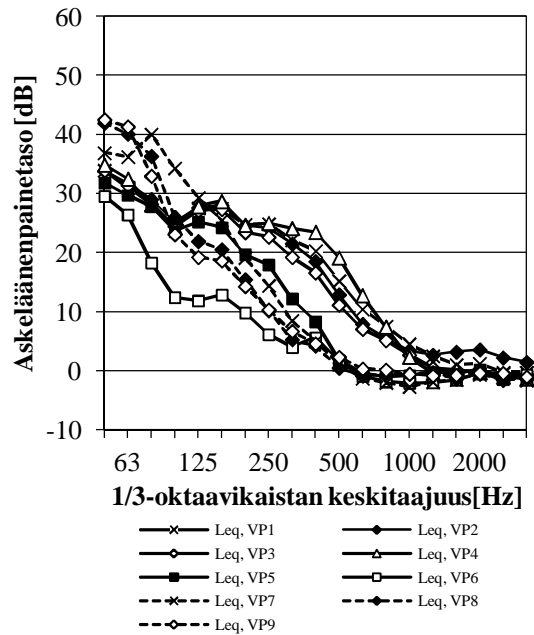
Kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.28). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) pe-

rusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on kovapohjaisilla kengillä kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.

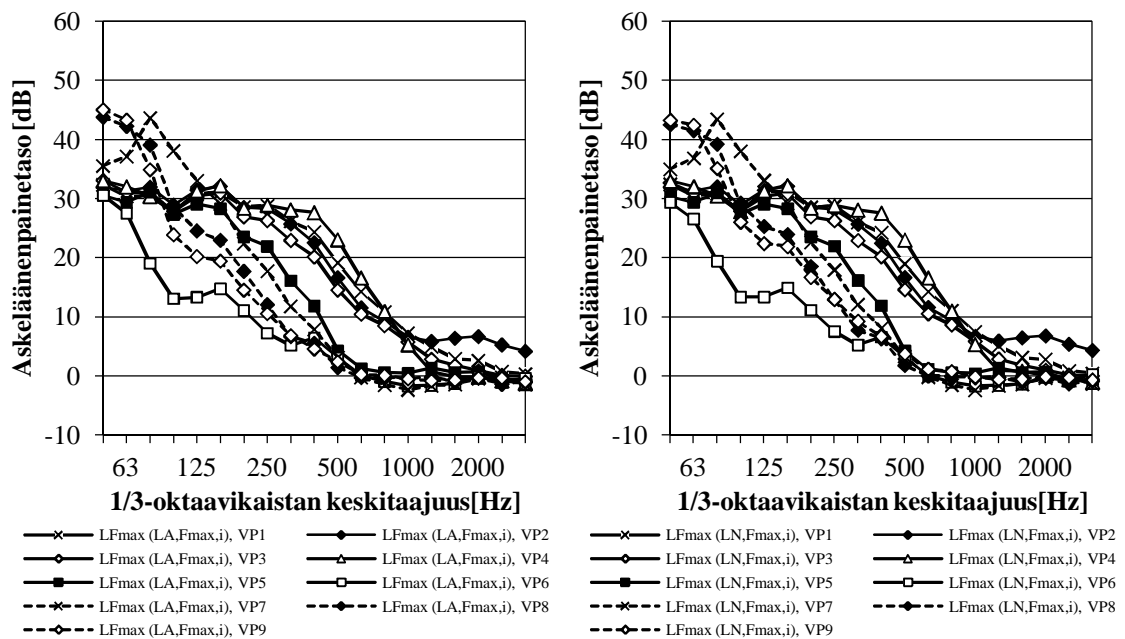


**Kuva 4.28.** Kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänien perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

Kuvassa 4.29 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.30 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamaan ääneen.



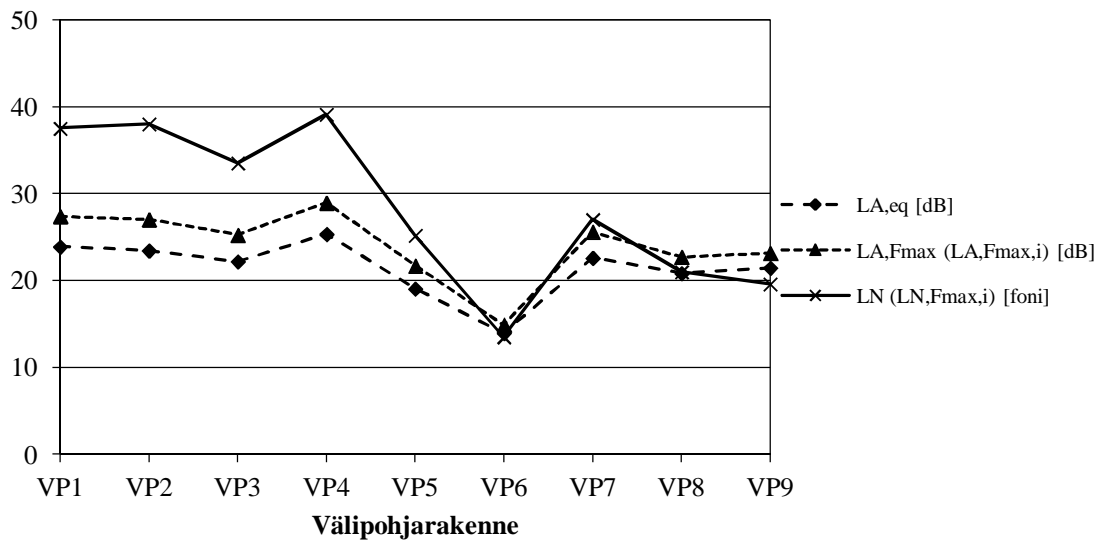
**Kuva 4.29.** Kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.30.** Kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.31). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) pe-

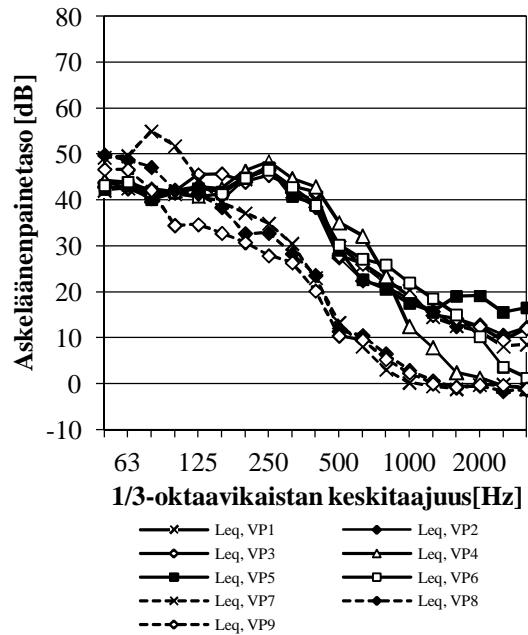
rusteella, tässä järjestyksessä. Välipohjan askelääneneristys on kovapohjaisilla kengillä kävelyn kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.



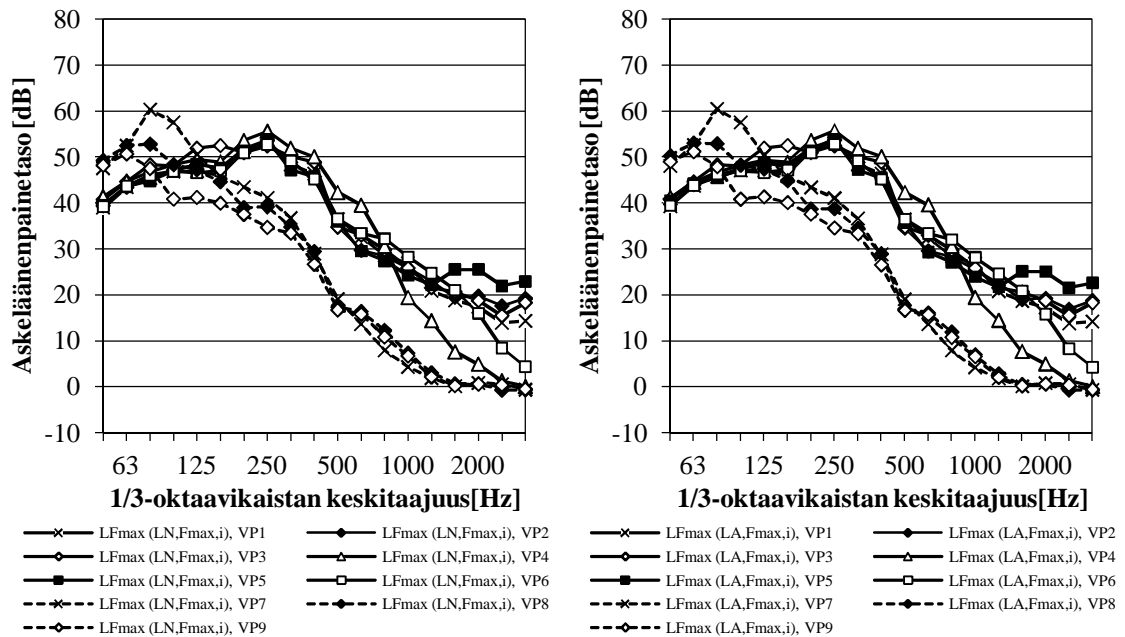
**Kuva 4.31.** Kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänien perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

#### 4.2.5 Pallon pompottamisen tuottama ääni

Kuvassa 4.32 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz pallon pompottamisen tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.33 ensimmäisäänenpainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaa-tasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta pallon pompottamisen tuottamaan ääneen.



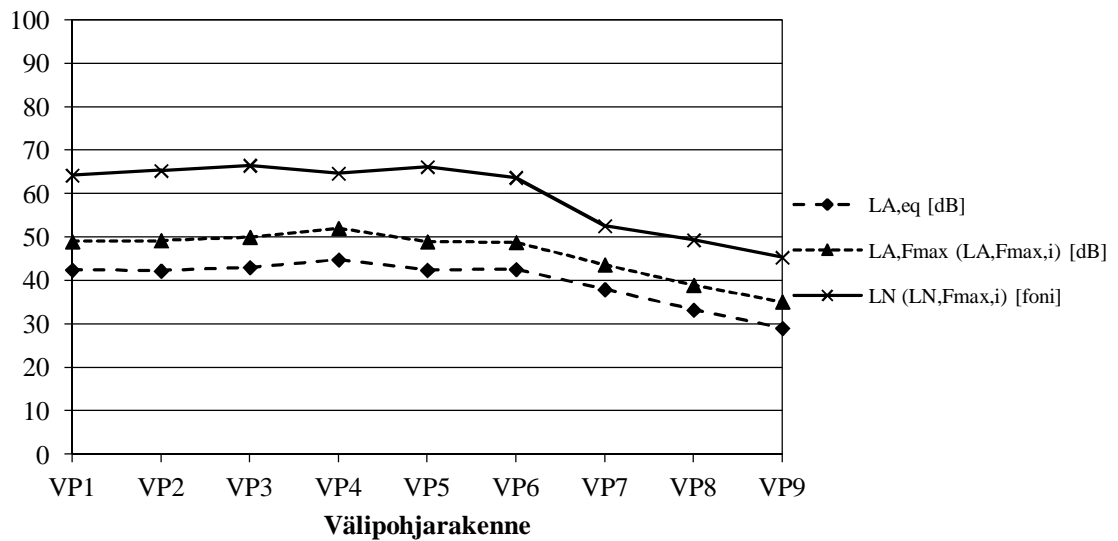
**Kuva 4.32.** Pallon pompottamisen tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.



**Kuva 4.33.** Pallon pompottamisen tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP9.

Pallon pompottamisen tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A, eq}$ ,  $L_{A, Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP9 (kuva 4.34). Mittaluku  $L_{A, eq}$  laskettiin pallon pompottamisen tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A, Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A, Fmax, i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N, Fmax, i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä.

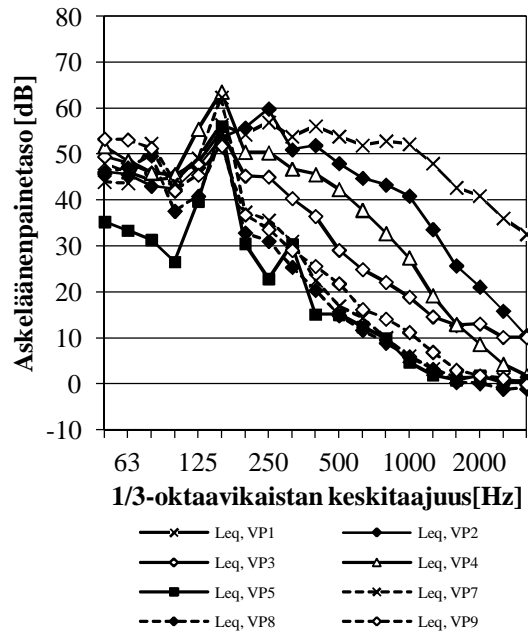
Välipohjan askelääneneristys on pallon pompottamisen kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.



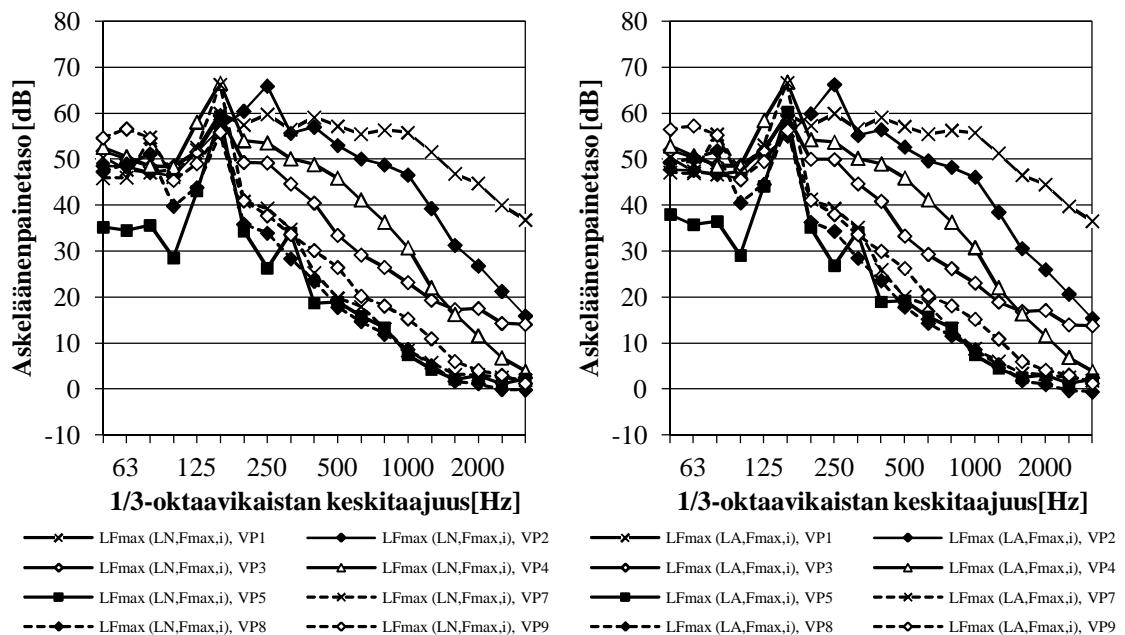
**Kuva 4.34.** Pallon pompottamisen tuottaman askeläänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.

#### 4.2.6 Tuolin siirron tuottama ääni

Kuvassa 4.35 on esitetty kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz tuolin siirron tuottama ekvivalentti äänenpainetaso  $L_{eq}$  ja kuvassa 4.36 enimmäisäänepainetasot  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP5 ja VP7...VP9. Välipohjarakenteelle VP6 ei saatu tulosta tuolin siirrolle, koska tuolia ei voitu siirtää rakenteella luvussa 3.6.4 esitetyllä tavalla. Koska kunkin välipohjarakenteen kantava rakenne on sama (265 mm paksu ontelolaatasto), voidaan kuvan perusteella arvioida pintarakenteen vaikutusta tuolin siirron tuottamaan ääneen.



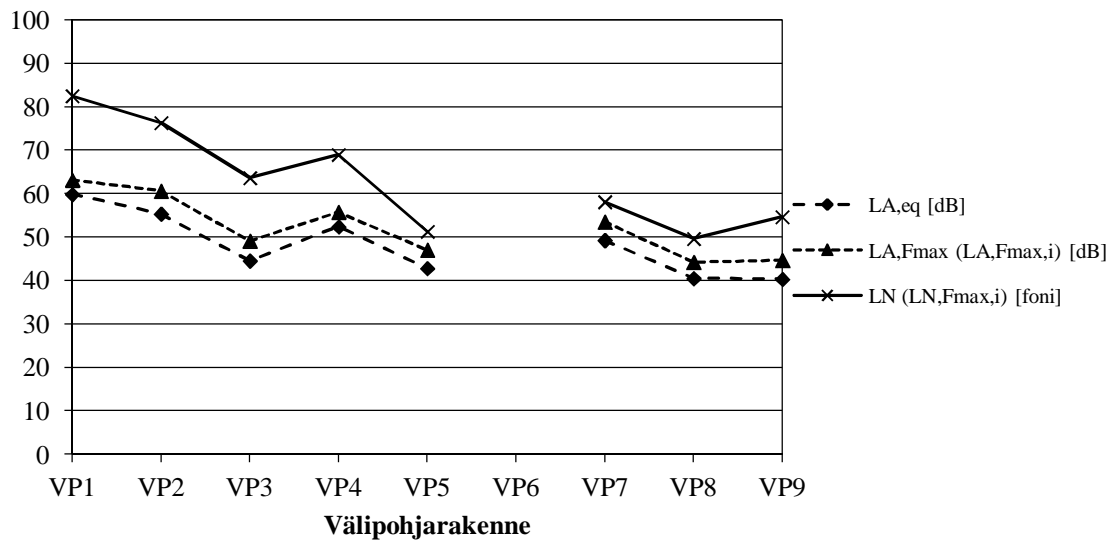
**Kuva 4.35.** Tuolin siirron tuottamat ekvivalentit äänenpainetasospektrit  $L_{eq}$  kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP5 ja VP7...VP9.



**Kuva 4.36.** Tuolin siirron tuottamat enimmäisäänepainetasospektrit  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz välipohjilla VP1...VP5 ja VP7...VP9.

Tuolin siirron tuottamien äänispektrien perusteella määritettiin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) välipohjarakenteilla VP1...VP5 ja VP7...VP9 (kuva 4.37). Mittaluku  $L_{A,eq}$  laskettiin tuolin siirron tuottaman ekvivalentin äänenpainetasospektrin ja mittaluvut  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) enimmäisäänepainetasospektrien  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella, tässä järjestyksessä.

Välipohjan askelääneneristys on tuolin siirron kannalta sitä parempi, mitä pienemmät psykoakustiset mittaluvut ovat.



**Kuva 4.37.** Tuolin siirron tuottaman askeläänien perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut välipohjilla VP1...VP5 ja VP7...VP9. Välipohjan askelääneneristys on sitä parempi, mitä pienemmät esitetyt mittaluvut ovat.



## 5 TULOSTEN TULKINTA

### 5.1 Välipohjien askelääneneristyksen rakennusakustinen arviointi

Luvussa 4.1 esitettyjen tulosten perusteella voidaan esittää, mihin järjestykseen välipohjarakenteet asettuivat askelääneneristyksen paremmuutensa puolesta. Tämä arviointi tehtiin sekä nykystandardin ISO 717-2 [13] että standardiehdotuksen [59] mukaisten rakennusakustisten mittalukujen perusteella. Rakennusakustisten mittalukujen perusteella saatu välipohjarakenteiden paremmuusjärjestys kuvaa arviointimenetelmien rakenteille antamia tuloksia.

#### 5.1.1 Rakennusakustiset mittaluvut

Luvussa 4.1 esitettyjen rakennusakustisten mittalukujen perusteella (kuvat 4.1 ja 4.2) nykystandardin [13] ja standardiehdotuksen [59] mukaisten arviointimenetelmien mukaan välipohjarakenteista heikoimmat rakenteet olivat raakavälipohja VP1 ja muovimattopäällysteinen välipohja VP2. Selkeästi muita välipohjia parempia olivat kelluva välipohja VP9 ja tekstiilimattopäällysteinen välipohja VP6. Muista rakenteista matto- ja parkettipäällysteiset rakenteet V3, VP4 ja VP5 olivat mittalukujen perusteella melkein yhtä hyviä. Tuloksista nähdään myös, että välipohjien VP1 ja VP2 mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{nT,w}$  suuruuserot seuraaviin välipohjarakenteisiin olivat jopa yli 20 dB. Muilla mittaluvuilla erot olivat pienemmät. Toisaalta arviointimenetelmien mukaan parhaiden rakenteiden VP6 ja VP9 mittalukujen erot matto- ja parkettipäällysteisiin rakenteisiin olivat jopa 15 dB:n luokkaa paitsi mittaluvuilla  $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$  ja  $D_{nT,impact}$ , jotka arvioivat rakenteet VP3...VP5 muihin mittalukuihin verrattuna paremmiksi. Voidaan myös todeta, että kelluvat välipohjarakenteet VP7...VP9 saivat hyviä arvoja matto- ja parkettipäällysteisiin rakenteisiin verrattuna lukuun ottamatta rakennetta VP6.

Välipohjarakenteiden paremmuusjärjestykset nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisten rakennusakustisten mittalukujen perusteella on esitetty taulukoissa 5.1 ja 5.2. Taulukossa 5.1 on esitetty välipohjarakenteiden paremmuusjärjestys normalisoitujen mittalukujen ja taulukossa 5.2 standardisoitujen mittalukujen perusteella. Taulukoissa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä. Mikäli eri välipohjat tuottivat saman lukuarvon, on rakenteet merkitty taulukkoihin kursiivilla.

**Taulukko 5.1.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaan sekä vastaavien normalisoitujen rakennusakustisten mittalukujen arvot. Samat mittaluvut tuottavat rakenteet on kursivoitu.

Mittaluku	$L'_{n,w}$		$L'_{n,w} + C_I$		$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$		$R_{\text{impact}}$		
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP
1.		41,3	VP9	42,1	VP9	47,3	VP6	56,7	VP6
2.		42,7	VP6	44,7	VP6	47,6	VP9	56,4	VP9
3.		43,2	VP8	45,0	VP8	52,4	VP8	51,6	VP8
4.		50,1	VP7	53,0	VP7	55,9	VP7	48,1	VP7
5.		58,5	VP5	58,0	VP3/	58,1	VP3/	45,9	VP3/
6.		58,7	VP3	58,0	VP5	58,1	VP5	45,9	VP5
7.		59,1	VP4	59,0	VP4	59,1	VP4	44,9	VP4
8.		77,7	VP2	65,8	VP2	65,8	VP2	38,2	VP2
9.		79,9	VP1	66,7	VP1	66,7	VP1	37,3	VP1

**Taulukko 5.2.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaan sekä vastaavien standardisoitujen rakennusakustisten mittalukujen arvot. Samat mittaluvut tuottavat rakenteet on kursivoitu.

Mittaluku	$L'_{nT,w}$		$L'_{nT,w} + C_I$		$L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$		$D_{nT,\text{impact}}$		
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP
1.		36,9	VP9	37,6	VP9	50,2	VP6	53,8	VP6
2.		38,3	VP6	40,1	VP6	53,2	VP9	50,8	VP9
3.		38,8	VP8	40,4	VP8	54,6	VP5	49,4	VP5
4.		45,7	VP7	48,2	VP7	54,9	VP3	49,1	VP3
5.		54,2	VP5	53,7	VP3/	55,1	VP7	49,0	VP7
6.		54,5	VP3	53,7	VP5	55,6	VP4	48,4	VP4
7.		54,8	VP4	54,6	VP4	59,0	VP8	45,0	VP8
8.		74,0	VP2	61,9	VP2	62,3	VP2	41,7	VP2
9.		76,3	VP1	62,9	VP1	63,1	VP1	40,9	VP1

Taulukoista 5.1 ja 5.2 nähdään, että nykystandardin mukaiset rakennusakustiset mittaluvut  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_I$ ,  $L'_{nT,w}$  ja  $L'_{nT,w} + C_I$  tuottivat välipohjille saman paremmuusjärjestyksen. Koska mittaluvut  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $R_{\text{impact}}$  ovat keskenään ja mittaluvut  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $D_{nT,\text{impact}}$  keskenään käytännössä samat, mutta toisilleen päinvastaiset, olivat näiden tuottamat järjestykset myös samat. Näiden mittalukujen perusteella paremmuusjärjestys oli kuitenkin erilainen kuin edellä mainituilla mittaluvuilla  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_I$ ,  $L'_{nT,w}$  ja  $L'_{nT,w} + C_I$ . Tämä johtuu siitä, että mittaluvut  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ ,  $R_{\text{impact}}$ ,  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $D_{nT,\text{impact}}$  ottavat huomioon rakenteiden askelääneneristysten pienillä, alle 100 Hz:n taajuuksilla. Standardisoitujen mittalukujen  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $D_{nT,\text{impact}}$  perusteella kelluvien välipohjarakenteiden VP7...VP9 askelääneneristys verrattuna muihin rakenteisiin oli huonompi kuin muilla mittaluvuilla. Samalla matto- ja parkettipäällysteisten välipohjien VP3...VP5 askelääneneristys arvioitui paremmaksi kuin muiden mittalukujen perusteella. Huomattavaa on etenkin, että standardisoiduilla mittaluvuilla  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $D_{nT,\text{impact}}$  kelluvat välipohjat VP7 ja VP8 arvioituivat huonommiksi kuin muilla mittaluvuilla. Tämä johtuu siitä, että mittaluvut ottavat alle 100 Hz:n taajuudet huomioon. Askeläänepainetasojen standardisointi suurensi äänenpainetasoja pienillä taajuuksilla, koska vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika pienillä taajuuksilla oli

yli 0,5 s. Näillä taajuuksilla askeläänikoje tuottama äänenpainetaso oli muutenkin suuri, jolloin mittalukujen mukainen askelääneneristys oli huonompi kuin muilla mittaluvuilla.

## 5.2 Välipohjien askelääneneristyksen psykoakustinen arviointi

Luvussa 4.2 esitettyjen todellisten askelääniherätteiden tuottamien äänien perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen perusteella määritettiin välipohjien paremmuusjärjestykset. Psykoakustisten mittalukujen perusteella muodostettujen järjestysten perusteella voidaan päätellä, miten välipohjat arvioituisivat ihmisen käsityksen mukaisesti. Jotta nykystandardin [13] ja standardiehdotuksen [59] mukaiset arviointimenetelmät tuottaisivat subjektiivisesti oikeita tuloksia, tulisi niiden tuottaman paremmuusjärjestyksen olla sama kuin todellisten askeläänien perusteella saatu järjestys. Myös menetelmien tuottamien mittalukujen suhteen tulisi olla yhtäläinen todellisten herätteiden tuottamien mittalukujen suhteen kanssa.

### 5.2.1 Askeläänikoje

Luvussa 4.2.1 esitettyjen psykoakustisten mittalukujen perusteella (kuva 4.4) askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella saatu A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$  ja äänekkyytystaso  $L_N$  arvioivat rakenteet suunnilleen samanlaisesti. Verrattuna nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisiin rakennusakustisiin mittalukuihin (kuvat 4.1 ja 4.2) olivat mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_N$  väliset suhteet samat. Kuten rakennusakustisilla mittaluvuilla, myös askeläänikojeen tuottamien psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_N$  perusteella välipohjat VP6 ja VP9 olivat parhaimmat ja VP1 ja VP2 huonoimmat välipohjarakenteet.

Askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukainen välipohjien paremmuusjärjestys ja vastaavien mittalukujen arvot on esitetty taulukossa 5.3. Vertailun vuoksi taulukossa on esitetty myös rakenteiden paremmuusjärjestys nykystandardin ISO 717-2 [13] mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan. Taulukossa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä.

**Taulukko 5.3.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Askeläänikoje			
	Mittaluku	$L'_{n,w}$	$L_{A,eq}$		$L_N$	
Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
1.	41,3	VP9	42,7	VP6	55,0	VP6
2.	42,7	VP6	43,7	VP9	61,4	VP9
3.	43,2	VP8	45,6	VP8	62,8	VP8
4.	50,1	VP7	50,5	VP7	66,1	VP7
5.	58,5	VP5	63,9	VP5	78,9	VP4
6.	58,7	VP3	64,3	VP3	80,8	VP5
7.	59,1	VP4	64,5	VP4	81,6	VP3
8.	77,7	VP2	78,7	VP2	95,5	VP2
9.	79,9	VP1	80,8	VP1	97,1	VP1

Taulukon 5.3 tuloksista nähdään, että askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut asettivat välipohjat likimain samaan järjestykseen kuin  $L'_{n,w}$ . Näin oli etenkin A-painotetun ekvivalentin kokonaisäänitason  $L_{A,eq}$  tapauksessa. Voidaan myös todeta, että mittalukujen keskinäiset erot olivat suunnilleen samantyyppiset kullakin mittaluvulla. Verrattuna muihin nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisiin rakennusakustisiin mittalukuihin psykoakustiset mittaluvut  $L_{A,eq}$  ja  $L_N$  asettivat välipohjat suunnilleen samaan järjestykseen. Erot olivat vain pieniä. Etenkin mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella arvioituna rakenteiden järjestys oli sama kuin rakennusakustisilla mittaluvuilla  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ja  $R_{impact}$ . Huomattavaa on se, että äänekkyydystason  $L_N$  perusteella arvioituna parkettipäällysteinen välipohja VP4 arvioitui paremmaksi kuin mattopäällysteiset välipohjat VP3 ja VP5, kun taas A-painotetun ekvivalentin kokonaisäänitason  $L_{A,eq}$  perusteella VP4 oli huonompi kuin VP3 ja VP5.

### 5.2.2 Sukilla kävely

Luvussa 4.2.2 esitettyjen sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan (kuvat 4.7, 4.10 ja 4.13) välipohjien väliset erot olivat huomattavasti pienempiä kuin askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella. Tämä nähdään myös vertaamalla sukilla kävelyn eri välipohjilla tuottamia spektrejä (kuvat 4.5–4.6, 4.8–4.9 ja 4.11–4.12) askeläänikojeen tuottamiin äänispektreihin (kuva 4.3). Välipohjista ainoastaan tekstiilimattopäällysteinen rakenne VP6 erottui kaikilla kävelijöillä edukseen rakenteen ollessa muita välipohjarakenteita parempi kaikilla esitetyillä psykoakustisilla mittaluvuilla. Muiden rakenteiden suhteen erot olivat pienempiä. Kaikkien kävelijöiden tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) mukaan erot parhaimman ja huonoimman välipohjarakenteen välillä olivat noin 10–13 dB. Jos ei oteta huomioon rakennetta VP6, vastaavat erot olivat noin 4–8 dB. Äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella parhaimman ja huonoimman rakenteen erot olivat kävelijöillä W1 ja W3 noin 15 fonia ja kävelijällä W2 noin 6 fonia. Kun välipohjarakennetta VP6 ei oteta huomioon, erot olivat kaikilla käve-

lijöillä noin 6–10 fonia. Kun kävelijöiden sukilla kävelyn tuottamien psykoakustisten mittalukujen arvoja verrataan toisiinsa, huomataan, että kävelijä W1 oli kaikkien mittalukujen perusteella äänekkäin. Toiseksi äänekkäin kävelijä oli W3.

Kun sukilla kävelyn perusteella saatuja mittalukuja verrataan askeläänikojeen tuotamiin mittalukuihin, voidaan todeta kävelyn olleen huomattavasti hiljaisempaa kuin askeläänikojeen rakenteilla tuottaman äänen. Suurimmillaan erot sukilla kävelyn ja askeläänikojeen tuottamien äänten välillä olivat mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella yli 60 dB ja mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella yli 80 fonia. Myös eri välipohjien välinen mittalukujen suhde oli kävelyllä pienempi.

Taulukoissa 5.4–5.6 on esitetty kävelijöiden W1, W2 ja W3 sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen mukaiset välipohjarakenteiden paremmuusjärjestykset ja vastaavien mittalukujen arvot. Taulukoissa on esitetty vertailun vuoksi myös nykystandardin ISO 717-2 [13] mukainen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ . Taulukoissa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä.

**Taulukko 5.4.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W1 sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W1, sukilla kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax}$ ( $L_{A,Fmax,i}$ )		$L_N$ ( $L_{N,Fmax,i}$ )	
	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
1.	41,3	VP9	18,9	VP6	21,1	VP6	15,8	VP6
2.	42,7	VP6	25,6	VP5	28,1	VP5	25,3	VP9
3.	43,2	VP8	26,1	VP4	28,5	VP4	26,4	VP5
4.	50,1	VP7	26,6	VP3	29,3	VP3	27,3	VP4
5.	58,5	VP5	27,7	VP9	30,2	VP2	28,4	VP3
6.	58,7	VP3	27,7	VP2	30,2	VP9	29,4	VP7
7.	59,1	VP4	27,8	VP1	30,6	VP1	29,5	VP8
8.	77,7	VP2	28,5	VP7	31,4	VP7	30,3	VP2
9.	79,9	VP1	30,1	VP8	32,6	VP8	31,3	VP1

**Taulukko 5.5.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W2 sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W2, sukilla kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax}$ ( $L_{A,Fmax,i}$ )		$L_N$ ( $L_{N,Fmax,i}$ )	
	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
1.	41,3	VP9	12,7	VP6	13,4	VP6	13,1	VP6
2.	42,7	VP6	16,0	VP4	17,6	VP4	13,7	VP5
3.	43,2	VP8	16,4	VP5	18,4	VP5	13,9	VP4
4.	50,1	VP7	17,3	VP7	19,6	VP7	14,3	VP7
5.	58,5	VP5	18,0	VP3	20,4	VP1	15,5	VP3
6.	58,7	VP3	18,1	VP2	20,4	VP3	16,0	VP1
7.	59,1	VP4	18,1	VP1	20,4	VP2	16,8	VP2
8.	77,7	VP2	20,8	VP8	23,3	VP8	17,5	VP8
9.	79,9	VP1	23,3	VP9	25,8	VP9	19,4	VP9

**Taulukko 5.6.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W3 sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W3, sukilla kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]
1.	41,3	VP9	13,8	VP6	15,1	VP6	13,1	VP6
2.	42,7	VP6	19,7	VP5	21,9	VP5	17,1	VP5
3.	43,2	VP8	20,4	VP4	22,8	VP4	17,8	VP4
4.	50,1	VP7	21,3	VP1	23,6	VP1	19,6	VP7
5.	58,5	VP5	21,5	VP7	24,0	VP7	20,6	VP8
6.	58,7	VP3	23,6	VP3	25,9	VP3	21,5	VP1
7.	59,1	VP4	23,6	VP8	26,0	VP8	22,3	VP9
8.	77,7	VP2	25,1	VP2	27,8	VP2	23,9	VP3
9.	79,9	VP1	25,7	VP9	28,2	VP9	27,2	VP2

Taulukoiden 5.4–5.6 tuloksista nähdään, että eri kävelijöiden sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut tuottivat erilaisen paremmuusjärjestyksen. Kuitenkin kaikilla kävelijöillä parkettipäällysteinen välipohja VP4 ja tekstiilimattopäällysteiset välipohjat VP5 ja VP6 olivat neljän parhaimman rakenteen joukossa riippumatta mittaluvusta. Sen sijaan huonoimmat välipohjat vaihtelivat kävelijästä riippuen. Kävelijän W1 sukilla kävelyn perusteella huonoimmat rakenteet olivat kelluvat rakenteet VP7 ja VP8, kun taas kävelijällä W2 kaksi heikointa rakennetta olivat VP8 ja VP9 ja kävelijällä W3 välipohjat VP2 ja VP9. Tämän perusteella voidaan todeta, että kelluvat rakenteet, jotka rakennusakustisten mittalukujen perusteella (taulukot 5.1 ja 5.2) olivat hyviä rakenteita, olivat sukilla kävelyn kannalta epäedullisia rakenneratkaisuja. Tämä johtuu siitä, että sukilla kävely tuottaa ääntä pienillä taajuuksilla kelluvan välipohjan pintarakenteen ominaistaajuuden läheisyydessä (kuvat 4.5–4.6, 4.8–4.9 ja 4.11–4.12). Huomattavaa on myös, että rakennusakustisten mittalukujen mukaan huonoin kelluva rakenne eli välipohja VP7 pärjäsi, etenkin sukilla kävelyn tuottaman äänekkuystason  $L_N (L_{N,Fmax,i})$  perusteella, paremmin kuin paremmat kelluvat rakenteet VP8 ja VP9. Tämä taas johtuu siitä, että välipohjan VP7 pintarakenteen ominaistaajuus oli suurempi kuin toisilla kelluvilla välipohjilla, jolloin sukilla kävelyn tuottama ääni oli rakenteella VP7 kauempana ominaistaajuudesta kuin rakenteilla VP8 ja VP9.

Kaikkiaan rakennusakustisiin mittalukuihin verrattuna sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut muodostivat täysin erilaisen paremmuusjärjestyksen (taulukot 5.1 ja 5.2). Tämä voidaan todeta myös siitä, että raakavälipohja VP1 arvioitui sukilla kävelyn perusteella huomattavasti paremmaksi, kävelijää W1 lukuun ottamatta, kuin rakennusakustisten mittalukujen perusteella. Osittain jopa muovimattopäällysteiset välipohjat VP2 ja VP3 arvioituivat huonommaksi kuin raakavälipohja VP1.

### 5.2.3 Pehmeäpohjaisilla kengillä kävely

Luvussa 4.2.3 esitettyjen pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) mukaan (kuvat 4.16, 4.19 ja 4.22) välipohjarakenteiden väliset erot olivat huomattavasti pienempiä kuin askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella (kuva 4.3). Äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella rakenteiden väliset erot olivat suurempia. Kaikkien mittalukujen perusteella välipohjat VP6 ja VP9 olivat muita rakenteita hiljaisempia. Kaikkien kävelijöiden tuottaman äänen perusteella muodostetun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  mukaan erot parhaimman ja huonoimman rakenteen välillä olivat noin 4–7 dB ja mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) mukaan noin 6–10 dB. Äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella erot olivat vastaavasti kävelijöillä W1 ja W3 noin 19 fonia ja kävelijällä W2 noin 8 fonia. Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelijöistä kävelijä W1 oli kaikkien mittalukujen perusteella äänekkäin. Toiseksi äänekkäin oli kävelijä W3.

Sukilla kävelyyn verrattuna pehmeäpohjaisilla kengillä kävely tuotti kaikilla kävelijöillä ja kaikilla rakenteilla, lukuun ottamatta kävelijän W3 kävelyä rakenteella VP4, mittaluvuilla  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) pienempiä arvoja. Sen sijaan äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella ainoastaan kelluvat rakenteet VP8 ja VP9 olivat pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn perusteella kaikilla kävelijöillä sukilla kävelyä hiljaisempia. Äänekkyydystasoltaan eniten sukilla kävelyyn verrattuna huonontui välipohja VP4.

Kun pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn perusteella saatuja mittalukuja verrataan askeläänikojeen tuottamiin mittalukuihin, voidaan todeta kävelyn olleen huomattavasti hiljaisempaa kuin askeläänikojeen rakenteilla tuottaman äänen. Suurimmillaan erot kävelyn ja askeläänikojeen tuottamien äänten välillä olivat mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella yli 65 dB ja mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella yli 80 fonia. Myös eri välipohjien välinen mittalukujen suhde oli kävelyllä pienempi.

Taulukoissa 5.7–5.9 on esitetty kävelijöiden W1, W2 ja W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen mukaiset välipohjarakenteiden paremmuusjärjestykset ja vastaavien mittalukujen arvot. Taulukoissa on esitetty vertailun vuoksi myös nykystandardin ISO 717-2 [13] mukainen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ . Taulukoissa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä. Mikäli eri välipohjat tuottivat saman lukuarvon, on rakenteet merkitty taulukkoihin kursiivilla.

**Taulukko 5.7.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot. Samat mittaluvut tuottavat rakenteet on kursivoitu.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W1, pehmeäpohjaisilla kengillä kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]
1.	41,3	VP9	16,4	VP6	17,7	VP6	16,6	VP9
2.	42,7	VP6	19,4	VP5	21,1	VP5	17,2	VP6
3.	43,2	VP8	20,2	VP9	21,4	VP9	19,5	VP8
4.	50,1	VP7	20,5	VP8	22,3	VP8	23,8	VP5/
5.	58,5	VP5	20,9	VP3	23,4	VP3	23,8	VP7
6.	58,7	VP3	21,2	VP2	23,7	VP1	32,2	VP3
7.	59,1	VP4	21,3	VP7	23,8	VP2	32,7	VP1
8.	77,7	VP2	21,3	VP1	24,0	VP7	34,4	VP2
9.	79,9	VP1	22,7	VP4	25,8	VP4	35,0	VP4

**Taulukko 5.8.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W2, pehmeäpohjaisilla kengillä kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]
1.	41,3	VP9	12,1	VP6	12,7	VP6	12,3	VP9
2.	42,7	VP6	12,7	VP5	13,7	VP5	12,8	VP6
3.	43,2	VP8	13,5	VP2	15,3	VP2	13,3	VP5
4.	50,1	VP7	14,4	VP3	15,9	VP9	13,8	VP8
5.	58,5	VP5	14,6	VP1	16,4	VP8	14,9	VP2
6.	58,7	VP3	14,7	VP9	16,5	VP3	17,0	VP7
7.	59,1	VP4	14,9	VP8	16,9	VP1	17,4	VP1
8.	77,7	VP2	15,3	VP4	17,5	VP4	19,3	VP3
9.	79,9	VP1	15,8	VP7	18,7	VP7	20,3	VP4

**Taulukko 5.9.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W3, pehmeäpohjaisilla kengillä kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]
1.	41,3	VP9	13,1	VP6	13,9	VP6	12,8	VP9
2.	42,7	VP6	15,9	VP5	17,4	VP9	13,2	VP6
3.	43,2	VP8	16,2	VP9	17,8	VP5	14,6	VP8
4.	50,1	VP7	16,4	VP8	17,9	VP8	18,6	VP7
5.	58,5	VP5	17,4	VP7	19,5	VP7	20,1	VP5
6.	58,7	VP3	18,3	VP2	21,2	VP3	28,4	VP3
7.	59,1	VP4	18,5	VP3	21,2	VP2	30,4	VP2
8.	77,7	VP2	19,0	VP1	21,9	VP1	30,9	VP1
9.	79,9	VP1	20,1	VP4	23,4	VP4	31,6	VP4



Taulukoiden 5.7–5.9 perusteella voidaan todeta, että pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan arvioitaessa välipohjien paremmuusjärjestys riippuu kävelijästä. Kuitenkin kaikilla kävelijöillä äänekkyytason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella huonoimmaksi rakenteeksi osoitettiin parkettipäällysteinen välipohja VP4 ja parhaimmaksi kelluva välipohja VP9. Muilla mittaluvuilla paras rakenne kaikilla kävelijöillä oli tekstiilimattopäällysteinen välipohja VP6 ja huonoin rakenne parkettipäällysteinen välipohja VP4 kävelijöillä W1 ja W3 ja kelluva välipohja VP7 kävelijällä W2. Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella kelluvat rakenteet asettuivat kaikilla kävelijöillä ja mittaluvuilla järjestykseen VP7, VP8 ja VP9 huonoimmasta parhaimpaan.

Sukilla kävelyyn verrattuna etenkin kelluvien välipohjarakenteiden VP8 ja VP9 voidaan todeta olleen paremmuusjärjestykseltään parempia arvioitaessa pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella saatujen mittalukujen mukaan. Muutenkin paremmuusjärjestys oli kaikilla kävelijöillä mittaluvusta riippumatta pehmeäpohjaisilla kengillä hyvin erilainen kuin sukilla saatu. Myös rakennusakustisten mittalukujen mukaisesti järjestyksiin verrattuna paremmuusjärjestykset olivat erilaiset (taulukot 5.1 ja 5.2). Paremmuusjärjestys oli samanlainen vain siltä osin, että myös pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien psykoakustisten mittalukujen perusteella välipohjarakenne VP6 kuului parhaimmista.

#### 5.2.4 Kovapohjaisilla kengillä kävely

Luvussa 4.2.4 esitetyjen kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan (kuvat 4.25, 4.28 ja 4.31) välipohjarakenteiden väliset erot olivat suurempia kuin sukilla tai pehmeäpohjaisilla kengillä määritettyjen mittalukujen perusteella. Esitetyistä mittaluvuista kuitenkin pienimmät erot rakenteiden välillä saatiin mittaluvuilla  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ). Äänekkyytason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella erot eri rakenteiden välillä olivat suuremmat. Mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella erot parhaimman ja huonoimman rakenteen välillä olivat noin 11–18 dB ja mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  perusteella noin 14–22 dB kaikilla kävelijöillä. Äänekkyytason perusteella erot olivat vastaavasti noin 26–36 fonia. Kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella kävelijä W1 oli äänekkäin ja kävelijä W2 toiseksi äänekkäin.

Sukilla kävelyyn verrattuna kovapohjaisilla kengillä kävely oli raakavälipohjalla VP1, muovimatto- ja parkettipäällysteisillä välipohjilla VP2, VP3 ja VP4 pääsääntöisesti äänekkäämpää. Toisaalta kelluvilla rakenteilla, etenkin välipohjalla VP9, kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella saadut mittaluvut olivat osittain pienempiä kuin sukilla kävelyn perusteella saadut mittaluvut. Kun taas verrataan pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyyn, oli kovapohjaisilla kengillä kävely kaikissa tapauksissa äänekkäämpää.

Verrattuna askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella määritettyihin psykoakustisiin mittalukuihin kovapohjaisilla kengillä kävely oli huomattavasti hiljaisempaa. Suurimmillaan erot kävelyn ja askeläänikojeen tuottamien äänten välillä olivat mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella yli 55 dB ja mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella lähes 60 fonia. Myös

eri välipohjien välillä mittalukujen suhde oli kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella pienempi.

Taulukoissa 5.10–5.12 on esitetty kävelijöiden W1, W2 ja W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen mukaiset välipohjarakenteiden paremmuusjärjestykset ja vastaavien mittalukujen arvot. Taulukoissa on esitetty vertailun vuoksi myös nykystandardin ISO 717-2 [13] mukainen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ . Taulukoissa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä.

**Taulukko 5.10.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W1, kovapohjaisilla kengillä kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]
1.	41,3	VP9	17,9	VP6	19,3	VP6	17,3	VP6
2.	42,7	VP6	21,8	VP9	23,4	VP9	23,6	VP9
3.	43,2	VP8	23,0	VP8	25,0	VP8	27,0	VP8
4.	50,1	VP7	23,9	VP7	26,8	VP7	31,7	VP7
5.	58,5	VP5	23,9	VP5	27,2	VP5	36,0	VP5
6.	58,7	VP3	27,9	VP3	32,0	VP3	44,6	VP3
7.	59,1	VP4	29,9	VP2	33,9	VP2	48,4	VP2
8.	77,7	VP2	31,0	VP1	35,2	VP1	49,0	VP4
9.	79,9	VP1	32,9	VP4	37,2	VP4	49,7	VP1

**Taulukko 5.11.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W2, kovapohjaisilla kengillä kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]
1.	41,3	VP9	13,0	VP6	13,8	VP6	13,0	VP6
2.	42,7	VP6	19,1	VP5	22,0	VP9	25,4	VP9
3.	43,2	VP8	20,0	VP9	22,7	VP8	25,9	VP8
4.	50,1	VP7	20,2	VP8	23,0	VP5	27,3	VP5
5.	58,5	VP5	21,8	VP7	25,9	VP7	31,2	VP7
6.	58,7	VP3	24,5	VP3	29,0	VP3	38,7	VP3
7.	59,1	VP4	27,9	VP2	32,8	VP2	45,5	VP2
8.	77,7	VP2	30,7	VP1	35,6	VP1	47,9	VP4
9.	79,9	VP1	31,1	VP4	36,1	VP4	49,3	VP1

**Taulukko 5.12.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Kävelijä W3, kovapohjaisilla kengillä kävely					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
Mittaluku	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
Järjestys								
1.	41,3	VP9	13,9	VP6	14,9	VP6	13,5	VP6
2.	42,7	VP6	19,0	VP5	21,7	VP5	19,6	VP9
3.	43,2	VP8	20,8	VP8	22,7	VP8	21,0	VP8
4.	50,1	VP7	21,5	VP9	23,1	VP9	25,2	VP5
5.	58,5	VP5	22,2	VP3	25,2	VP3	27,0	VP7
6.	58,7	VP3	22,6	VP7	25,6	VP7	33,5	VP3
7.	59,1	VP4	23,4	VP2	27,0	VP2	37,5	VP1
8.	77,7	VP2	23,9	VP1	27,4	VP1	38,0	VP2
9.	79,9	VP1	25,3	VP4	28,9	VP4	39,1	VP4

Taulukoiden 5.10–5.12 mukaan kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen perusteella arvioituna huonoimpia rakenteita olivat raakavälipohja VP1 sekä muovimatto- ja parkettipäällysteiset välipohjat VP2, VP3 ja VP4. Jos ei oteta huomioon raakavälipohjaa, huonoin rakenne oli parkettipäällysteinen välipohja VP4. Sen sijaan parhaaksi rakenteeksi arvioitui kaikilla kävelijöillä ja kaikilla mittaluvuilla tekstiilimattopäällysteinen välipohja VP6. Tämän perusteella voidaan päätellä, että kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella kovat lattiapäällysteet, kuten muovimatot ja parketti, ovat epäedullisia. Tämä johtuu siitä, että kovapohjaisilla kengillä kävely tuottaa ääntä välipohjan päällysteen ominaistuujuuden läheisyydessä (kuvat 4.23, 4.24, 4.26, 4.27, 4.29 ja 4.30).

Verrattuna sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan saatuun paremmuusjärjestykseen kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella saatu järjestys oli hyvin erilainen. Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella kelluvat välipohjat asettuivat suurimmalta osalta järjestykseen VP7, VP8 ja VP9 huonoimmasta parhaimpaan, kun taas sukilla kävelyn perusteella järjestys oli päinvastainen. Myös esimerkiksi raakavälipohja VP1 ja parkettipäällysteinen välipohja VP4 arvioitui huonommiksi kuin sukilla kävelyn perusteella. Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyyn verrattuna kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella kelluvat rakenteet asettuivat pääasiassa samaan keskinäiseen järjestykseen. Muutoinkin kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella saatu välipohjien paremmuusjärjestys oli osittain samankaltainen kuin pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyille saatu.

Kun verrataan rakennusakustisten mittalukujen tuottamaan välipohjien järjestykseen (taulukot 5.1 ja 5.2), kovapohjaisilla kengillä kävely tuotti kaikista kävelyistä eniten samankaltaisen järjestyksen. Suurin ero paremmuusjärjestyksissä oli kuitenkin se, että parkettipäällysteinen välipohja VP4 arvioitui kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan huonommaksi kuin rakennusakustisten mittalukujen perusteella.

### 5.2.5 Pallon pompottaminen

Luvussa 4.2.5 esitettyjen pallon pompottamisen tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen perusteella (kuva 4.34) välipohjien väliset erot olivat huomattavasti pienempiä kuin askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella. Suurempia eroja rakenteiden välille muodostui vain kelluvilla välipohjilla VP7, VP8 ja VP9, joista parhaimmaksi osoittautui välipohja VP9. Lukuun ottamatta kelluvia rakenteita rakenteiden väliset erot olivat mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) perusteella noin 3 dB ja äänekyystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella noin 3 fonia. Kaikilla rakenteella erot olivat vastaavasti noin 16–17 dB ja 21 fonia. Kelluvien rakenteiden väliset erot olivat taas noin 9 dB ja 7 fonia.

Verrattuna kävelyyn pallon pompottamisen tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen arvot olivat suurempia. Mittalukujen perusteella pallon pompottamisen ja kävelyn tuottamien äänien erot olivat pienimmät kelluvilla välipohjilla. Askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella muodostettuihin mittalukuihin verrattuna pallon pompottamisen tuottama ääni oli mittaluvulla  $L_{A,eq}$  enimmillään lähes 40 dB ja mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella yli 30 fonia hiljaisempaa. Pallon ja askeläänikojeen tuottaman herätteen erilaisuudesta johtuen erot välipohjien välillä eivät kuitenkaan olleet tasaiset.

Taulukossa 5.13 on esitetty pallon pompottamisen tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen mukaiset välipohjarakenteiden paremmuusjärjestykset ja vastaavien mittalukujen arvot. Taulukossa on esitetty vertailun vuoksi myös nykyisen menetelmän ISO 717-2 [13] mukainen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ . Taulukossa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä.

**Taulukko 5.13.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys pallon pompottamisen tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Pallon pompottaminen					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax}$ ( $L_{A,Fmax,i}$ )		$L_N$ ( $L_{N,Fmax,i}$ )	
Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
1.	41,3	VP9	29,0	VP9	35,1	VP9	45,3	VP9
2.	42,7	VP6	33,2	VP8	39,0	VP8	49,3	VP8
3.	43,2	VP8	37,9	VP7	43,6	VP7	52,6	VP7
4.	50,1	VP7	42,2	VP2	48,8	VP6	63,7	VP6
5.	58,5	VP5	42,4	VP5	48,9	VP5	64,2	VP1
6.	58,7	VP3	42,5	VP1	49,0	VP1	64,7	VP4
7.	59,1	VP4	42,6	VP6	49,2	VP2	65,3	VP2
8.	77,7	VP2	43,1	VP3	50,0	VP3	66,2	VP5
9.	79,9	VP1	44,8	VP4	52,0	VP4	66,5	VP3

Taulukossa 5.13 esitetyn pallon pompottamisen tuottaman paremmuusjärjestyksen perusteella kelluvat välipohjat VP7, VP8 ja VP9 olivat parhaimmat rakenteet. Sen sijaan

huonoimmat rakenteet olivat mattopäällysteinen välipohja VP3 ja parkettipäällysteinen välipohja VP4.

Rakennusakustisten mittalukujen mukaisiin paremmuusjärjestyksiin verrattuna pallon pompottamisen tuottamien psykoakustisten mittalukujen perusteella saatu järjestys oli hyvin erilainen. Ainoastaan välipohjarakenne VP9 arvioitui samankaltaisesti. Voidaan myös todeta, että kelluvien välipohjien VP7...VP9 keskinäinen järjestys oli sama eli VP7 oli niistä huonoin ja VP9 paras. On huomattavaa, että muovimattopäällysteisistä välipohjista VP2 arvioitui pallon pompottamisen perusteella kaikilla mittaluvuilla paremmaksi kuin VP3, joka rakennusakustisten mittalukujen mukaan oli rakennetta VP2 huomattavasti parempi. Myös raakavälipohja VP1 pärjäsikin paremmin kuin rakennusakustisilla mittaluvuilla. Myös kävelyyn verrattuna pallon pompottaminen tuotti erilaisen paremmuusjärjestyksen.

### 5.2.6 Tuolin siirto

Luvussa 4.2.6 esitettyjen tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan (kuva 4.37) välipohjien väliset erot olivat suurempia kuin muiden todellisten askelääniherätteiden perusteella. Mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) mukaan erot parhaimman ja huonoimman välipohjarakenteen välillä olivat noin 19 dB, kun taas äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella erot olivat yli 30 fonia.

Askeläänikojen tuottaman äänen perusteella määritettyihin psykoakustisiin mittalukuihin verrattuna tuolin siirto tuotti suurimmillaan mittaluvun  $L_{A,eq}$  perusteella yli 20 dB ja äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella lähes 30 fonia pienempiä arvoja. Muutenkin tuolin siirto oli kaikilla rakenteilla hiljaisempaa. Myös rakenteiden väliset erot olivat näin arvioituina pienemmät.

Kun tuolin siirtoa verrataan kävelyyn, huomataan, että tuolin siirto tuotti kaikilla rakenteilla ja kaikilla mittaluvuilla suurempia arvoja kuin kävely. Erot kävelyyn olivat suurimmillaan mittaluvulla  $L_{A,eq}$  yli 30 dB, mittaluvulla  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) yli 35 dB ja mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella yli 50 fonia. Pallon pompottamiseen verrattuna tuolin siirto tuotti suurempia arvoja kaikilla välipohjilla paitsi rakenteilla VP3 ja VP5.

Tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukainen paremmuusjärjestys ja vastaavat mittaluvut välipohjilla VP1...VP5 ja VP7...VP9 on esitetty taulukossa 5.14. Taulukossa on esitetty vertailun vuoksi myös nykyisen menetelmän ISO 717-2 [13] mukainen askeläänitasoluku  $L'_{n,w}$ . Taulukossa paremmuusjärjestys on esitetty parhaimmasta huonoimpaan siten, että arviointiperusteen mukaan paras välipohjarakenne on ylimpänä.

**Taulukko 5.14.** Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w}$  mukaan ja vastaavien mittalukujen arvot.

Arviointiperuste	ISO 717-2		Tuolin siirto					
	$L'_{n,w}$		$L_{A,eq}$		$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$		$L_N (L_{N,Fmax,i})$	
Mittaluku	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
Järjestys								
1.	41,3	VP9	40,3	VP9	44,2	VP8	49,6	VP8
2.	42,7	VP6	40,5	VP8	44,6	VP9	51,3	VP5
3.	43,2	VP8	42,8	VP5	47,0	VP5	54,6	VP9
4.	50,1	VP7	44,5	VP3	49,1	VP3	58,1	VP7
5.	58,5	VP5	49,3	VP7	53,5	VP7	63,6	VP3
6.	58,7	VP3	52,4	VP4	55,7	VP4	69,0	VP4
7.	59,1	VP4	55,3	VP2	60,6	VP2	76,3	VP2
8.	77,7	VP2	59,8	VP1	63,1	VP1	82,5	VP1
9.	79,9	VP1						

Taulukossa 5.14 esitetyn tuolin siirron tuottaman äänen perusteella saatujen psykoakustisten mittalukujen mukaisten paremmuusjärjestysten mukaan parhaita välipohjia olivat tekstiilimattopäällysteinen välipohja VP5 ja kelluvat välipohjat VP8 ja VP9. Huonoimmat rakenteet olivat vastaavasti raakavälipohja VP1, muovimattopäällysteinen välipohja VP2 ja parkettipäällysteinen rakenne VP4. On huomattavaa, että mittalukujen  $L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_N (L_{N,Fmax,i})$  perusteella kelluva rakenne VP8 oli parempi kuin VP9, joka arvioitiin rakennusakustisten mittalukujen perusteella parhaaksi kelluvaksi välipohjaksi.

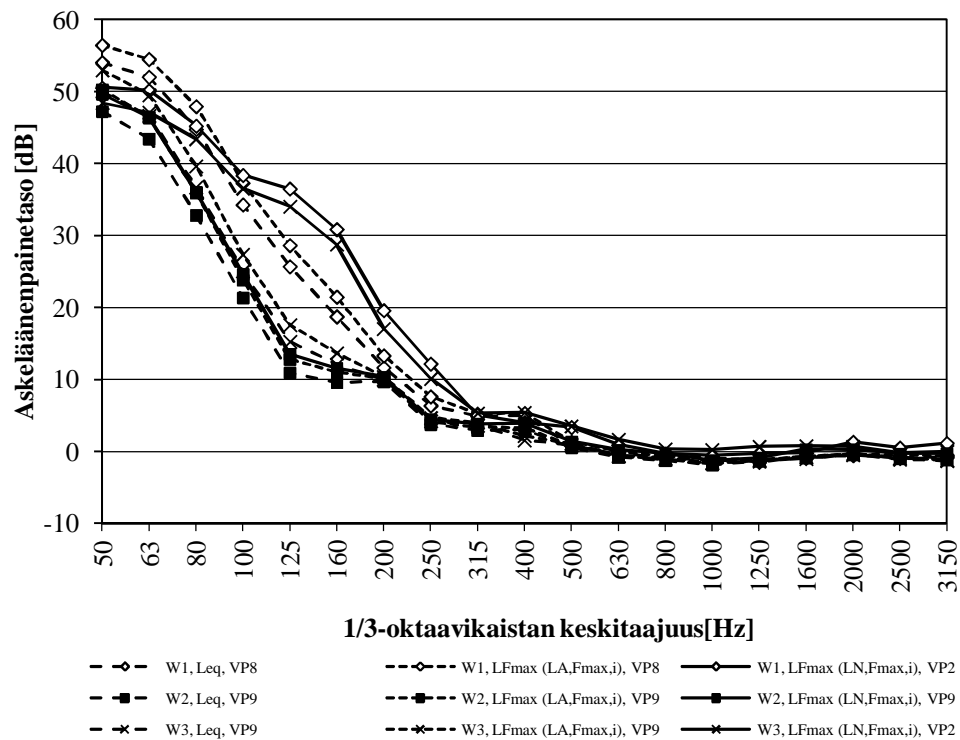
Rakennusakustisiin mittalukuihin verrattuna tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritetyt psykoakustiset mittaluvut asettivat rakenteet VP1, VP2 ja VP4 samankaltaiseen järjestykseen. Kelluvat välipohjat VP8 ja VP9 olivat tuolin siirron perusteella mittaluvuilla  $L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_N (L_{N,Fmax,i})$  päinvastaisessa järjestyksessä kuin rakennusakustisilla mittaluvuilla. Kävelyyn verrattuna tuolin siirto tuotti kaikilla mittaluvuilla erilaisen paremmuusjärjestyksen. Myös pallon pompottamiseen verrattuna järjestys oli erilainen.

### 5.3 Todellisen askeläänän perusteella heikoimmat välipohjat

Luvuissa 5.2.2–5.2.6 esitettyjen välipohjarakenteiden paremmuusjärjestysten perusteella poimittiin psykoakustisten mittalukujen perusteella äänekkäimmät rakenteet ja vastaavien todellisten herätteiden tuottamat askeläänispektrit (kuvat 5.1–5.4). Näin saatiin tietoa siitä, minkälainen spektri oli todellisen askeläänän kannalta epäedullinen ja millä rakenteella sellainen saadaan. Tässä on tutkittu vain päällystettyjä rakenteita, jolloin raakavälipohja VP1 on jätetty arvioinnin ulkopuolelle. Välipohjaa VP1 ei arvioitu tässä, koska sellaista rakennetta ei todellisuudessa esiinny valmiissa rakennuksissa.

Sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$  ja  $L_N (L_{N,Fmax,i})$  perusteella määritettiin heikoimmat rakenteet ja mittalukuja tässä järjestyksessä vastaavat askeläänispektrit  $L_{eq}$ ,  $L_{Fmax} (L_{A,Fmax,i})$  ja

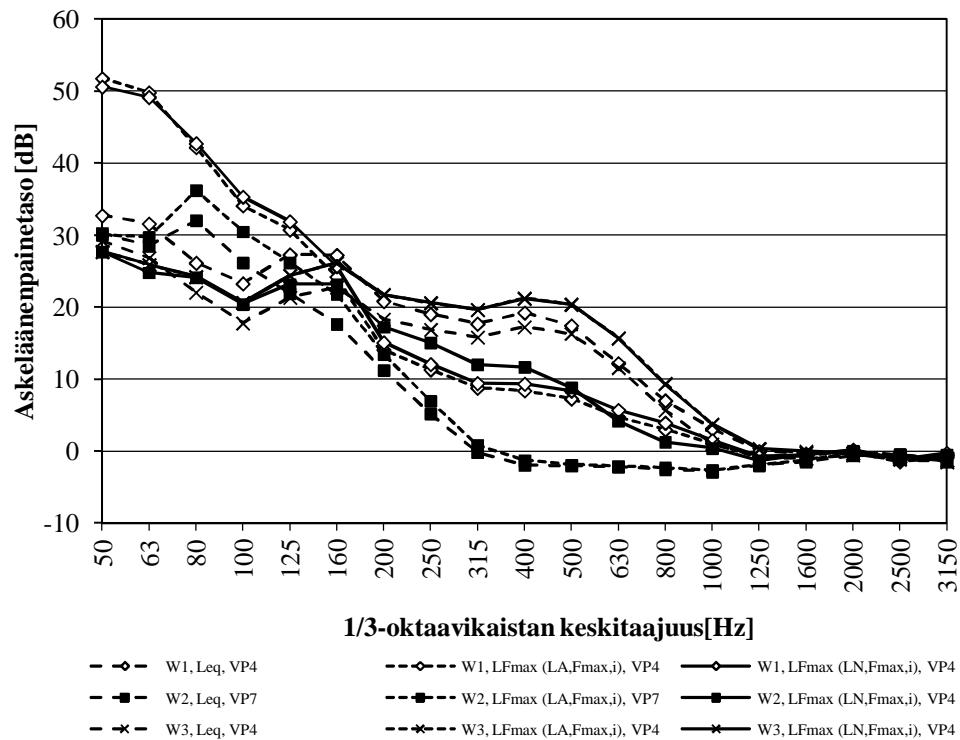
$L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) (kuva 5.1). Sukilla kävelyn perusteella heikoimpia rakenteita olivat kelluvat välipohjat VP8 ja VP9 sekä muovimattopäällysteinen välipohja VP2. Kuvasta 5.1 huomataan, että äänekyystason perusteella saadut spektrit laskivat loivemmin kuin muut spektrit. Toisin sanoen rakenteen äänekyteen vaikutti voimakkaasti äänenpaine-tason suuruus yli 100 Hz:n taajuuksilla. Mittalukujen  $L_{A,eq}$  ja  $L_{A,Fmax}$  mukaiset spektrit taas tuottivat osittain suurempia arvoja pienillä taajuuksilla. Näiden tulosten perusteella voidaan päätellä, että kelluvat rakenteet, joiden ominaistaajuus on alhainen ja lähellä sukilla kävelyn tuottaman äänen maksimikohtaa, ovat asuinrakennusten askelääneneris-tyksen kannalta epäedullisia välipohjaratkaisuja, vaikka ne rakennusakustisten mittalu- kujen perusteella ovat muihin välipohjiin verrattuna hyviä rakenteita.



**Kuva 5.1.** Sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella saadut heikoimmat rakenteet ja kävelyn tuottamat äänispektrit kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz eri kävelijöillä.

Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottamien psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella määritettiin heikoimmat rakenteet ja mittalukuja tässä järjestyksessä vastaavat askeläänispektrit  $L_{eq}$ ,  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) (kuva 5.2). Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn perusteella heikoin rakenne oli parkettipäällysteinen välipohja VP4. Lukuun ottamatta kelluvaa välipohjaa VP7, jolla kävelijän W2 kävelyn tuottama spektri oli äänekäs, pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn perusteella huonot rakenteet tuottivat loivan kävelyspektrin, jolloin suuri osa äänestä oli 200–800 Hz:n taajuuksilla. Tämän perusteella voidaan olettaa, että pintarakenteet, joi-

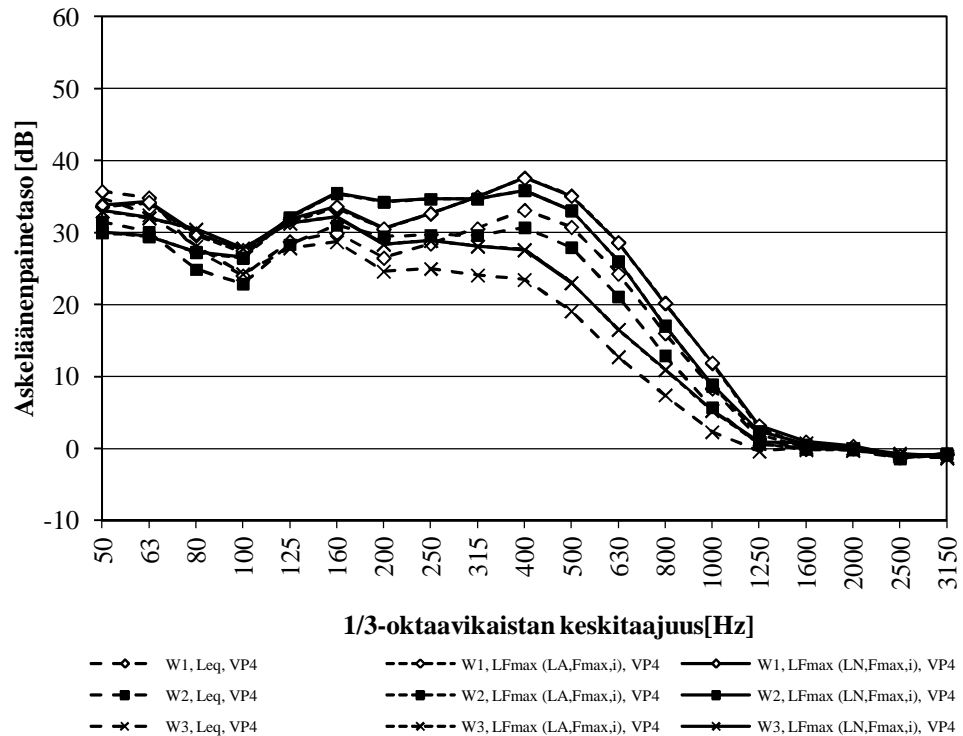
den ominaistaajuus asettuu juuri tälle taajuusalueelle, ovat pehmeöpohjaisilla kengillä kävelyn kannalta epäedullisia rakenteita.



**Kuva 5.2.** Pehmeöpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella saadut heikoimmat rakenteet ja kävelyn tuottamat spektrit kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz eri kävelijöillä.

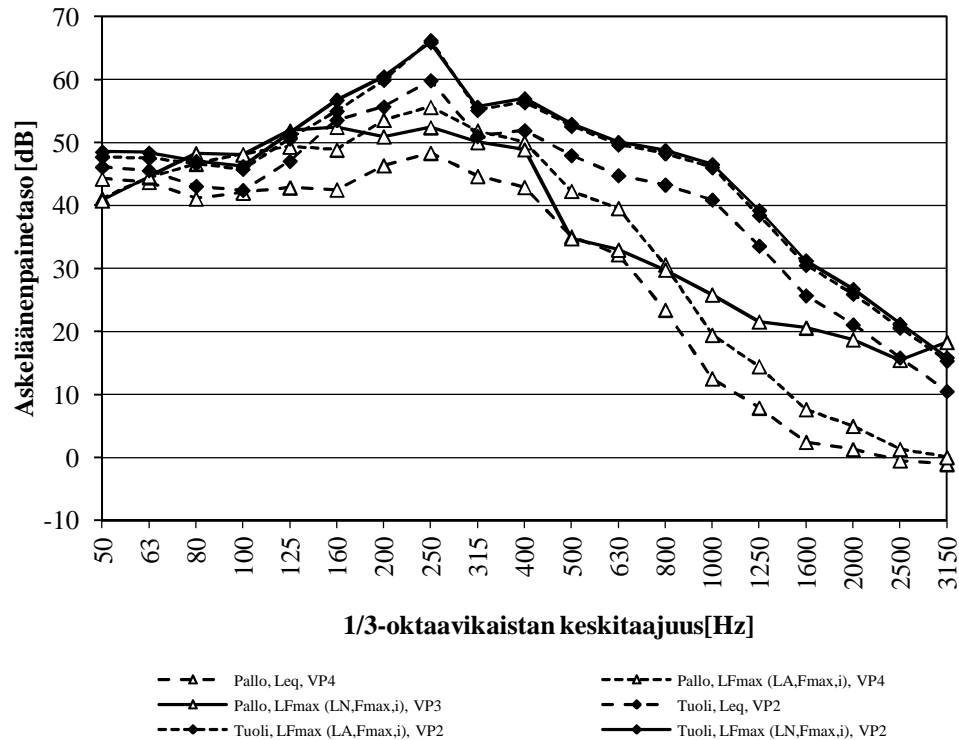
Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella määritettiin heikoimmat rakenteet ja mittalukuja tässä järjestyksessä vastaavat askeläänispektrit  $L_{eq}$ ,  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) (kuva 5.3). Kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella selvästi heikoin rakenne oli parkettipäällysteinen välipohja VP4. Kuvasta huomataan, että kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen perusteella muodostetun äänekyystason perusteella saatujen spektrien askeläänienpainetaso oli keskitajuuksilla suurempi kuin muilla spektreillä. Ylipäätään voidaan todeta, että kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella epäedullisia pintarakenteita olivat sellaiset rakenteet, joiden ominaistaajuus sijaitsi taajuusalueella 400–500 Hz, koska kovapohjaisilla kengillä kävely herättää juuri nämä taajuudet. Verrattuna pehmeöpohjaisilla kengillä kävelyyn, kovapohjaisilla kengillä kävely tuotti heikoimmilla rakenteilla vähemmän ääntä pienillä taajuuksilla.





**Kuva 5.3.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamat mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella saadut äänekkäimmät rakenteet ja niiden spektrit kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz eri kävelijöillä.

Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella määritettiin äänekkäimmät rakenteet ja mittalukuja tässä järjestyksessä vastaavat askeläänispektrit  $L_{eq}$ ,  $L_{Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_{Fmax}$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) (kuva 5.4). Pallon pompottamisen perusteella äänekkäimmät rakenteet olivat muovimattopäällysteinen välipohja VP3 ja parkettipäällysteinen välipohja VP4 ja tuolin siirron perusteella muovimattopäällysteinen välipohja VP2. Näiden todellisten askeläänien perusteella saatujen askeläänispektrien maksimit sijaitsivat taajuudella 250 Hz. Herätteiden tuottamat äänispektrit loivia ja herätteet tuottivat ääntä vielä yli 1000 Hz:n taajuuksilla. Kävelyyn verrattuna huomattavaa on, että pallon pompottaminen ja tuolin siirto tuottivat heikoimmilla rakenteilla suhteessa enemmän ääntä yli 100 Hz:n taajuuksilla, kun taas esimerkiksi sukilla kävely tuotti heikoimmilla rakenteilla suhteellisesti enemmän ääntä taas pienillä alle 100 Hz:n taajuuksilla.



**Kuva 5.4.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottamat mittalukujen  $L_{A,eq}$ ,  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) perusteella saadut äänekkäimmät rakenteet ja niiden spektrit kolmannesoktaavikaistoittain taajuusalueella 50–3150 Hz.

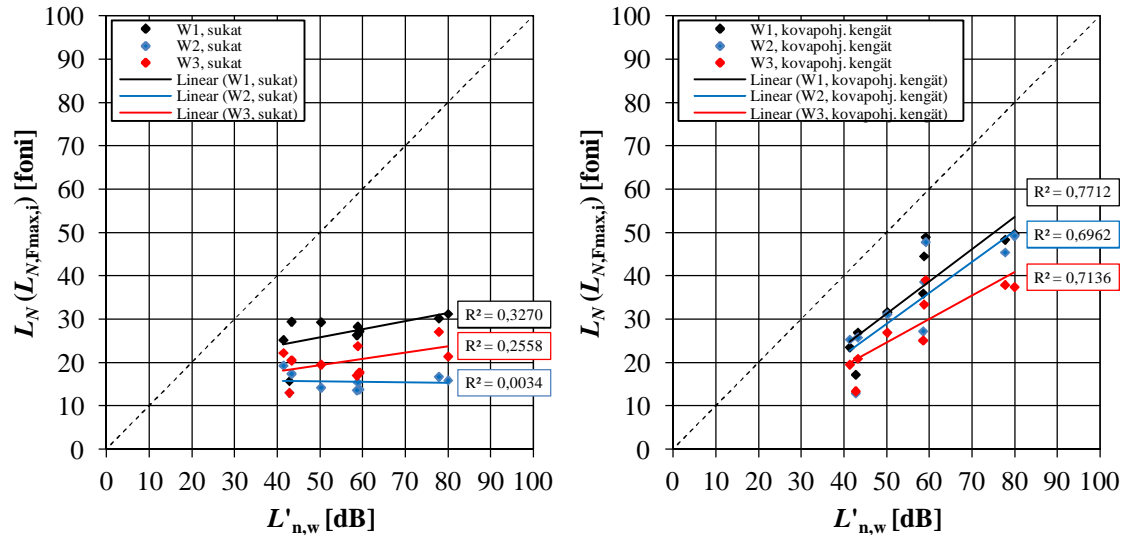
## 5.4 Mittalukujen korrelaatio

Nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisten rakennusakustisten mittalukujen ja todellisen askeläänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen yhdenmukaisuutta tutkittiin menetelmien tuottamien mittalukujen perusteella asetettujen paremuusjärjestysten lisäksi myös mittalukujen välisellä korrelaatiolla. Psykoakustisten ja normalisoitujen rakennusakustisten mittalukujen välinen lineaarinen korrelaatio selvitettiin sovittamalla kaikille rakenteille saatujen mittalukujen pistejoukkoon lineaarinen regressiosuora ja korrelaatiota kuvaava selitysaste  $R^2$ , joka saa arvoja väliltä 0...1. Tulokset on esitetty liitteessä 11. Selitysasteen  $R^2$  ollessa 0 ei mittalukujen välillä ole lainkaan lineaarista riippuvuutta, kun taas jos  $R^2$  on 1, voidaan sanoa, että mittalukujen välillä vallitsee täydellinen lineaarinen riippuvuus [31]. Kaikkien mittalukujen väliset selitysasteet eri herätteillä on esitetty koottuna taulukossa 5.15.

Kaikissa tapauksissa otoskoko oli sama kuin välipohjarakenteiden määrä tutkimuksessa eli 9. Tässä tutkittiin juuri lineaarista korrelaatiota sen takia, että rakennusakustisten mittalukujen tulisi vastata subjektiivista käsitystä todellisten askelääniherätteiden tuottamasta äänestä. Toisin sanoen rakennusakustisten mittalukujen kasvaessa tulisi psykoakustisten mittalukujen kasvaa samassa suhteessa.

Kuvassa 5.5 on esitetty esimerkkinä sukilla ja kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella saadun äänekkyystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykyisen menetelmän mukaisen askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  lineaarinen regressiomalli. Kuvaan on merkitty kunkin kävelijän

tuottamat mittalukujen väliset suhteet ja niiden perusteella määritetyt lineaarinen regressiosuorat sekä selitysasteet  $R^2$  (kehykset) eri värillä: kävelijän W1 arvot mustalla, kävelijän W2 sinisellä ja kävelijän W3 punaisella. Kuvan perusteella voidaan todeta, että sukilla kävelyn tuottamat mittaluvut eivät korreloi ja kovapohjaisilla kengillä kävely korreloi jonkin verran askeläänitasoluvun kanssa.



**Kuva 5.5.** Esimerkki korrelaation määrittämisestä. Sukilla kävelyn tuottaman askelään äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  (vasemmalla) ja kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askelään äänekkyydystason  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  (oikealla) lineaarinen regressiomalli eri kävelijöillä.

Taulukossa 5.15 rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja  $R_{\text{impact}}$  korrelaatio todellisen askeläänihäritteen tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen kanssa on esitetty samassa sarakkeessa, koska mittaluvut ovat käytännössä samat, mutta vastakkaisuuntaiset. Tulee siis huomata, että vaikka selitysaste  $R^2$  tuottaa mittaluvuille saman tuloksen, on todellisen askelään tuottama korrelaatio mittaluvun  $R_{\text{impact}}$  kanssa negatiivinen ja mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  kanssa positiivinen. Tulosten perusteella voidaan todeta, että sukilla kävely ei korreloinut rakennusakustisten mittalukujen kanssa ja täten niiden välillä ei vallitse lineaarista riippuvuutta. Parhaiten rakennusakustisten mittalukujen kanssa korreloi kovapohjaisilla kengillä kävely mittalukujen välisen selitysasteen  $R^2$  ollessa parhaimmillaan yli 0,8. Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottamasta äänestä paremmin rakennusakustisten mittalukujen kanssa korreloi tuolin siirto. Tuolin siirron tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen ja rakennusakustisten mittalukujen korrelaatio oli 0,68–0,80.

**Taulukko 5.15.** Nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisten normalisoitujen rakennusakustisten ja eri askelääniherätteiden tuottaman askeläänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen välinen selityssaste  $R^2$ .

Askelääniheräte	Mittaluku	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w} + C_I$	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} / R_{\text{impact}}$
Kävelijän W1 sukilla kävely	$L_{A,eq}$	0,05	0,04	0,14
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,05	0,05	0,15
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,33	0,34	0,51
Kävelijän W2 sukilla kävely	$L_{A,eq}$	0,02	0,06	0,01
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,01	0,03	0,00
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,00	0,05	0,01
Kävelijän W3 sukilla kävely	$L_{A,eq}$	0,04	0,02	0,07
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,05	0,03	0,09
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,26	0,18	0,27
Kävelijän W1 pehmeöpohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,22	0,28	0,37
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,27	0,37	0,45
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,72	0,83	0,78
Kävelijän W2 pehmeöpohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,00	0,00	0,02
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,02	0,05	0,10
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,19	0,33	0,29
Kävelijän W3 pehmeöpohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,42	0,50	0,56
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,49	0,59	0,63
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,76	0,85	0,80
Kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,63	0,70	0,72
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,66	0,75	0,76
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,77	0,86	0,86
Kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,60	0,62	0,68
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,63	0,68	0,73
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,70	0,73	0,78
Kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,30	0,34	0,43
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,39	0,45	0,54
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,71	0,80	0,81
Pallon pompottaminen	$L_{A,eq}$	0,35	0,50	0,33
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,38	0,53	0,35
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,42	0,52	0,35
Tuolin siirto	$L_{A,eq}$	0,76	0,71	0,77
	$L_{A,Fmax} (L_{A,Fmax,i})$	0,79	0,74	0,80
	$L_N (L_{N,Fmax,i})$	0,79	0,68	0,72

## 6 YHTEENVETO

### 6.1 Välipohjien rakennus- ja psykoakustinen askelääneneristys

Kirjallisuudessa on esitetty ISO-standardin mukaisen askelääneneristyksen arviointimenetelmän kehittämisen ratkaisumalleiksi vaihtoehtoisten äänilähteiden käyttöä ja mittausmenetelmän muuttamista. Vaihtoehtoisiksi äänilähteiksi askeläänikojeen korvaajaksi on esitetty muunnettuja askeläänikojeita, kojetta, jolla rengasta pudotetaan tutkittavan välipohjan päälle, kumipalloa ja muita äänilähteitä. Näistä kojeista hyviä tuloksia välipohjien askelääneneristyksen ja subjektiivisen käsityksen kanssa on saatu muun muassa rengaskojeella ja kumipallolla. On kuitenkin esitetty, että askeläänikojeen korvaamiseen toisella äänilähteellä ei ole syytä, koska subjektiivisesti hyviä tuloksia voitaisiin saavuttaa myös muuttamalla mittalukujen laskentamenetelmää. Askeläänikojetta ei tule vaihtaa toiseen äänilähteeseen myöskään sen takia, että jos askeläänikoje vaihdettaisiin, tulisi vanhoista mittaustuloksista vertailukelvottomia.

Ratkaisumalleja, joilla askeläänikojetta voitaisiin edelleen käyttää askelääneneristyksen arvioinnissa, ovat vertailukäyrämenettelyn ja mittaustulosten normalisointitavan muuttaminen. Etenkin vertailukäyrämenettelyn muuttamisella on esitetty saatavan hyviä tuloksia subjektiivisen käsityksen kanssa. Nykyisen standardin ISO 717-2 tilalle on ehdotettu menetelmää, jonka mukaan vertailukäyrämenettely poistuu käytöstä. Standardiehdotuksen mukaisessa menetelmässä vertailuspektrinä käytetään rakenteeseen kohdistuneen äänitehotason ja toiselle puolelle siirtyneen äänitehotason suhdetta eli askeläänikojeen spektriä.

Koska kirjallisuuden perusteella askeläänikojeen tuottama äänispektri ei vastaa subjektiivista kokemusta askelääneneristyksestä, tässä tutkimuksessa selvitettiin askeläänikojein todellisen askeläänihäätteen ja askeläänikojeen tuottamaa ääntä. Tutkimus suoritettiin yhdeksällä eri välipohjarakenteella VP1...VP9, joiden kantava rakenne oli 265 mm paksu ontelolaatasto ja pintarakenteet olivat erilaiset. Todellisina askeläänihäätteinä tutkimuksessa toimivat kävely, pallon pompottaminen ja tuolin siirto. Näiden askeläänihäätteen tuottamia ääniä verrattiin rakenteille saatuihin nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisiin rakennusakustisiin mittalukuihin. Häätteen tuottamista äänistä johdettiin psykoakustiset mittaluvut A-painotettu ekvivalentti kokonaisäänitaso  $L_{A,eq}$ , A-painotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,Fmax}$  ja äänekkyystaso  $L_N$ , joiden perusteella voidaan arvioida äänten tuottamaa aistimusta. Mittalukujen mukaan voitiin johtaa välipohjien paremmuusjärjestykset eri mittaluvuilla ja äänihäätteinä arvioituna.

Rakennusakustisten mittalukujen mukaisen paremmuusjärjestyksen perusteella parhaat välipohjarakenteet olivat tekstiilimattopäällysteinen välipohja VP6 ja kelluva välipohja VP9. Heikoimmat rakenteet olivat sen sijaan raakavälipohja VP1 ja muovimattopäällysteinen välipohja VP2. Askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen mukainen välipohjien järjestys oli suunnilleen samanlainen kuin rakennusakustisilla mittaluvuilla.

Kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen mukaan saadut välipohjien paremmuusjärjestykset olivat hyvin erilaiset kuin rakennusakustisten mittalukujen mukaiset järjestykset. Ne riippuivat kuitenkin kävelijän lisäksi myös siitä, käveltiinkö sukilla, pehmeöpohjaisiin tai kovapohjaisiin kengin. Kävelyn perusteella parhaimmaksi rakenteeksi arvioitui tekstiilimattopäällysteinen välipohja VP6. Heikoimmat rakenteet olivat sukilla kävelyn perusteella kelluvat rakenteet VP7...VP9 ja muovimattopäällysteinen välipohja VP2. Pehmeä- ja kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella heikoimmaksi rakenteeksi osoittautui parkettipäällysteinen välipohja VP4. Huomattavaa oli muun muassa se, että sukilla kävelyn perusteella kelluvat välipohjarakenteet asettuivat pääasiassa järjestykseen VP9, VP8 ja VP7 huonoimmasta parhaimpaan, kun taas kengillä kävelyn ja rakennusakustisten mittalukujen perusteella järjestys oli päinvastainen. Kävelyn tuottamien psykoakustisten mittalukujen mukaan välipohjien väliset erot olivat pienemmät kuin askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella.

Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen avulla saadut paremmuusjärjestykset poikkesivat niin ikään rakennusakustisten mittalukujen mukaisista järjestyksistä. Pallon pompottamisen perusteella heikoimmiksi rakenteiksi arvioituivat muovimattopäällysteinen välipohja VP3 ja parkettipäällysteinen välipohja VP4. Sen sijaan kelluvat välipohjat VP7...VP9 osoittautuivat parhaiksi rakenteiksi. Pallon pompottamisen tuottaman äänen perusteella välipohjien väliset erot olivat huomattavasti pienemmät kuin askeläänikojeen tuottaman äänen perusteella. Tuolin siirron perusteella heikoimpia rakenteita olivat sen sijaan raakavälipohja VP1, muovimattopäällysteinen välipohja VP2 ja parkettipäällysteinen rakenne VP4. Tuolin siirron perusteella parhaat välipohjarakenteet olivat kelluvat välipohjat VP8 ja VP9. Tuolin siirron perusteella välipohjien väliset erot olivat suurempia kuin muiden todellisten askelääniherätteiden mukaan.

Kaikkiaan voidaan todeta, että tutkimuksen perusteella rakennusakustiset mittaluvut eivät tuota välipohjille samanlaista paremmuusjärjестystä kuin todellisten askeläänien perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen mukaan arvioituna. Kuitenkin käytännössä välipohjien askelääneneristävyttä arvioidaan subjektiivisesti todellisten askeläänien perusteella. Täten välipohjarakenteet arvioituvat ihmisten käsityksen mukaan virheellisesti. Myöskään askeläänikojeella saadut välipohjien väliset erot eivät kuvaa todellisuutta, esimerkiksi kävelyn perusteella rakenteiden väliset erot olivat huomattavasti pienemmät.

## 6.2 Rakennus- ja psykoakustisten mittalukujen korrelaatio

Nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisten rakennusakustisten mittalukujen ja todellista askelääntä kuvaavien psykoakustisten mittalukujen välistä korrelaatiota tutkittiin lineaarisella regressioanalyysillä. Korrelaation perusteella voidaan päätellä, kuinka hyvin rakennusakustiset mittaluvut vastaavat ihmisen kokemusta välipohjien askelääneneristyksestä. Tutkimuksessa mittalukujen välisen lineaarisen regression perusteella määritettiin korrelaatiota kuvaava selitysaste  $R^2$ , joka saa arvoja 0...1. Selitysasteen  $R^2$  ollessa 0 ei mittalukujen välillä ole lainkaan lineaarista riippuvuutta, kun taas jos  $R^2$  on 1, voidaan sanoa, että mittalukujen välillä vallitsee täydellinen lineaarinen riippuvuus.

Tutkimuksen tulosten perusteella sukilla kävelyn tuottaman askeläänänen ja rakennusakustisten mittalukujen välillä ei vallinnut lineaarista riippuvuutta. Selitysaste sukilla kävelyn tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja rakennusakustisten mittalukujen välillä oli 0,00–0,51. Suurempi korrelaatio saatiin kengillä kävelyn tuottaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen välille. Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen korrelaatio oli suurempaa kuin pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen korrelaatio. Psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ja rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w} + C_1$ ,  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja  $R_{\text{impact}}$  välinen selitysaste  $R^2$  oli kovapohjaisilla kengillä kävelyn perusteella 0,70–0,86 ja pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn perusteella 0,19–0,85.

Pallon pompottamisen tuottaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen välinen selitysaste  $R^2$  oli 0,33–0,53. Parhaiten pallon pompottamisen tuottaman äänen kanssa korreloi rakennusakustinen mittaluku  $L'_{n,w} + C_1$ . Tuolin siirron tuottaman äänen perusteella muodostettujen psykoakustisten mittalukujen ja rakennusakustisten mittalukujen selitysaste  $R^2$  oli 0,68–0,80. Näin ollen tuolin siirron tuottaman äänen perusteella määritettyjen psykoakustisten mittalukujen ja rakennusakustisten mittalukujen välinen korrelaatio oli suurempaa kuin pallon pompottamisen tuottaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen välillä.

## LÄHTEET

1. ANSI S3.4-2007. Procedure for the computation of loudness for steady sounds. New York, American National Standards Institute, Inc., 33 p.
2. Belmondo, V. E., Heebink, T. B. & Brittain, F. H. 1973. Ranking the impact sound transmission of wood-framed floor-ceiling assemblies. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 54(6), pp. 1433–1441.
3. Beranek, L. L. 1949. A report on the international conference on acoustics, London, 1948. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 21(3), pp. 264–269.
4. Blazier, W. E. & DuPree, R. B. 1994. Investigation of low-frequency footfall noise in wood-frame, multifamily building construction. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 96(3), pp. 1521–1532.
5. Bodlund, K. 1985. Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 102(3), pp. 381–402.
6. Cremer, L. 1960. *Der Sinn der Sollkurven. Schallschutz von Bauteilen*. Berlin, Wilhelm Ernst & Sohn, p.1–9.
7. Ehdotus ääneneristysmääräyksiksi. 1960. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, tiedotus 42.
8. EN ISO 10140-3:2010. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 3: Measurement of impact sound insulation. Brussels, European Committee for Standardization, 22 p.
9. EN ISO 10140-5:2010. Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 5: Requirements for test facilities and equipment. Brussels, European Committee for Standardization, 45 p.
10. EN ISO 140-7:1998. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors. Brussels, European Committee for Standardization, 20 p.
11. EN ISO 354:2003. Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room. Brussels, European Committee for Standardization, 21 p.



12. EN ISO 717-1:1996. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Brussels, European Committee for Standardization, 20 p.
13. EN ISO 717-2:1996. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. Brussels, European Committee for Standardization, 16 p.
14. Fasold, W. 1965. Untersuchungen über den Verlauf der Sollkurve für den Trittschallschutz im Wohnungsbau. *Acustica*. Vol. 15, pp. 271–284.
15. Fastl, H. & Zwicker, E. 2007. *Psychoacoustics – Facts and models*. 3<sup>rd</sup> ed. Berlin, Springer. 462 p.
16. Ford, R. D., Hothersall, D. C. & Warnock, A. C. C. 1974. The impact insulation assessment of covered concrete floors. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 33(1), pp. 103–115.
17. Gerretsen, E. 1976. A new system for rating impact sound insulation. *Applied Acoustics*. Vol. 9(4), pp. 247–263.
18. Glasberg, B. R. & Moore, B. C. J. 2002. A model of loudness applicable to time-varying sounds. *The Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 50(5), pp. 224–240.
19. Gösele, K. 1949. Zur Meßmethodik der Trittschalldämmung. *Gesundheitsingenieur* Vol. 70, pp. 66–70.
20. Hagberg, K. G. 2010. Evaluating field measurements of impact sound. *Building Acoustics*. Vol. 17(2), pp. 105–128.
21. Ingerslev, F., Nielsen, A. K. & Larsen, S. F. 1947. The measuring of impact sound transmission through floors. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 19, pp. 981–987.
22. ISO 532:1975. Acoustics – Method for calculating loudness level. Switzerland, International Organization for Standardization, 18 p.
23. Jeon, J. Y., Jeong, J. H & Ando, Y. 2002. Objective and subjective evaluation of floor impact noise. *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*. Vol. 2(1), pp. 20–28.

24. Jeon, J. Y., Jeong, J. H., Vorländer, M. & Thaden, R. 2004. Evaluation of floor impact sound insulation in reinforced concrete buildings. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 90(2), pp. 313–318.
25. Jeon, J. Y., Ryu, J. K., Jeong, J. H. & Tachibana, H. 2006. Review of the impact ball in evaluating floor impact sound. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 92(5), pp. 777–786.
26. Jeon, J. Y. & Sato, S.-i. 2008. Annoyance caused by heavyweight floor impact sounds in relation to the autocorrelation function and sound quality metrics. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 311, pp. 767–785.
27. Jeon, J. Y., Lee, P. J., Kim, J. H. & Yoo S. Y. 2009. Subjective evaluation of heavy-weight floor impact sounds in relation to spatial characteristics. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 125(5), pp. 2987–2994.
28. Jeon, J. Y., Lee, P. J. & Sato, S.-i. 2009. Use of the standard rubber ball as an impact source with heavyweight concrete floors. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 126(1), pp. 167–178.
29. Karjalainen, M. 2009. *Kommunikaatioakustiikka, 2. painos*. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta, Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos, raportti 7, 255 s.
30. Kovalainen, V. 2012. *Kävelyn toistettavuuden arviointi askelääniherätteenä*. Erikoistyö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma.
31. Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J. & Li, W. 2005. *Applied linear statistical models*. 5<sup>th</sup> ed. New York, McGraw-Hill. 1396 p.
32. Kylliäinen, M. & Helimäki, H. 2003. Effects of new sound insulation requirements on concrete floors in Finland. *Ultragarsas*, nr. 2(47) pp. 16–20.
33. Kylliäinen, M. 2003. Spektrisovitusermien käyttö välipohjien askelääneneristyksen arvioinnissa. *Akustiikkapäivät, Turku, 2003*. s. 23–28.
34. Kylliäinen, M. 2003. *Uncertainty of impact sound insulation measurements in field*. Tampere, Tampere University of Technology, Laboratory of Structural Engineering. Research report 125. 63 p. + app. 50 p.

35. Kylliäinen, M. 2008. Askelääneneristyksen mittausmenetelmän ongelmien tausta. *Rakenteiden Mekaniikka*. Vol. 41(1), s. 58–65.
36. Kylliäinen, M. 2011. The accuracy of impact sound insulation measurements in field conditions. *Proceedings of the Forum Acusticum*, Aalborg, Denmark, June 26<sup>th</sup> to July 1<sup>st</sup>, 2012. pp. 1377–1382.
37. Kylliäinen, M. 2012. The uncertainty of single-number quantities for evaluation of impact sound insulation at the enlarged frequency range. *Proceedings of the Euro-noise 2012*, Prague, Czech, June 10<sup>th</sup>–13<sup>th</sup>, 2012. pp. 1465–1471.
38. Kylliäinen, M. 2012. Rating of floors with the proposed impact sound reduction index. *Proceedings of the Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting*, Odense, Denmark, June 18<sup>th</sup>–20<sup>th</sup>, 2012.
39. Lee, P. J., Kim, J. H. & Jeon, J. Y. 2009. Psychoacoustical characteristics of impact ball sounds on concrete floors. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 95(4), pp. 707–717.
40. Lietzén, J. 2011. Asuinhuoneistojen välisen ääneneristyksen kehittyminen Suomessa vuosina 1955–2008. Kandidaatintyö. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 34 s. + liitt. 24 s.
41. Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2012. The development of sound insulation between Finnish dwellings from 1955 to 2008. *Proceedings of the Euronoise 2012*, Prague, Czech, June 10<sup>th</sup>–13<sup>th</sup>, 2012. pp. 1459–1464.
42. Lindblad, S. 1968. Impact sound characteristics of resilient floor coverings. Lund, The Lund Institute of Technology, Division of Building Technology. Bulletin 2.
43. LoVerde, J. J. & Dong, W. 2005. Field impact insulation testing: Inadequacy of existing normalization methods and proposal for new ratings analogous to those for airborne noise reduction. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 118(2), pp. 638–646.
44. Mariner, T. 1964. Technical problems in impact noise testing. *Building Research* 1, pp. 52–60.
45. Moore, B. C. J. & Glasberg, B. R. 1996. A revision of Zwicker's loudness model. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 82(2), pp. 335–345.

46. Moore, B. C. J., Glasberg, B. R. & Baer, T. 1997. A model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness. *The Journal of the Audio Engineering Society*. Vol. 45(4), pp. 224–240.
47. Mortensen, F. R. 1999. Subjective evaluation of noise from neighbours with focus on low frequencies. Kongens Lyngby, Technical University of Denmark, Department of Acoustic Technology. Publication no 53.
48. Nordstedt, J. R. 1979. Comparison between different methods for impact testing of floors. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 65(2), pp. 418–424.
49. Olynyk, D. & Northwood, T. D. 1965. Subjective judgments of footstep-noise transmission through floors. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 38(6), pp. 1035–1039.
50. Olynyk, D. & Northwood, T. D. 1968. Assessment of footstep noise through wood-joint and concrete floors. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 43(4), pp. 730–733.
51. Parjo, M. 1965. Kalustetun asuinhuoneen jälkikaiunta-aika ja äänenabsorptio. *Akustinen aikakauslehti*. Vol. 4, s. 7–9.
52. Park, B., Jeon, J. Y. & Park, J. 2010. Force generation characteristics of standard heavyweight impact sources used in the sound generation of building floors. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 128(6), pp. 3507–3512.
53. Preis, A., Ishibashi, M. & Tachibana, H. 2000. Psychoacoustic studies on assessment of floor impact sounds. *The Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*. Vol. 21(2), pp. 69–77.
54. Rasmussen, B. & Rindel, J. H. 2010. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. *Applied Acoustics* 71(3), pp. 171–180.
55. Rasmussen, B. 2010. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*. Vol. 71(4), pp. 373–385.
56. RIL 55. 1967. Ääneneristysnormit. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.
57. RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu – akustiikan perusteet. Helsinki, Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

58. Ryu, J., Sato, H., Kurakata, K., Hiramitsu, A. Tanaka, M. & Hirota, T. 2011. Relation between annoyance and single-number quantities for rating heavy-weight floor impact sound insulation in wooden houses. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 125(5), pp. 3047–3055.
59. Scholl, W. 2011. Revision of ISO 717: Why not use impact sound reduction indices instead of impact sound pressure levels? *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 97(3), pp. 503–508.
60. Scholl, W., Lang, J. & Wittstock, V. 2011. Rating of sound insulation at present and in future. The Revision of ISO 717. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 97(4), pp. 686–698.
61. Schultz, T. J. 1976. Alternative test method for evaluating impact noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 60(3), pp. 645–655.
62. SFS 5907:2004. Rakennusten akustinen luokitus. Helsinki, Suomen standardisoi-misliitto SFS ry.
63. Shi, W., Johansson, C. & Sundbäck, U. 1997. An investigation of the characteristics of impact sound sources for impact sound insulation measurement. *Applied Acous-tics*. Vol. 51(1), pp. 85–108.
64. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta ra-kennuksessa – Määräykset ja ohjeet. 1998. Helsinki, ympäristöministeriö.
65. Warnock, A. C. C. 2000. Low-frequency impact sound transmission through floor systems. Ottawa, Ontario, National Research Council, Canada, Institute for Re-search in Construction 44211.
66. Warnock, A. C. C. 2002. Investigation of use of the tire impact machine as standard device for rating impact sound transmission of floors. Ottawa, Ontario, National Research Council, Canada, Institute for Research in Construction 44301.
67. Watters, B. G. 1965. Impact-noise characteristics of female hard-heeled foot traffic. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 37(4), pp. 619–630.
68. Wittstock, V. 2012. On the spectral shape of the sound generated by standard tap-ping machines. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 98(2), pp. 301–308.

69. Yoo, S. Y., Lee, P. J, Lee, S. Y. & Jeon, J. Y. 2010. Measurement of sound field for floor impact sounds generated by heavy/soft impact sources. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 96(4), pp. 761–772.
70. Zwicker, E. 1977. Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 62(3), pp. 675–682.
71. Ääneneristystutkimustoimikunta. 1955. Kerrostalojen ääneneristys. Valtion teknillinen tutkimuslaitos VTT, rakennustekniikan laboratorio.



## LIITTEET

- Liite 1: Liitteissä esitettyjen englanninkielisten merkintöjen suomenkieliset vastineet ja nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset tulokset välipohjarakenteilla VP1...VP9. 20 s.
- Liite 2: Mittaustulokset välipohjalla VP1. 11 s.
- Liite 3: Mittaustulokset välipohjalla VP2. 11 s.
- Liite 4: Mittaustulokset välipohjalla VP3. 11 s.
- Liite 5: Mittaustulokset välipohjalla VP4. 11 s.
- Liite 6: Mittaustulokset välipohjalla VP5. 11 s.
- Liite 7: Mittaustulokset välipohjalla VP6. 10 s.
- Liite 8: Mittaustulokset välipohjalla VP7. 11 s.
- Liite 9: Mittaustulokset välipohjalla VP8. 11 s.
- Liite 10: Mittaustulokset välipohjalla VP9. 11 s.
- Liite 11: Mittalukujen korrelaatio. 12 s.





## Liite 1: Liitteissä esitettyjen englanninkielisten merkintöjen suomenkieliset vastineet ja nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset tulokset välipohjarakenteilla VP1...VP9

**Taulukko L1.1.** Liitteissä 1...10 esitettyjen englanninkielisten merkintöjen suomenkieliset vastineet.

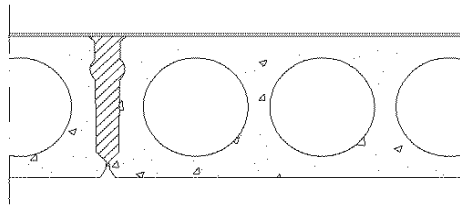
<i>In english</i>	<b>suomeksi</b>
<i>1/3-octave band centre frequency</i>	kolmannesoktaavikaistan keskitaajuus
<i>age</i>	ikä
<i>all</i>	kaikki
<i>ball</i>	pallo
<i>bounce</i>	pompottaa
<i>choose</i>	valita
<i>curve of reference values</i>	vertailukäyrä
<i>cushion vinyl</i>	muovimatto
<i>criterium</i>	kriteeri
<i>duration of the measurement</i>	mittauksen kesto
<i>during</i>	aikana
<i>energetic average</i>	energeettinen keskiarvo
<i>field</i>	kenttä
<i>floor covering</i>	lattianpäällyste
<i>hard-heeled shoes</i>	kovapohjaiset kengät
<i>height</i>	pituus
<i>hollow core slab</i>	ontelolaatta
<i>impact sound excitation</i>	askelääniheräte
<i>impact sound insulation</i>	askelääneneristys
<i>impact sound pressure level</i>	askeläänenpainetaso
<i>impact sound reduction index</i>	askelääneneristävyys
<i>index</i>	mittaluku
<i>levelling compound</i>	tasoite
<i>male</i>	mies
<i>mass</i>	massa
<i>maximum sound spectra</i>	enimmäisäänispektri
<i>measurement date</i>	mittauspäivämäärä
<i>mineral wool</i>	mineraalivilla
<i>moving</i>	siirtäminen
<i>multilayer parquet</i>	lautaparketti
<i>normalized impact sound pressure level</i>	normalisoitu askeläänenpainetaso
<i>on the basis</i>	jonkin perusteella
<i>phon</i>	foni
<i>plasterboard</i>	kipsilevy
<i>proposal</i>	ehdotus
<i>rating</i>	arviointi
<i>receiver room</i>	vastaanottohuone
<i>shoe size</i>	kengän koko
<i>single-number quantity</i>	yksilukuinen mittaluku
<i>socks</i>	sukat

<i>soft-heeled shoes</i>	pehmeäpohjaiset kengät
<i>son</i>	soni
<i>stage</i>	vaihe
<i>standard</i>	standardi
<i>step</i>	askel
<i>structure</i>	rakenne
<i>superball</i>	superpallo
<i>tapping machine</i>	askeläänikoje
<i>to base on</i>	perustua johonkin
<i>underlayment</i>	parketinalusmateriaali
<i>value</i>	arvo
<i>volume</i>	tilavuus
<i>walk</i>	kävely
<i>walker</i>	kävelijä
<i>wall-to-wall carpet</i>	tekstiilimatto
<i>wooden chair</i>	puinen tuoli
<i>year</i>	vuosi



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP1/01a



**Structure:**

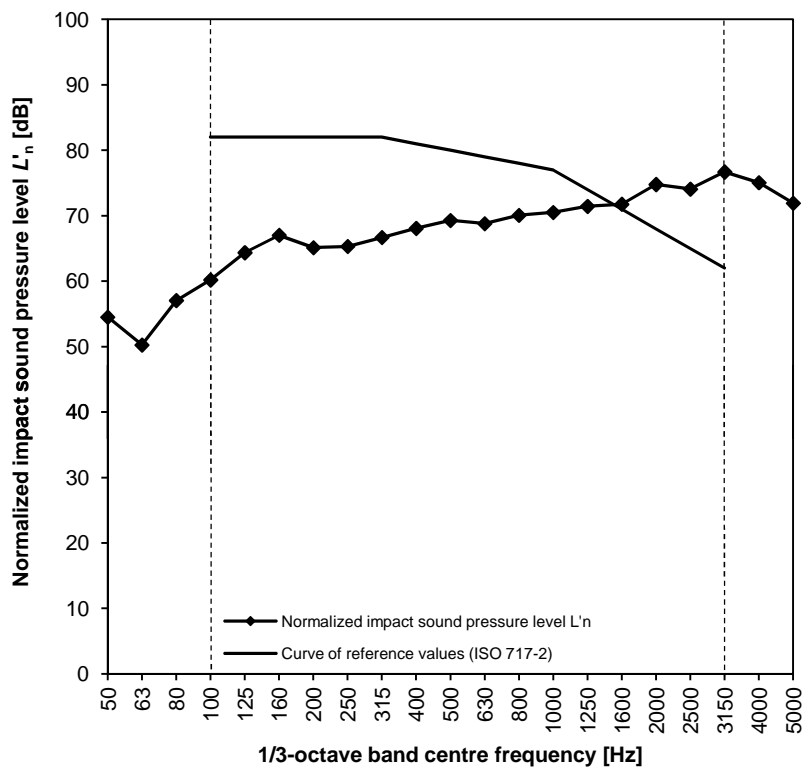
- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 30.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

<i>f</i> [Hz]	<i>L'</i> <sub><i>n</i></sub> [dB]	<i>L'</i> <sub><i>nT</i></sub> [dB]
50	54,5	62,7
63	50,3	56,8
80	57,0	55,6
100	60,2	55,0
125	64,4	59,6
160	67,0	62,8
200	65,1	61,9
250	65,3	60,7
315	66,7	62,0
400	68,1	63,6
500	69,3	64,8
630	68,8	65,0
800	70,1	66,0
1000	70,5	66,3
1250	71,4	67,6
1600	71,8	68,7
2000	74,8	71,2
2500	74,1	70,6
3150	76,7	72,3
4000	75,0	70,0
5000	71,9	66,6

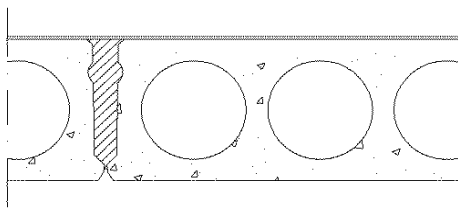


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
<i>L'</i> <sub><i>n,w</i></sub>	=	80 dB	<i>L'</i> <sub><i>n,w</i></sub>	= 79,9 dB
<i>L'</i> <sub><i>n,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I</i></sub>	=	67 dB	<i>L'</i> <sub><i>n,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I</i></sub>	= 66,7 dB
<i>L'</i> <sub><i>n,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I,50-2500</i></sub>	=	67 dB	<i>L'</i> <sub><i>n,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I,50-2500</i></sub>	= 66,7 dB
<i>L'</i> <sub><i>nT,w</i></sub>	=	77 dB	<i>L'</i> <sub><i>nT,w</i></sub>	= 76,3 dB
<i>L'</i> <sub><i>nT,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I</i></sub>	=	63 dB	<i>L'</i> <sub><i>nT,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I</i></sub>	= 62,9 dB
<i>L'</i> <sub><i>nT,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I,50-2500</i></sub>	=	63 dB	<i>L'</i> <sub><i>nT,w</i></sub> + <i>C</i> <sub><i>I,50-2500</i></sub>	= 63,1 dB
$\Delta L_w$	=	0 dB		



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP1/01b



**Structure:**

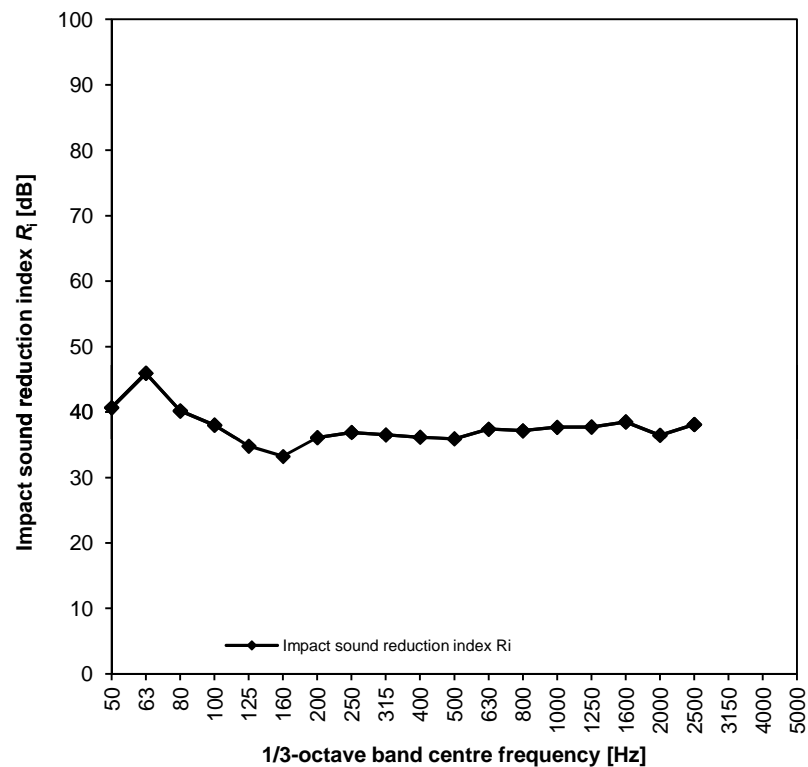
- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

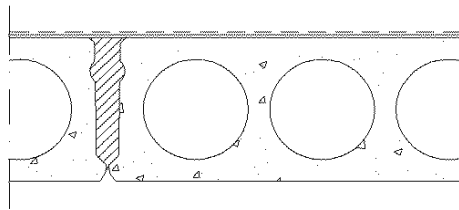
**The measurement date:** 30.7.2012

**Receiver room volume:** 60 m<sup>3</sup>

<i>f</i> [Hz]	<i>R<sub>i</sub></i> [dB]	<i>D<sub>nT,i</sub></i> [dB]
50	40,7	32,4
63	45,9	39,4
80	40,2	41,6
100	38,0	43,2
125	34,8	39,6
160	33,2	37,5
200	36,1	39,3
250	36,9	41,5
315	36,5	41,1
400	36,1	40,6
500	35,9	40,4
630	37,4	41,2
800	37,2	41,2
1000	37,7	41,9
1250	37,7	41,6
1600	38,5	41,6
2000	36,4	40,0
2500	38,1	41,6
3150		
4000		
5000		



Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	37 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	41 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	40,9 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	0 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	0,0 dB



**Structure:**

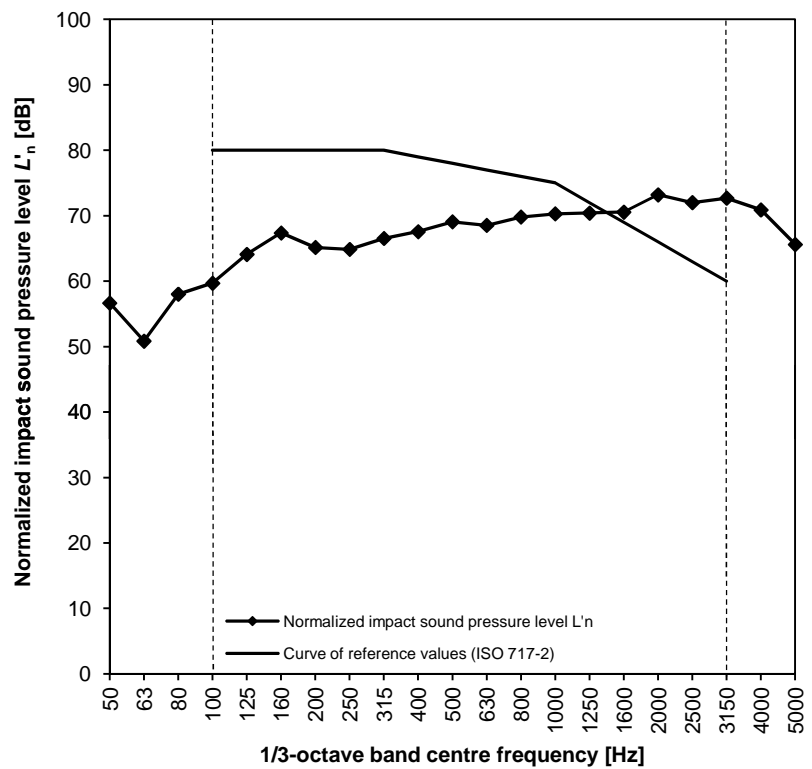
- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 19.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_{n}$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	56,7	64,9
63	50,9	57,4
80	58,0	56,6
100	59,7	54,5
125	64,1	59,4
160	67,4	63,1
200	65,1	62,0
250	64,9	60,2
315	66,5	61,9
400	67,6	63,1
500	69,1	64,6
630	68,5	64,7
800	69,8	65,8
1000	70,3	66,0
1250	70,4	66,6
1600	70,6	67,5
2000	73,2	69,6
2500	72,0	68,5
3150	72,7	68,3
4000	70,9	65,9
5000	65,6	60,3

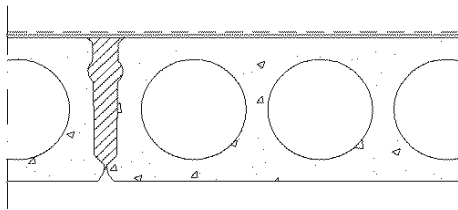


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Quantity	Value	Quantity	Value
$L'_{n,w}$	=	78 dB	$L'_{n,w}$	= 77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	66 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	66 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 65,8 dB
$L'_{nT,w}$	=	74 dB	$L'_{nT,w}$	= 74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	62 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	62 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 62,3 dB
$\Delta L_w$	=	2 dB		



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP2/01b



**Structure:**

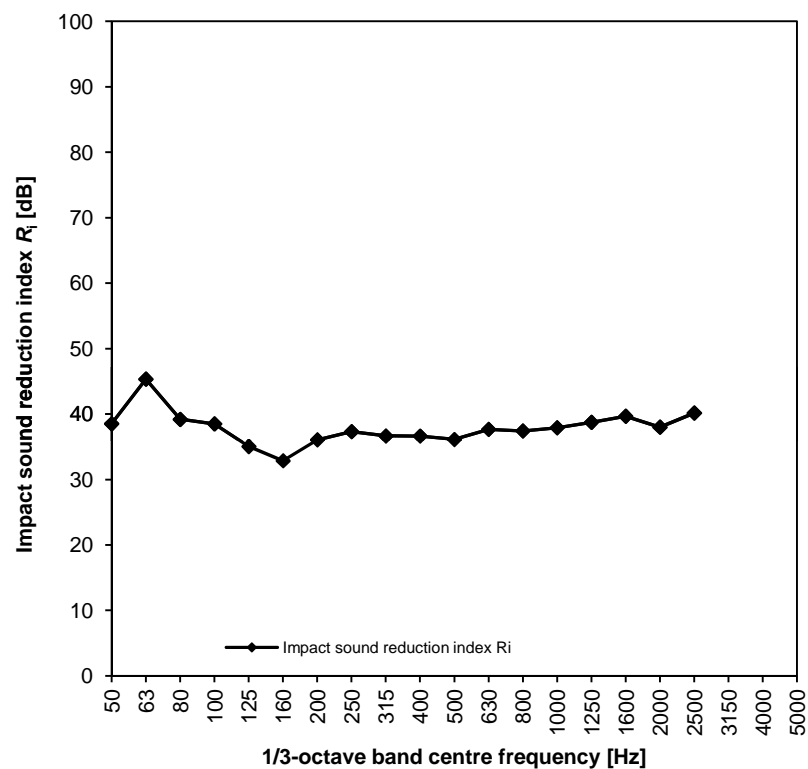
- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

The measurement date: 19.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$R_i$ [dB]	$D_{nT,i}$ [dB]
50	38,5	30,3
63	45,3	38,8
80	39,2	40,6
100	38,5	43,7
125	35,1	39,8
160	32,9	37,1
200	36,1	39,2
250	37,3	42,0
315	36,7	41,3
400	36,6	41,1
500	36,1	40,6
630	37,7	41,5
800	37,4	41,4
1000	37,9	42,2
1250	38,7	42,6
1600	39,7	42,7
2000	38,0	41,6
2500	40,2	43,7
3150		
4000		
5000		

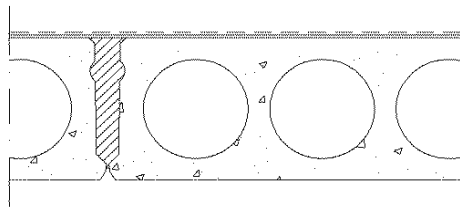


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	38 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	42 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	41,7 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	1 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	0,9 dB



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP3/01a



**Structure:**

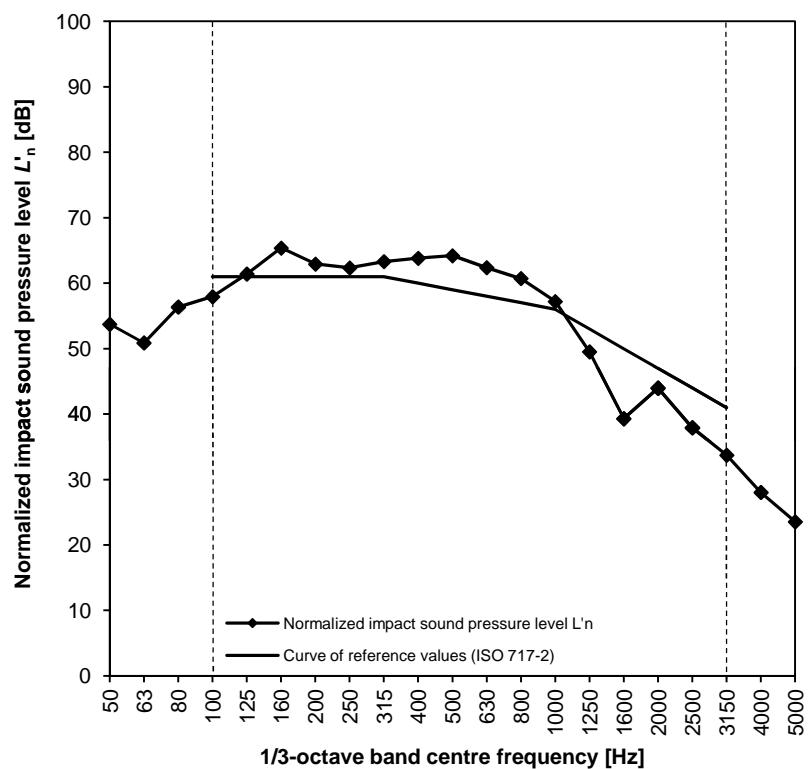
- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 19.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	53,7	62,0
63	50,9	57,4
80	56,3	54,9
100	57,9	52,7
125	61,4	56,7
160	65,4	61,1
200	62,9	59,7
250	62,3	57,7
315	63,3	58,7
400	63,8	59,3
500	64,2	59,7
630	62,4	58,6
800	60,7	56,7
1000	57,2	52,9
1250	49,5	45,7
1600	39,3	36,2
2000	44,0	40,4
2500	37,9	34,4
3150	33,7	29,4
4000	28,0	23,0
5000	23,6	18,2



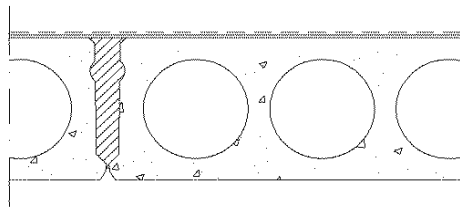
Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Quantity	Value	Quantity	Value
$L'_{n,w}$	=	59 dB	$L'_{n,w}$	= 58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	58 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	58 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 58,1 dB
$L'_{nT,w}$	=	55 dB	$L'_{nT,w}$	= 54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	54 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	55 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 54,9 dB
$\Delta L_w$	=	21 dB		





TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP3/01b



**Structure:**

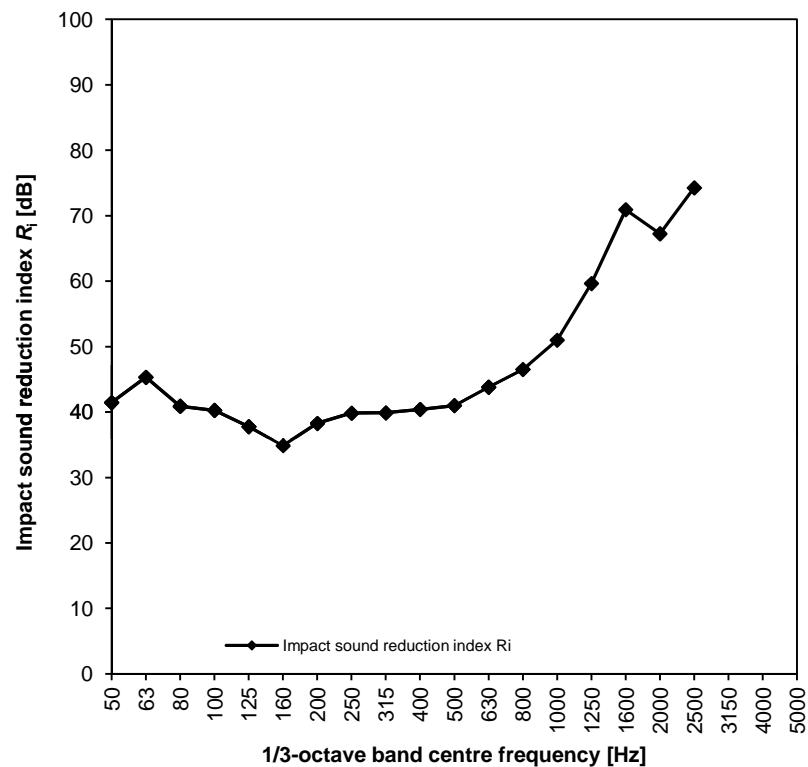
- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

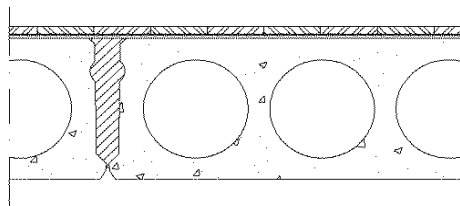
**The measurement date:** 19.7.2012

**Receiver room volume:** 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$R_i$ [dB]	$D_{nT,i}$ [dB]
50	41,5	33,2
63	45,3	38,8
80	40,9	42,3
100	40,3	45,5
125	37,8	42,5
160	34,9	39,1
200	38,3	41,5
250	39,8	44,5
315	39,9	44,5
400	40,4	44,9
500	41,0	45,5
630	43,8	47,6
800	46,5	50,5
1000	51,0	55,3
1250	59,7	63,5
1600	70,9	74,0
2000	67,2	70,8
2500	74,3	77,8
3150		
4000		
5000		



Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Symbol	Value	Symbol	Value
	$R_{\text{impact}}$	= 46 dB	$R_{\text{impact}}$	= 45,9 dB
	$D_{nT,\text{impact}}$	= 49 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	= 49,1 dB
	$\Delta R_{\text{impact}}$	= 9 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	= 8,6 dB



**Structure:**

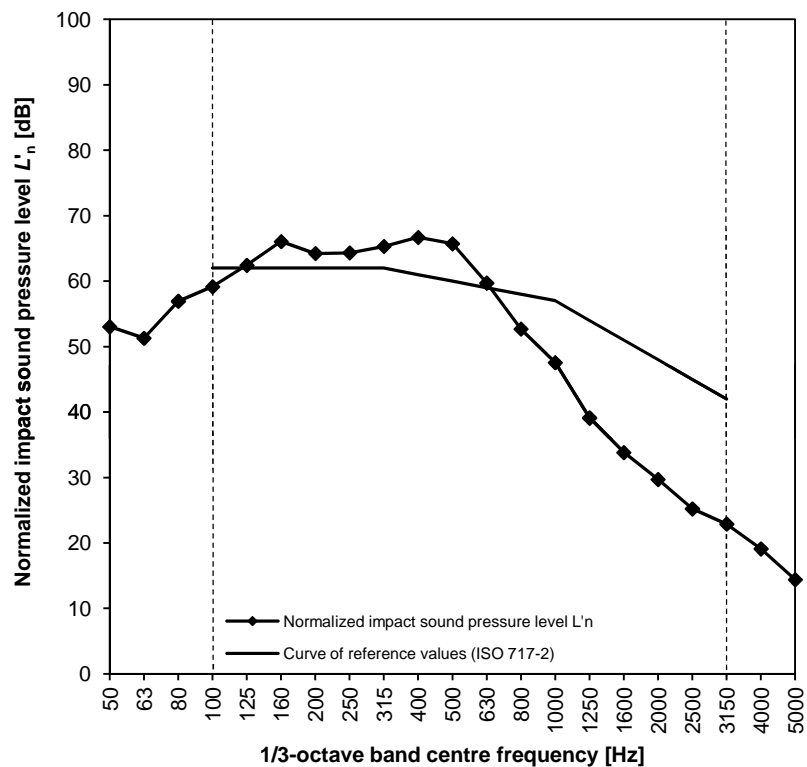
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 16.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	53,0	61,3
63	51,3	57,8
80	56,9	55,5
100	59,2	54,0
125	62,4	57,7
160	66,0	61,8
200	64,2	61,0
250	64,3	59,7
315	65,3	60,7
400	66,7	62,2
500	65,7	61,2
630	59,7	55,9
800	52,7	48,7
1000	47,6	43,3
1250	39,1	35,3
1600	33,8	30,8
2000	29,7	26,1
2500	25,2	21,7
3150	22,9	18,6
4000	19,1	14,1
5000	14,4	9,1

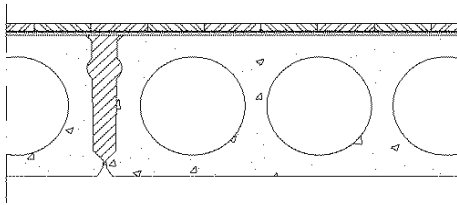


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Value	Reference	Value	Reference
$L'_{n,w}$	=	60 dB	$L'_{n,w}$	= 59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	59 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	59 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 59,1 dB
$L'_{nT,w}$	=	55 dB	$L'_{nT,w}$	= 54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	55 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	56 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 55,6 dB
$\Delta L_w$	=	20 dB		



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP4/01b



**Structure:**

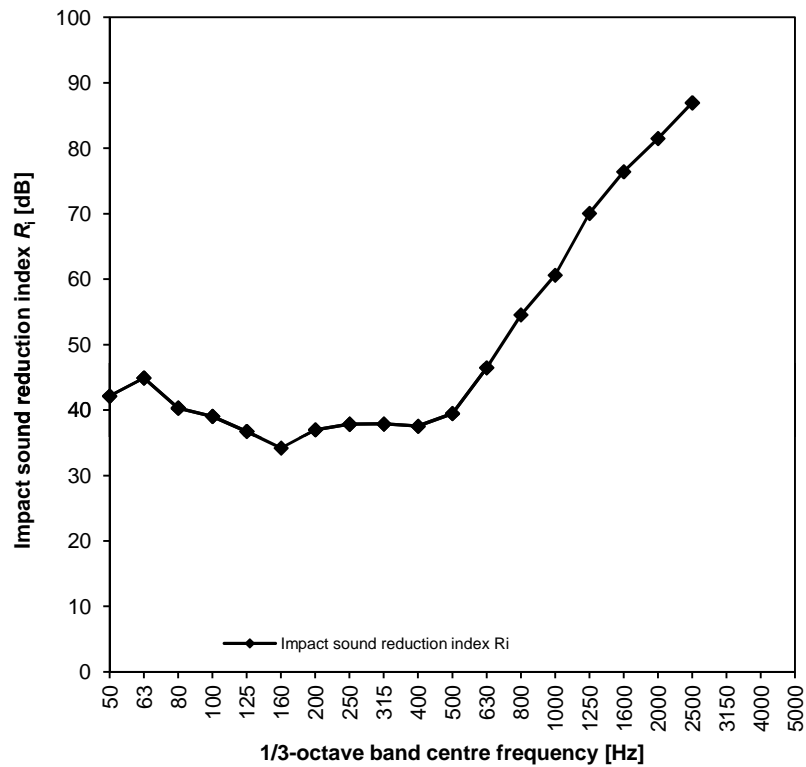
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

The measurement date: 16.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$R_i$ [dB]	$D_{nT,i}$ [dB]
50	42,1	33,9
63	44,9	38,4
80	40,3	41,7
100	39,0	44,2
125	36,7	41,5
160	34,2	38,4
200	37,0	40,2
250	37,9	42,5
315	37,9	42,5
400	37,5	42,0
500	39,5	43,9
630	46,5	50,3
800	54,5	58,6
1000	60,6	64,9
1250	70,1	73,9
1600	76,4	79,5
2000	81,5	85,1
2500	87,0	90,4
3150		
4000		
5000		

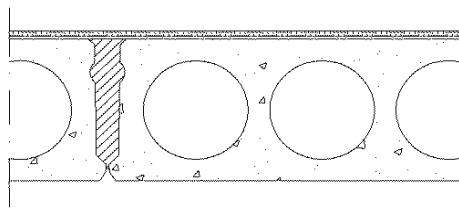


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	45 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	48 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	48,4 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	8 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	7,6 dB



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP5/01a



**Structure:**

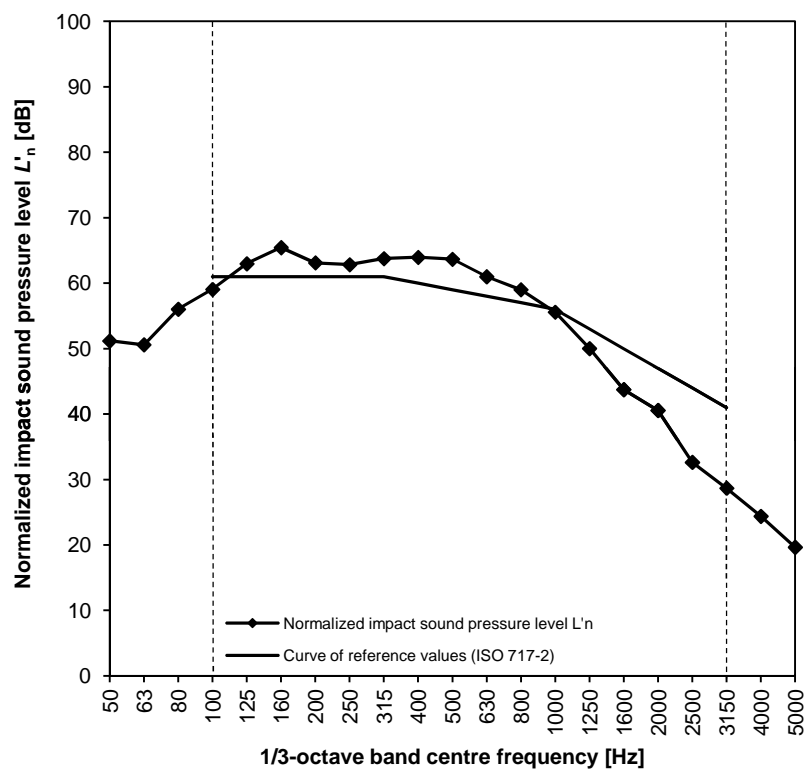
- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 30.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_{n}$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	51,2	59,4
63	50,6	57,1
80	56,0	54,6
100	59,1	53,9
125	63,0	58,2
160	65,4	61,2
200	63,1	59,9
250	62,8	58,2
315	63,8	59,1
400	64,0	59,5
500	63,7	59,2
630	61,0	57,2
800	59,0	55,0
1000	55,6	51,3
1250	50,0	46,2
1600	43,7	40,7
2000	40,6	37,0
2500	32,6	29,1
3150	28,7	24,3
4000	24,4	19,4
5000	19,7	14,3

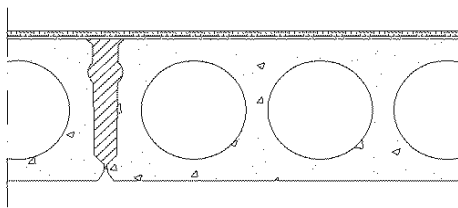


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Quantity	Value	Quantity	Value
	$L'_{n,w}$	= 59 dB	$L'_{n,w}$	= 58,5 dB
	$L'_{n,w} + C_1$	= 58 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 58,0 dB
	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 58 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 58,1 dB
	$L'_{nT,w}$	= 55 dB	$L'_{nT,w}$	= 54,2 dB
	$L'_{nT,w} + C_1$	= 54 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 53,7 dB
	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 55 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 54,6 dB
	$\Delta L_w$	= 21 dB		



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP5/01b



**Structure:**

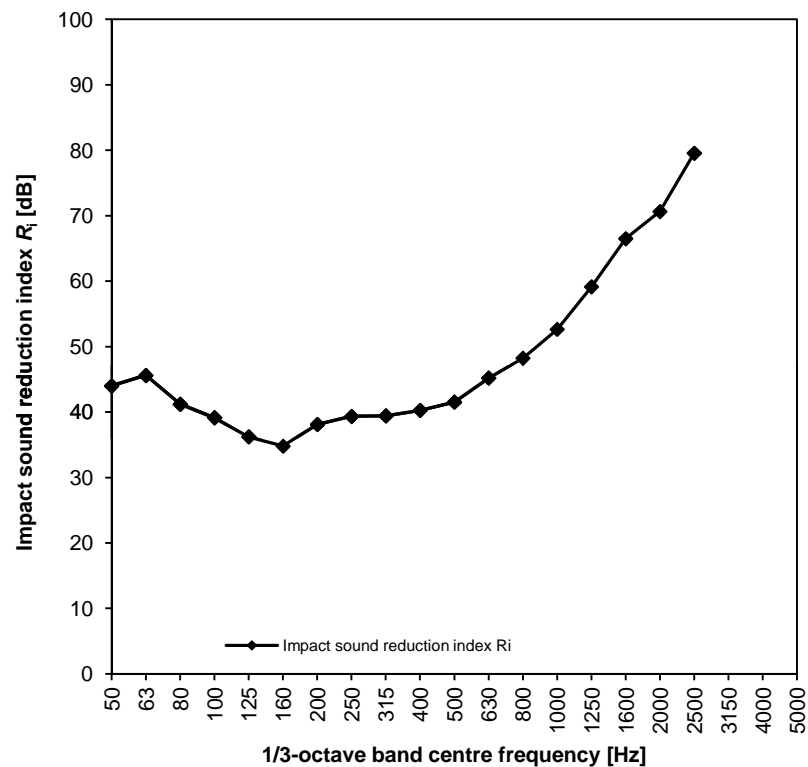
- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  
 $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

The measurement date: 30.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

<i>f</i> [Hz]	<i>R<sub>i</sub></i> [dB]	<i>D<sub>nT,i</sub></i> [dB]
50	44,0	35,8
63	45,6	39,1
80	41,2	42,6
100	39,1	44,3
125	36,2	40,9
160	34,8	39,1
200	38,1	41,3
250	39,3	44,0
315	39,4	44,0
400	40,3	44,8
500	41,5	46,0
630	45,2	49,0
800	48,2	52,3
1000	52,6	56,9
1250	59,1	63,0
1600	66,5	69,6
2000	70,6	74,2
2500	79,6	83,1
3150		
4000		
5000		

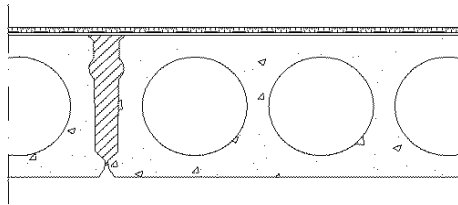


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	46 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	49 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	49,4 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	9 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	8,6 dB



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP6/01a



**Structure:**

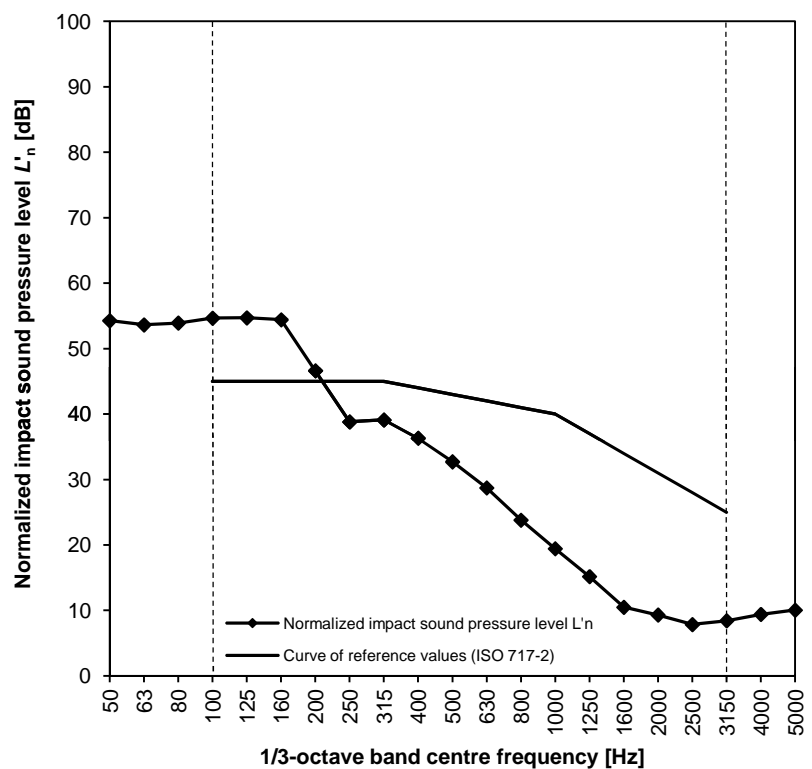
- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  
 $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 27.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

<i>f</i> [Hz]	<i>L'</i> <sub><i>n</i></sub> [dB]	<i>L'</i> <sub><i>nT</i></sub> [dB]
50	54,3	62,5
63	53,6	60,2
80	53,9	52,5
100	54,7	49,5
125	54,7	50,0
160	54,4	50,2
200	46,6	43,4
250	38,8	34,2
315	39,1	34,5
400	36,3	31,8
500	32,7	28,2
630	28,7	24,9
800	23,8	19,8
1000	19,4	15,2
1250	15,2	11,3
1600	10,5	7,4
2000	9,3	5,7
2500	7,9	4,4
3150	8,4	4,1
4000	9,4	4,4
5000	10,1	4,7

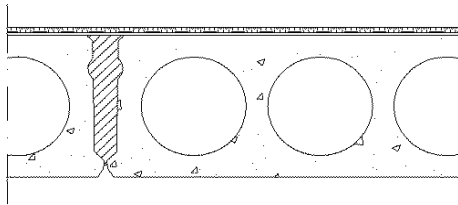


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Quantity	Value	Quantity	Value
$L'_{n,w}$	=	43 dB	$L'_{n,w}$	= 42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	45 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	47 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 47,3 dB
$L'_{nT,w}$	=	39 dB	$L'_{nT,w}$	= 38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	40 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	50 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 50,2 dB
$\Delta L_w$	=	37 dB		



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP6/01b



**Structure:**

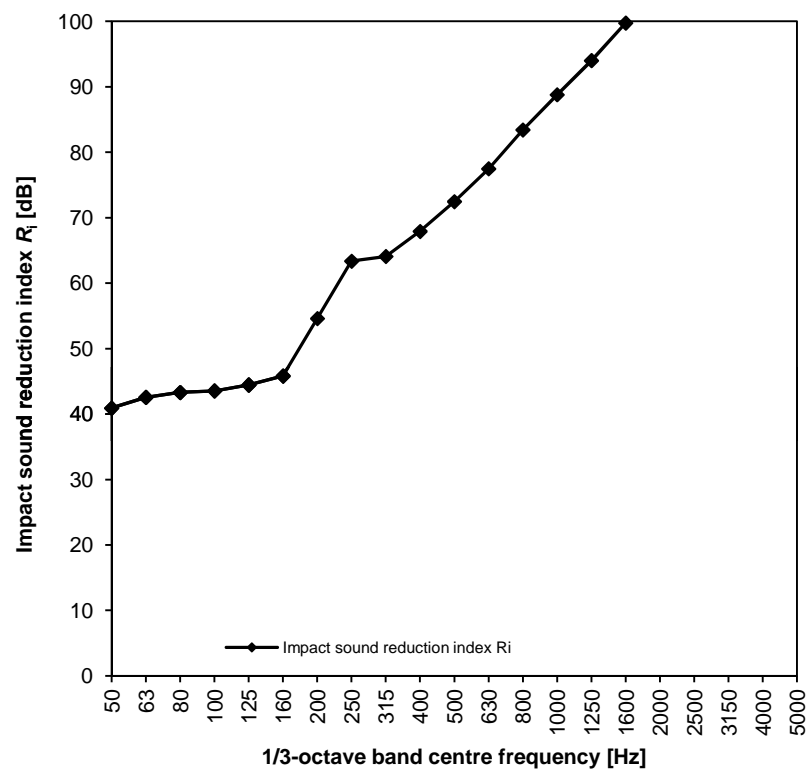
- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  
 $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

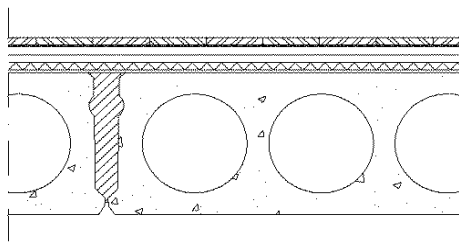
The measurement date: 27.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

<i>f</i> [Hz]	<i>R<sub>i</sub></i> [dB]	<i>D<sub>nT,i</sub></i> [dB]
50	40,9	32,7
63	42,6	36,0
80	43,3	44,7
100	43,5	48,7
125	44,5	49,2
160	45,8	50,1
200	54,6	57,8
250	63,4	68,0
315	64,1	68,7
400	67,9	72,4
500	72,5	77,0
630	77,5	81,3
800	83,4	87,4
1000	88,8	93,0
1250	94,0	97,8
1600	99,7	102,8
2000	101,9	105,5
2500	104,3	107,8
3150		
4000		
5000		



Single-number quantities	Precision 1 dB:	Precision 0,1 dB:
$R_{\text{impact}}$	= 57 dB	$R_{\text{impact}}$ = 56,7 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	= 54 dB	$D_{nT,\text{impact}}$ = 53,8 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	= 19 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$ = 19,5 dB

**Structure:**

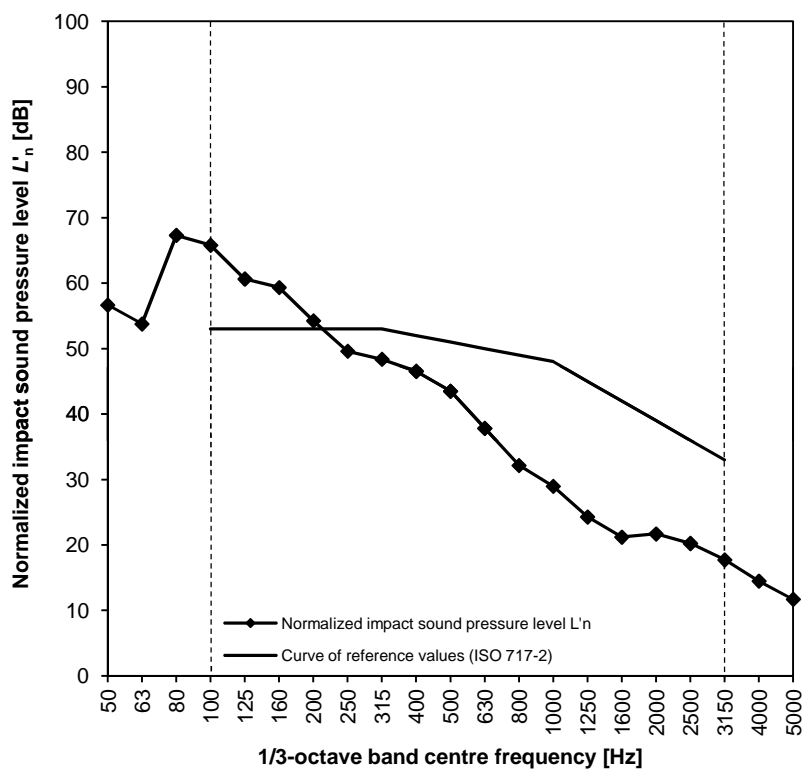
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 27.7.2012

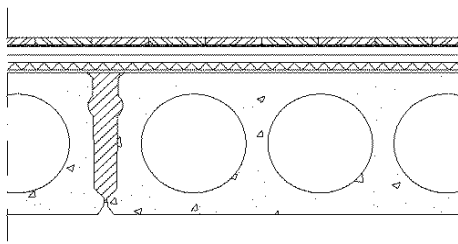
Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_{n}$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	56,7	64,9
63	53,8	60,3
80	67,3	65,9
100	65,8	60,6
125	60,6	55,9
160	59,4	55,1
200	54,3	51,1
250	49,6	45,0
315	48,4	43,7
400	46,6	42,1
500	43,5	39,0
630	37,8	34,0
800	32,2	28,1
1000	29,0	24,7
1250	24,3	20,5
1600	21,2	18,1
2000	21,7	18,1
2500	20,2	16,7
3150	17,7	13,4
4000	14,5	9,5
5000	11,7	6,4



Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Quantity	Value	Quantity	Value
$L'_{n,w}$	=	51 dB	$L'_{n,w}$	= 50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	53 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	56 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 55,9 dB
$L'_{nT,w}$	=	46 dB	$L'_{nT,w}$	= 45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	48 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	55 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 55,1 dB
$\Delta L_w$	=	29 dB		





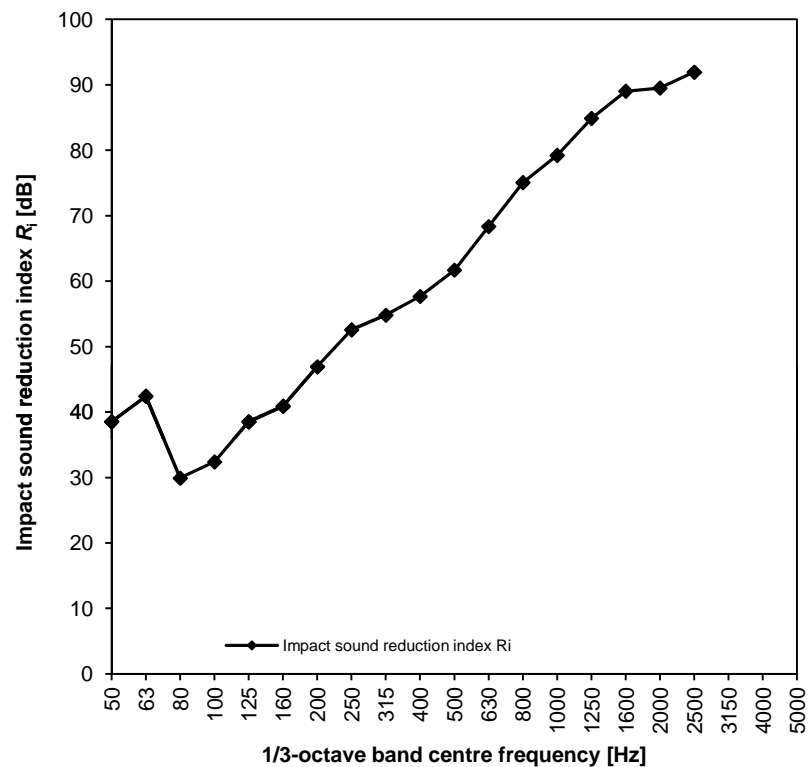
**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

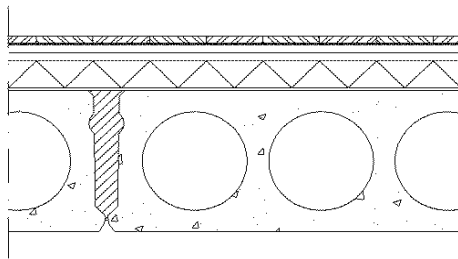
Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

The measurement date: 27.7.2012  
Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$R_i$ [dB]	$D_{nT,i}$ [dB]
50	38,5	30,3
63	42,4	35,9
80	29,9	31,3
100	32,4	37,6
125	38,5	43,3
160	40,9	45,1
200	46,9	50,1
250	52,6	57,2
315	54,8	59,4
400	57,7	62,2
500	61,7	66,2
630	68,4	72,2
800	75,1	79,1
1000	79,2	83,5
1250	84,9	88,7
1600	89,0	92,1
2000	89,5	93,1
2500	91,9	95,4
3150		
4000		
5000		



Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	48 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	49 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	49 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	11 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	10,8 dB

**Structure:**

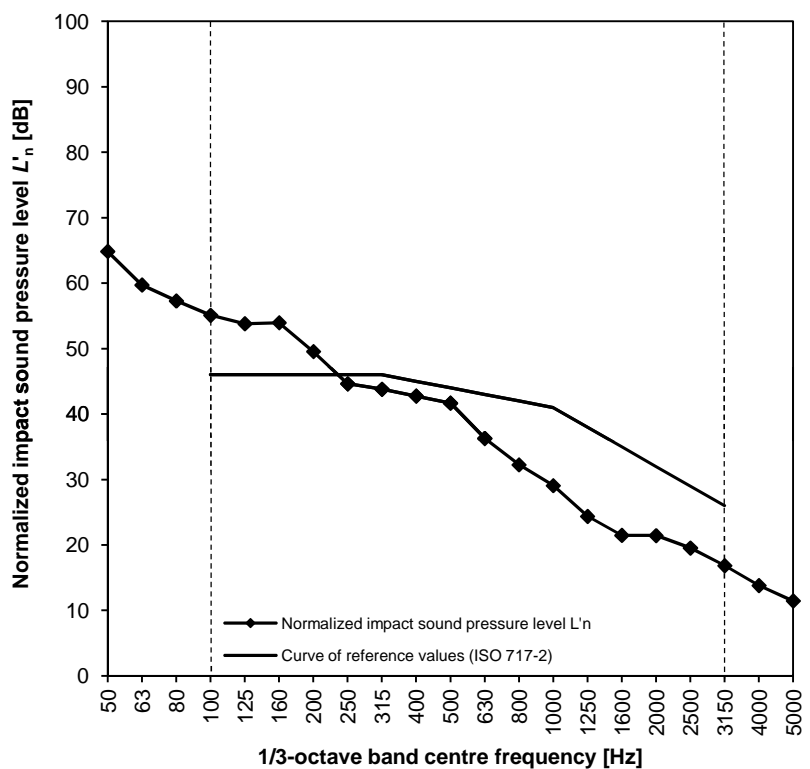
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 23.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_{n}$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	64,9	73,1
63	59,7	66,2
80	57,3	55,9
100	55,1	49,9
125	53,8	49,1
160	54,0	49,7
200	49,6	46,4
250	44,6	40,0
315	43,8	39,2
400	42,8	38,3
500	41,7	37,2
630	36,3	32,5
800	32,3	28,2
1000	29,1	24,8
1250	24,4	20,6
1600	21,5	18,4
2000	21,5	17,9
2500	19,6	16,1
3150	16,8	12,5
4000	13,8	8,8
5000	11,5	6,1

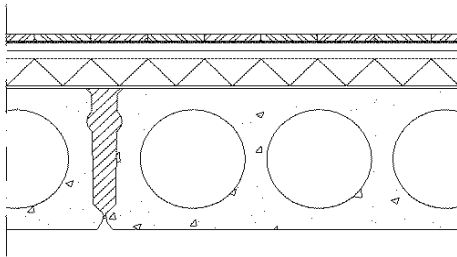


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:	
	Quantity	Value	Quantity	Value
$L'_{n,w}$	=	44 dB	$L'_{n,w}$	= 43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	45 dB	$L'_{n,w} + C_1$	= 45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	52 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	= 52,4 dB
$L'_{nT,w}$	=	39 dB	$L'_{nT,w}$	= 38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	40 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	= 40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	59 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	= 59,0 dB
$\Delta L_w$	=	36 dB		



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP8/01b



**Structure:**

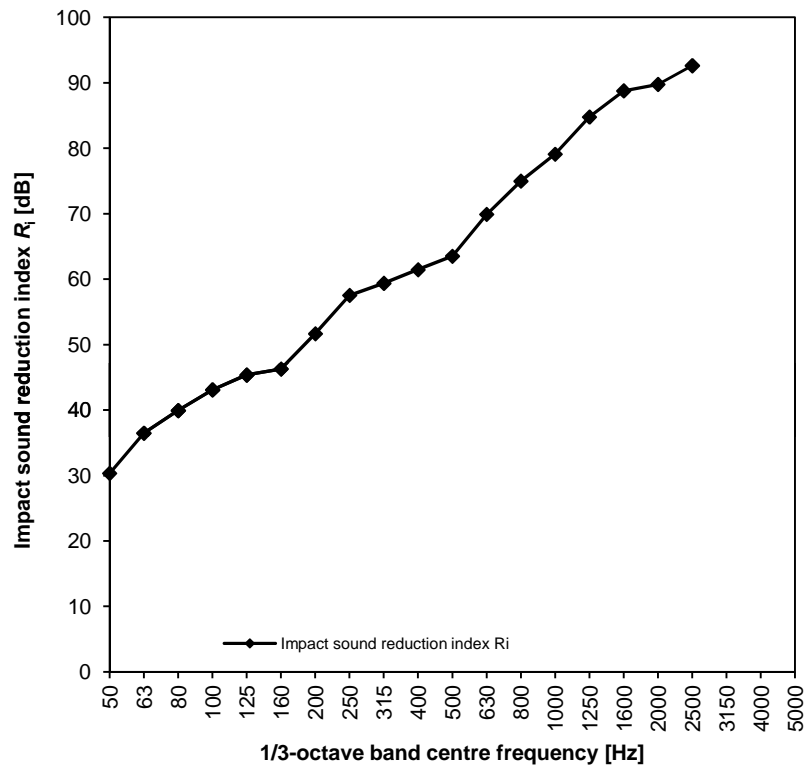
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

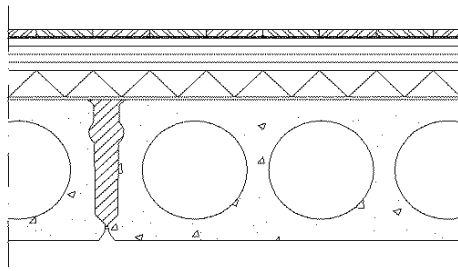
The measurement date: 23.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$R_i$ [dB]	$D_{nT,i}$ [dB]
50	30,3	22,1
63	36,5	29,9
80	39,9	41,4
100	43,1	48,3
125	45,4	50,1
160	46,3	50,5
200	51,7	54,8
250	57,5	62,2
315	59,4	64,0
400	61,5	65,9
500	63,5	68,0
630	69,9	73,7
800	75,0	79,0
1000	79,1	83,4
1250	84,8	88,6
1600	88,8	91,8
2000	89,8	93,3
2500	92,6	96,1
3150		
4000		
5000		



Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	52 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	45 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	45 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	14 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	14,3 dB

**Structure:**

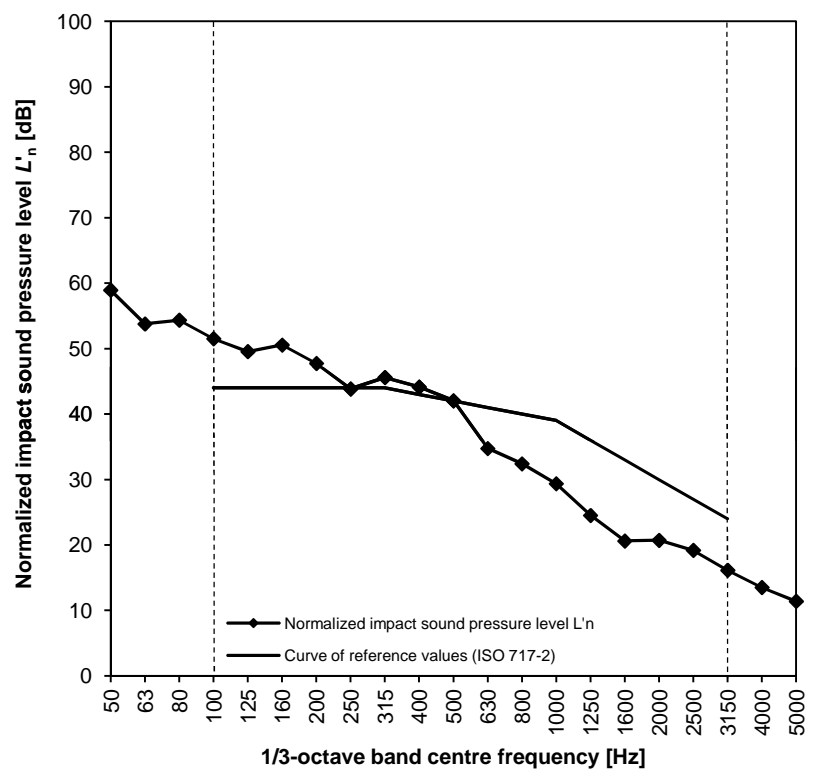
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

Rating of impact sound insulation in field according to standards ISO 140-7 and ISO 717-2.

The measurement date: 23.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$L'_n$ [dB]	$L'_{nT}$ [dB]
50	58,9	67,2
63	53,8	60,3
80	54,4	52,9
100	51,5	46,3
125	49,5	44,8
160	50,6	46,3
200	47,8	44,6
250	43,8	39,2
315	45,6	41,0
400	44,1	39,6
500	42,0	37,6
630	34,8	30,9
800	32,4	28,4
1000	29,4	25,1
1250	24,5	20,7
1600	20,6	17,5
2000	20,7	17,1
2500	19,2	15,7
3150	16,1	11,8
4000	13,5	8,5
5000	11,4	6,1

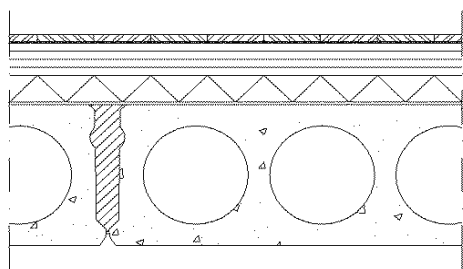


Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	Value	Reference	Value	Reference	
$L'_{n,w}$	=	42 dB	$L'_{n,w}$	=	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	=	42 dB	$L'_{n,w} + C_1$	=	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	48 dB	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	=	47,6 dB
$L'_{nT,w}$	=	37 dB	$L'_{nT,w}$	=	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	=	38 dB	$L'_{nT,w} + C_1$	=	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	53 dB	$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	=	53,2 dB
$\Delta L_w$	=	38 dB			



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VP9/01b



**Structure:**

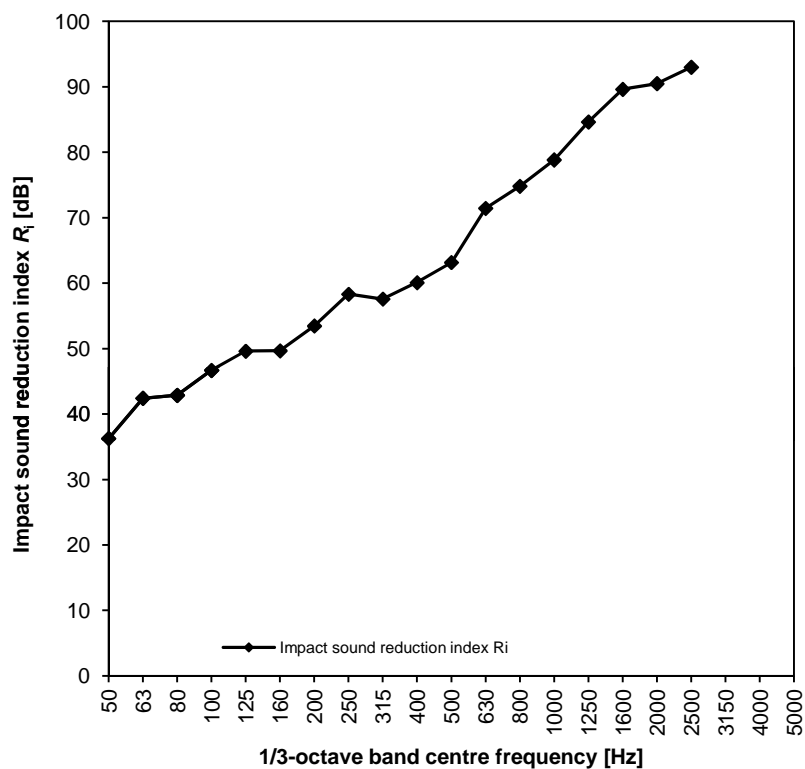
- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

Rating of impact sound insulation in field according to standard ISO 140-7 and standard proposal ISO 16717-2.

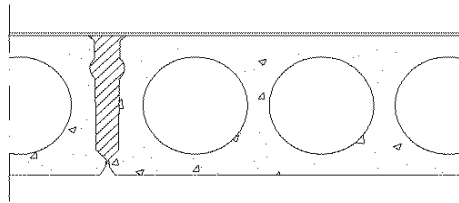
The measurement date: 23.7.2012

Receiver room volume: 60 m<sup>3</sup>

$f$ [Hz]	$R_i$ [dB]	$D_{nT,i}$ [dB]
50	36,3	28,0
63	42,4	35,9
80	42,9	44,3
100	46,7	51,9
125	49,6	54,4
160	49,7	53,9
200	53,5	56,6
250	58,3	63,0
315	57,6	62,2
400	60,1	64,6
500	63,1	67,6
630	71,4	75,3
800	74,8	78,8
1000	78,8	83,1
1250	84,6	88,5
1600	89,6	92,7
2000	90,5	94,1
2500	93,0	96,5
3150		
4000		
5000		



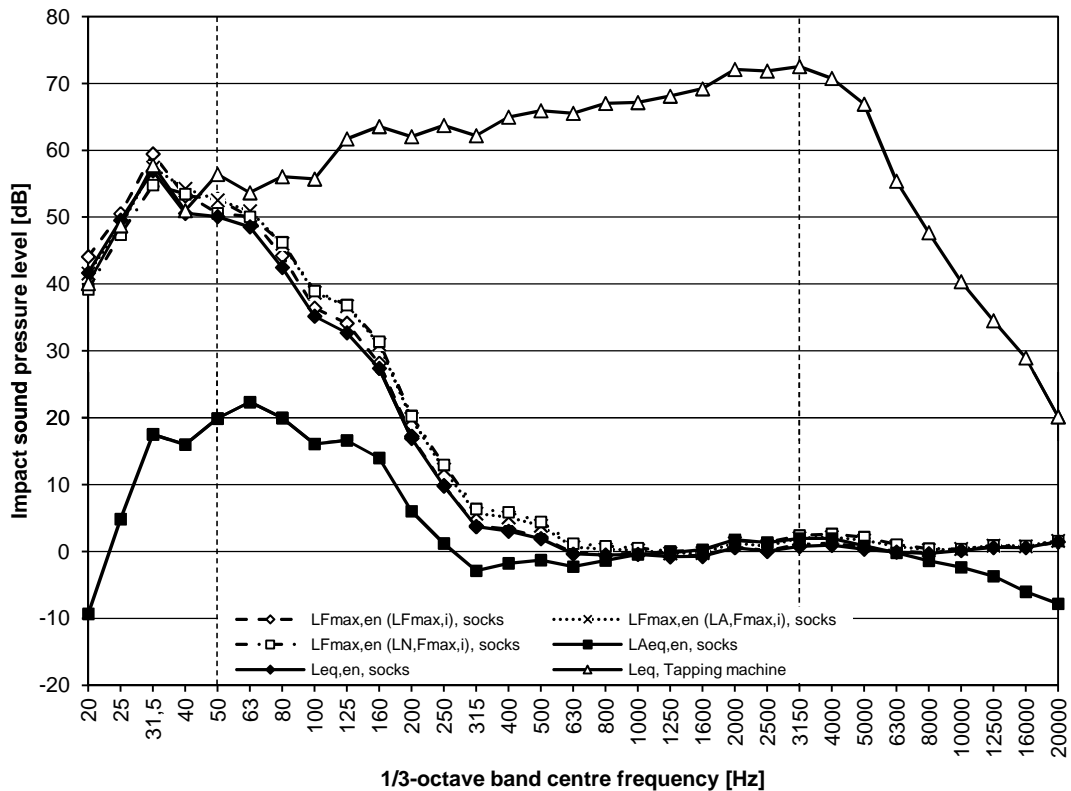
Single-number quantities	Precision 1 dB:		Precision 0,1 dB:		
	$R_{\text{impact}}$	=	56 dB	$R_{\text{impact}}$	=
$D_{nT,\text{impact}}$	=	51 dB	$D_{nT,\text{impact}}$	=	50,8 dB
$\Delta R_{\text{impact}}$	=	19 dB	$\Delta R_{\text{impact}}$	=	19,2 dB



**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{impact}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,impact}$	40,9 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 59,6 dB	$L_{A,eq}$	= 27,8 dB
$N$	= 0,303 sone	$L_N$	= 26,6 phon

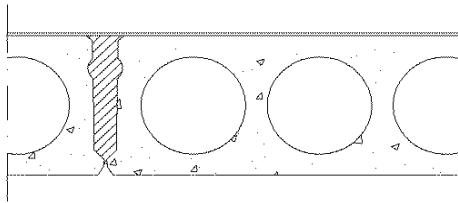
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 61,9 dB	$L_{Fmax}$ = 61,0 dB	$L_{Fmax}$ = 59,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 29,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 30,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 30,1 dB
$N$ = 0,363 sone	$N$ = 0,468 sone	$N$ = 0,478 sone
$L_N$ = 28,4 phon	$L_N$ = 31,1 phon	$L_N$ = 31,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

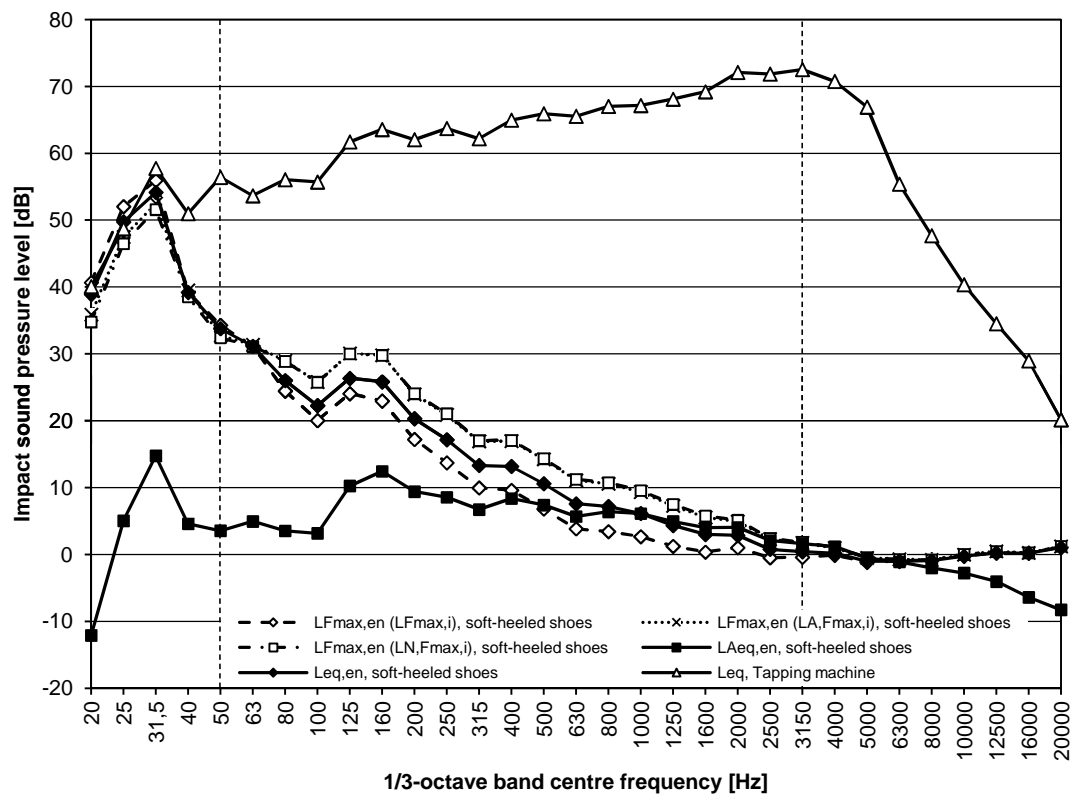
$L_{eq}$	= 80,6 dB	$L_{A,eq}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{\text{impact}}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	40,9 dB

**Indices: walking**

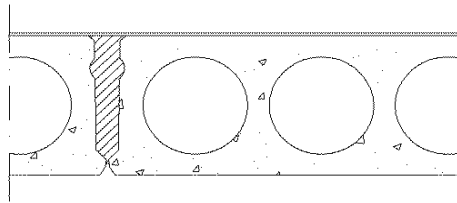
$L_{\text{eq}}$	= 55,8 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 21,3 dB
$N$	= 0,282 sone	$L_N$	= 26,0 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 57,6$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 54,0$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 53,1$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,7$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,7$ dB
$N = 0,131$ sone	$N = 0,528$ sone	$N = 0,539$ sone
$L_N = 19,4$ phon	$L_N = 32,4$ phon	$L_N = 32,7$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

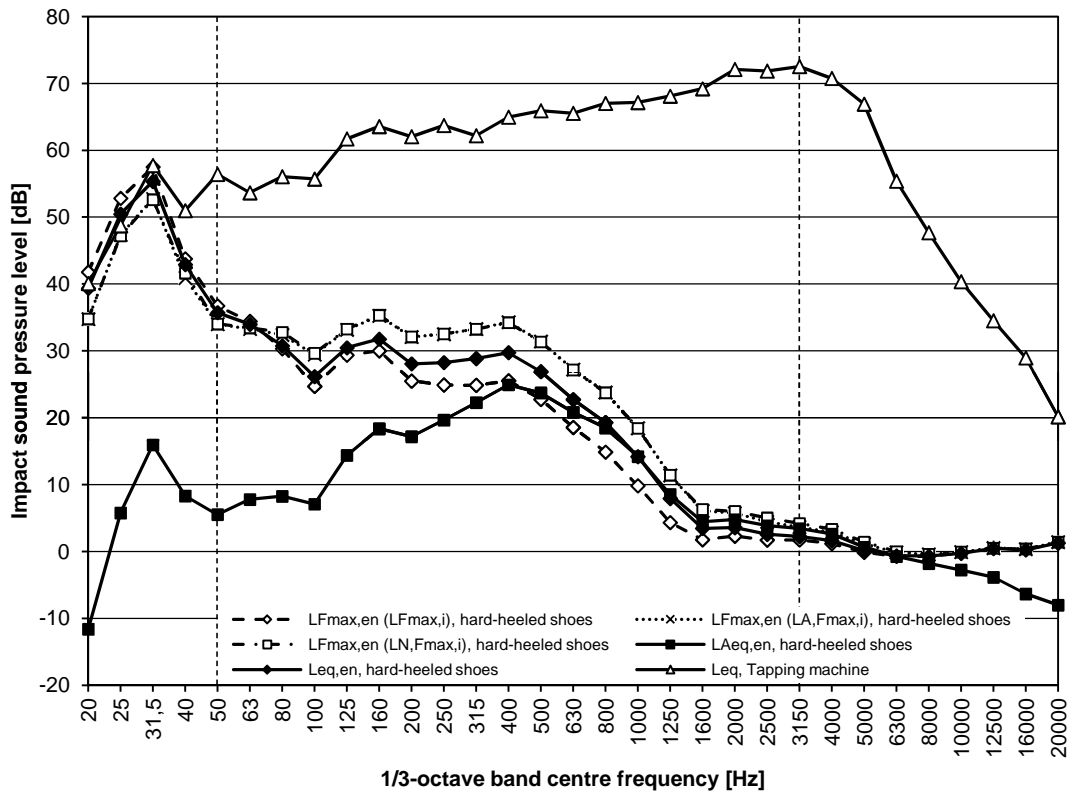
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 80,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 80,8 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s


**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{\text{impact}}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	40,9 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 56,9 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 31,0 dB
$N$	= 1,340 sone	$L_N$	= 43,8 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

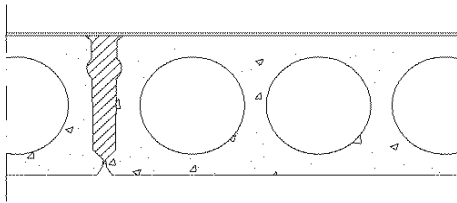
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 59,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 54,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 54,4$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 27,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 35,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 35,2$ dB
$N = 0,889$ sone	$N = 2,030$ sone	$N = 2,050$ sone
$L_N = 38,6$ phon	$L_N = 49,6$ phon	$L_N = 49,7$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices:  
tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 80,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon



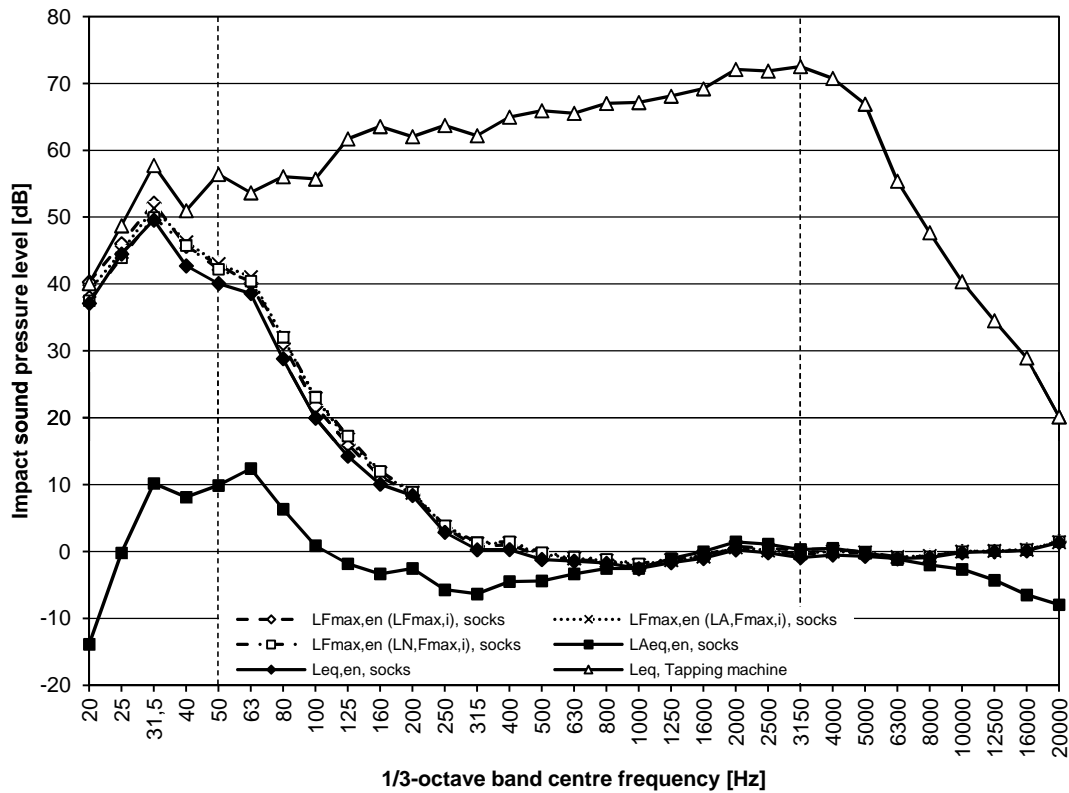


**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{impact}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,impact}$	40,9 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 52,1 dB	$L_{A,eq}$	= 18,1 dB
$N$	= 0,051 sone	$L_N$	= 13,1 phon

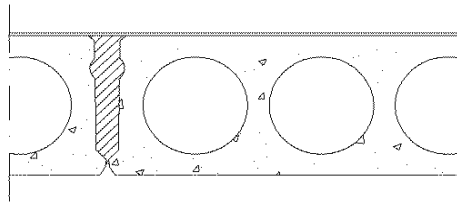
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 54,5$ dB	$L_{A,Fmax} = 54,0$ dB	$L_{Fmax} = 52,9$ dB
$L_{A,Fmax} = 20,1$ dB	$L_{A,Fmax} = 20,4$ dB	$L_{A,Fmax} = 19,9$ dB
$N = 0,069$ sone	$N = 0,077$ sone	$N = 0,082$ sone
$L_N = 14,9$ phon	$L_N = 15,6$ phon	$L_N = 16,0$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 80,6 dB	$L_{A,eq}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

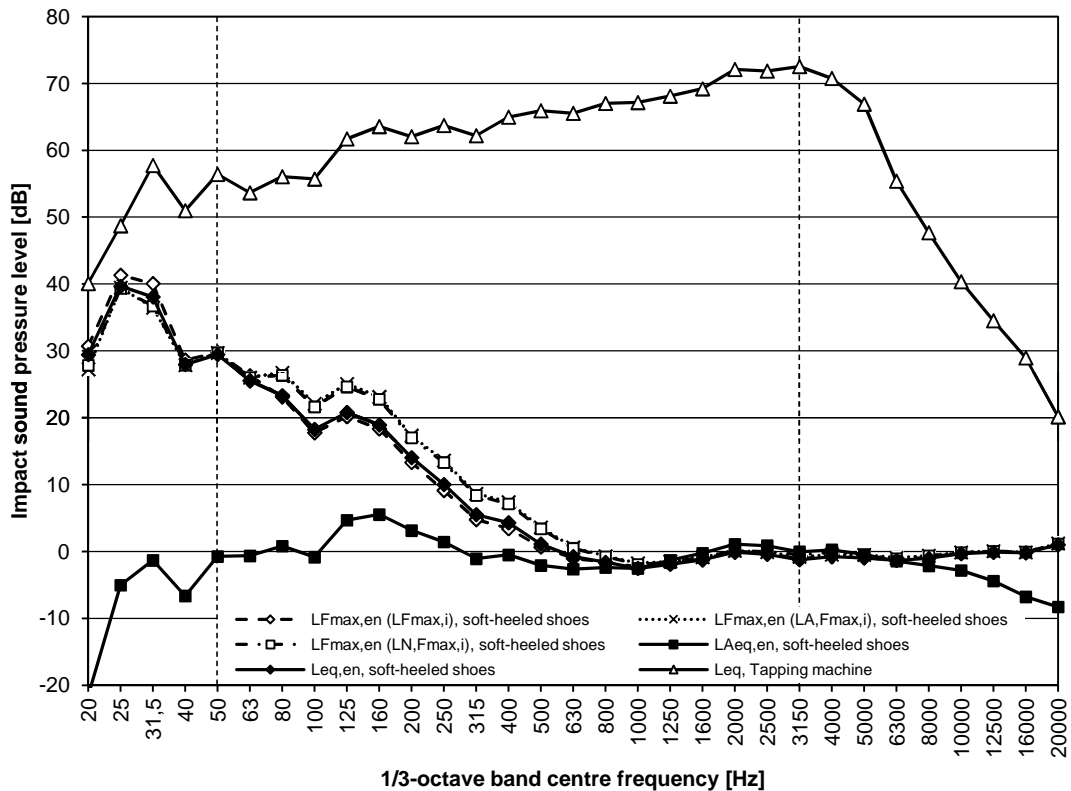


**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{impact}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,impact}$	40,9 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 42,8 dB	$L_{A,eq}$	= 14,6 dB
$N$	= 0,050 sone	$L_N$	= 12,9 phon

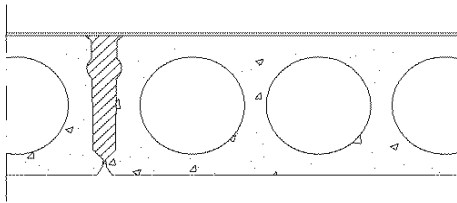
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 44,4 dB	$L_{Fmax}$ = 42,3 dB	$L_{Fmax}$ = 42,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 14,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 16,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 16,7 dB
$N$ = 0,047 sone	$N$ = 0,102 sone	$N$ = 0,100 sone
$L_N$ = 12,6 phon	$L_N$ = 17,6 phon	$L_N$ = 17,4 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

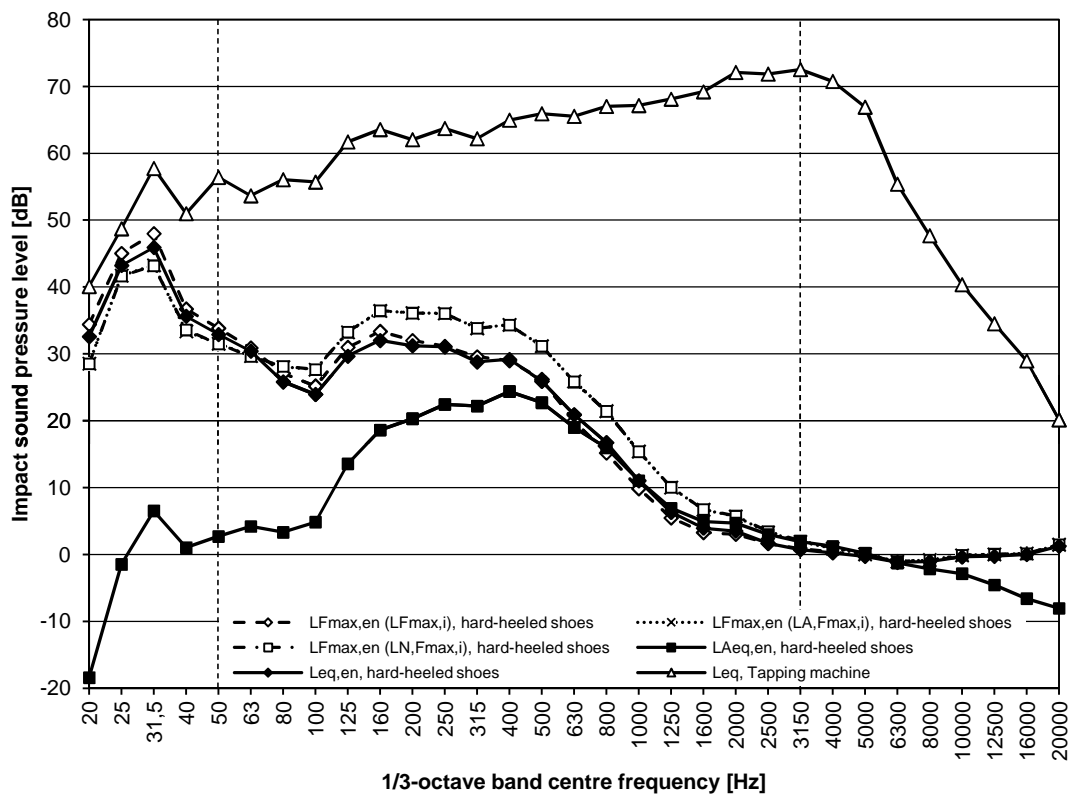
$L_{eq}$	= 80,6 dB	$L_{A,eq}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{\text{impact}}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	40,9 dB

**Indices: walking**

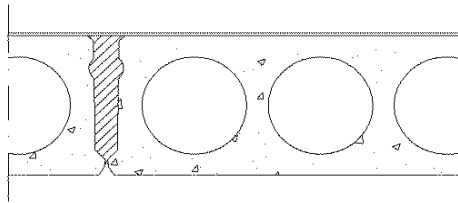
$L_{\text{eq}}$	= 48,8 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 30,7 dB
$N$	= 1,240 sone	$L_N$	= 42,8 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F\text{max},i} (t)$	$L_{A,F\text{max},i} (t)$	$L_{N,F\text{max},i} (t)$
$L_{F\text{max}} = 50,6 \text{ dB}$	$L_{F\text{max}} = 48,1 \text{ dB}$	$L_{F\text{max}} = 48,0 \text{ dB}$
$L_{A,F\text{max}} = 30,9 \text{ dB}$	$L_{A,F\text{max}} = 35,6 \text{ dB}$	$L_{A,F\text{max}} = 35,6 \text{ dB}$
$N = 1,240 \text{ sone}$	$N = 2,000 \text{ sone}$	$N = 2,000 \text{ sone}$
$L_N = 42,8 \text{ phon}$	$L_N = 49,3 \text{ phon}$	$L_N = 49,3 \text{ phon}$

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

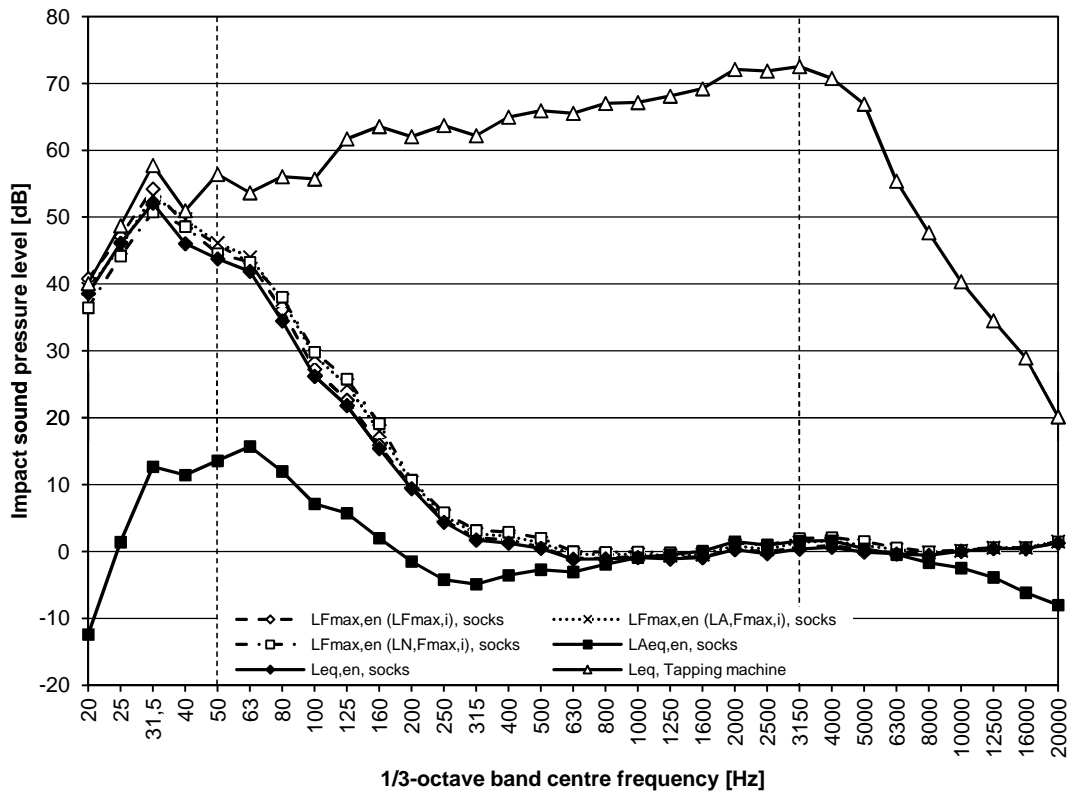
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 80,6 \text{ dB}$	$L_{A,\text{eq}} = 80,8 \text{ dB}$
<b>tapping machine</b>	$N = 56,49 \text{ sone}$	$L_N = 97,1 \text{ phon}$



**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{impact}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,impact}$	40,9 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 54,7 dB	$L_{A,eq}$	= 21,3 dB
$N$	= 0,102 sone	$L_N$	= 17,5 phon

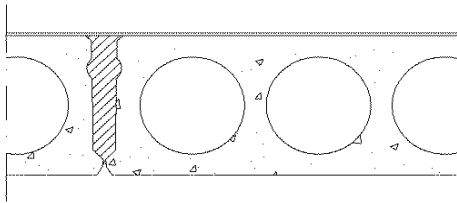
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 56,7 dB	$L_{Fmax}$ = 56,2 dB	$L_{Fmax}$ = 54,5 dB
$L_{A,Fmax}$ = 23,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 23,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 23,0 dB
$N$ = 0,124 sone	$N$ = 0,157 sone	$N$ = 0,170 sone
$L_N$ = 19,0 phon	$L_N$ = 20,8 phon	$L_N$ = 21,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

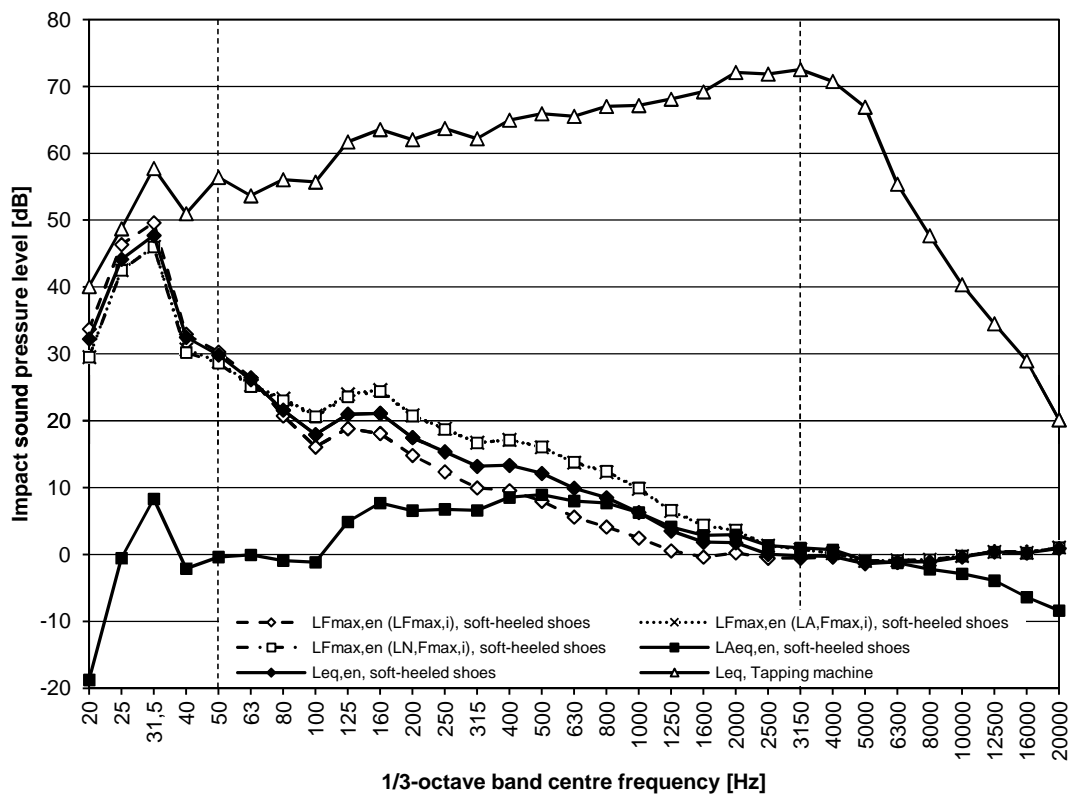
$L_{eq}$	= 80,6 dB	$L_{A,eq}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{\text{impact}}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	40,9 dB

**Indices: walking**

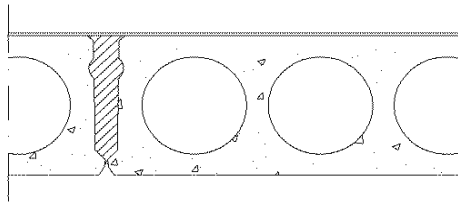
$L_{\text{eq}}$	= 49,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 19,0 dB
$N$	= 0,242 sone	$L_N$	= 24,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 51,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,0$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 47,9$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,9$ dB
$N = 0,104$ sone	$N = 0,459$ sone	$N = 0,461$ sone
$L_N = 17,7$ phon	$L_N = 30,9$ phon	$L_N = 30,9$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

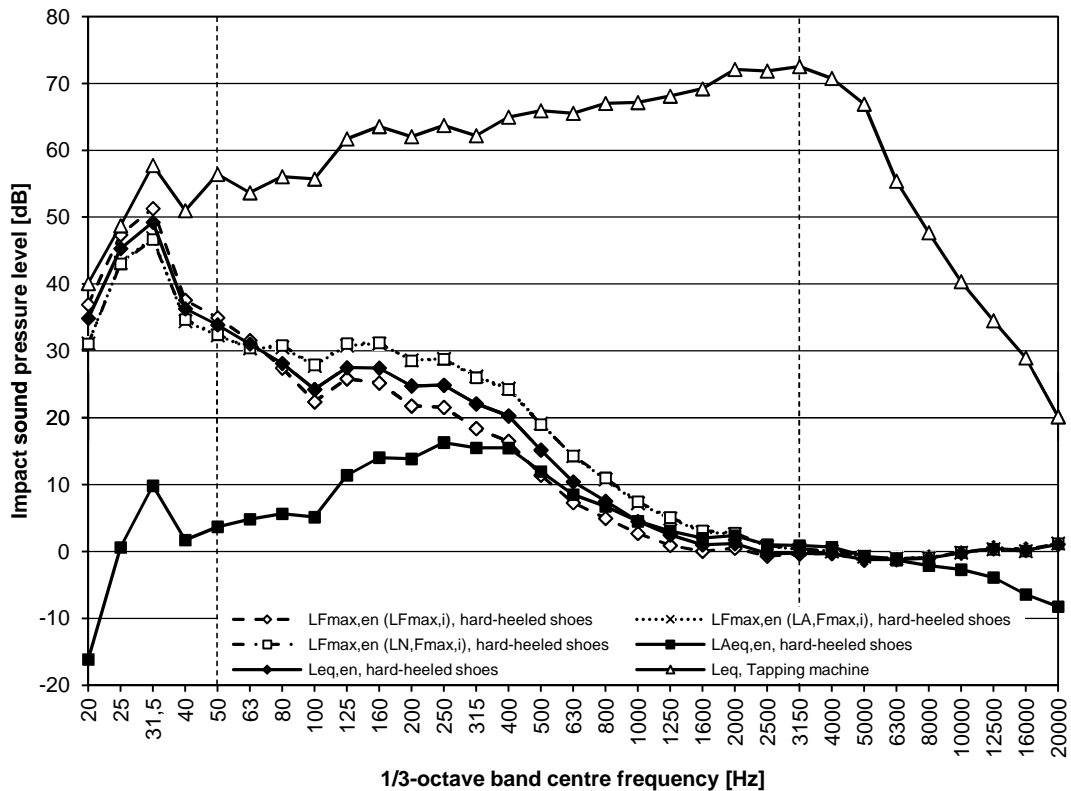
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 80,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 80,8 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon



**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{impact}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,impact}$	40,9 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 51,2 dB	$L_{A,eq}$	= 23,9 dB
$N$	= 0,484 sone	$L_N$	= 31,5 phon

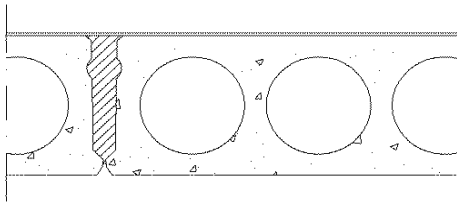
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 53,1 dB	$L_{Fmax}$ = 49,2 dB	$L_{Fmax}$ = 49,0 dB
$L_{A,Fmax}$ = 21,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,3 dB
$N$ = 0,300 sone	$N$ = 0,811 sone	$N$ = 0,813 sone
$L_N$ = 26,5 phon	$L_N$ = 37,4 phon	$L_N$ = 37,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 80,6 dB	$L_{A,eq}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

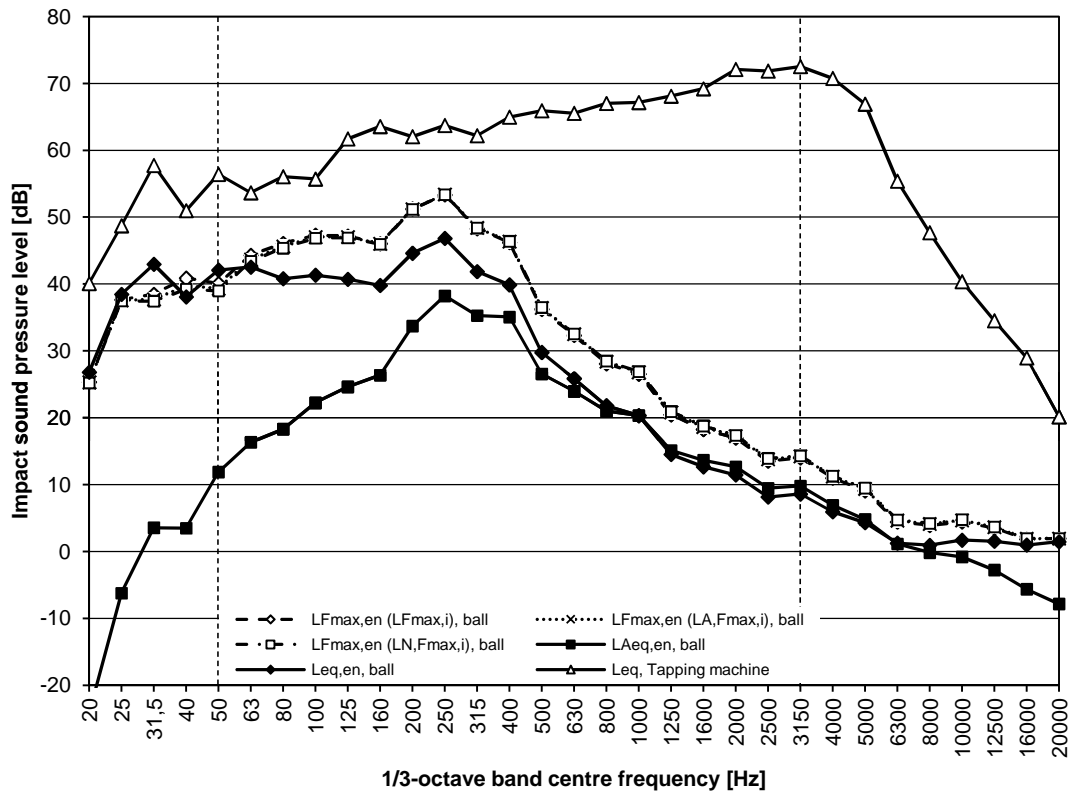


**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{\text{impact}}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	40,9 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{\text{eq}}$	= 53,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 42,5 dB
$N$	= 3,290 sone	$L_N$	= 56,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

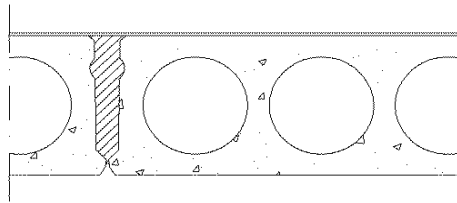
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 58,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 58,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 58,4$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 49,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 49,0$ dB
$N = 5,440$ sone	$N = 5,500$ sone	$N = 5,510$ sone
$L_N = 64,0$ phon	$L_N = 64,1$ phon	$L_N = 64,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 80,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon

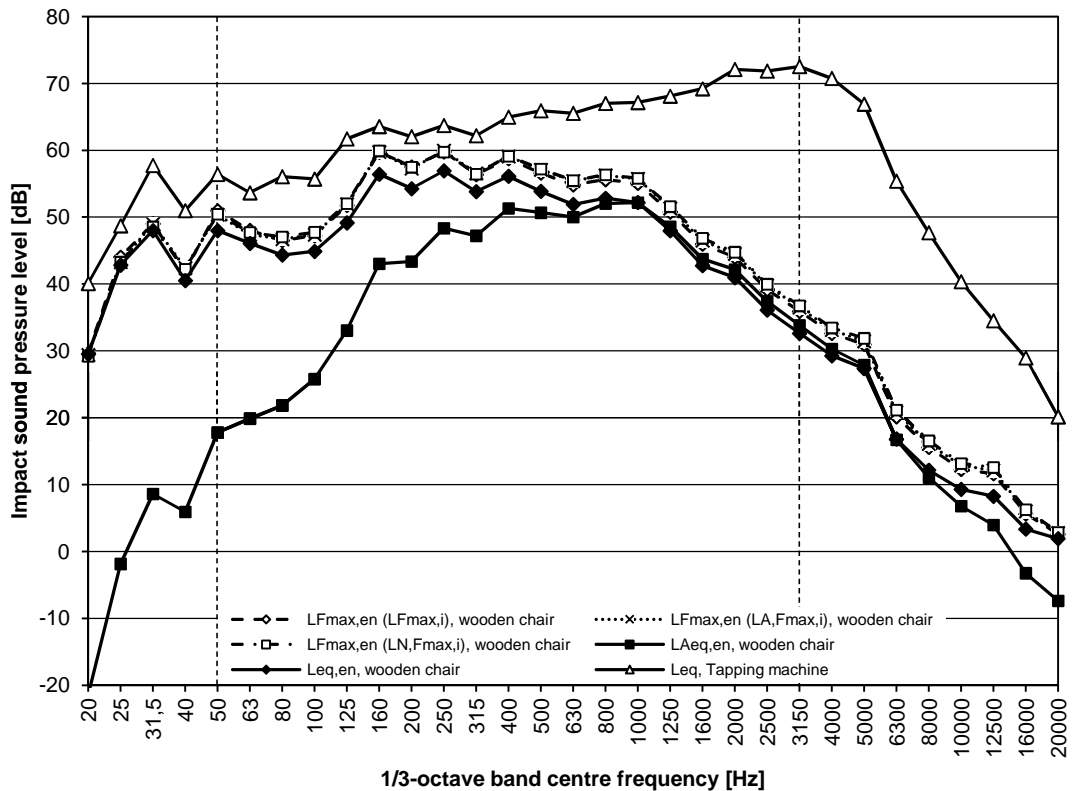


**Structure:**

- no floor covering
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	79,9 dB
$L'_{n,w} + C_1$	66,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	66,7 dB
$R_{impact}$	37,3 dB
$L'_{nT,w}$	76,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	62,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	63,1 dB
$D_{nT,impact}$	40,9 dB

**Indices:**

**chair moving**

$L_{eq}$	= 64,8 dB	$L_{A,eq}$	= 59,8 dB
$N$	= 15,45 sone	$L_N$	= 79,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 67,7 dB	$L_{Fmax}$ = 67,9 dB	$L_{Fmax}$ = 67,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 62,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 63,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 63,2 dB
$N$ = 18,41 sone	$N$ = 18,90 sone	$N$ = 19,06 sone
$L_N$ = 82,0 phon	$L_N$ = 82,4 phon	$L_N$ = 82,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

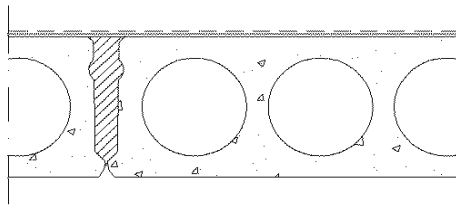
**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 80,6 dB	$L_{A,eq}$	= 80,8 dB
$N$	= 56,49 sone	$L_N$	= 97,1 phon



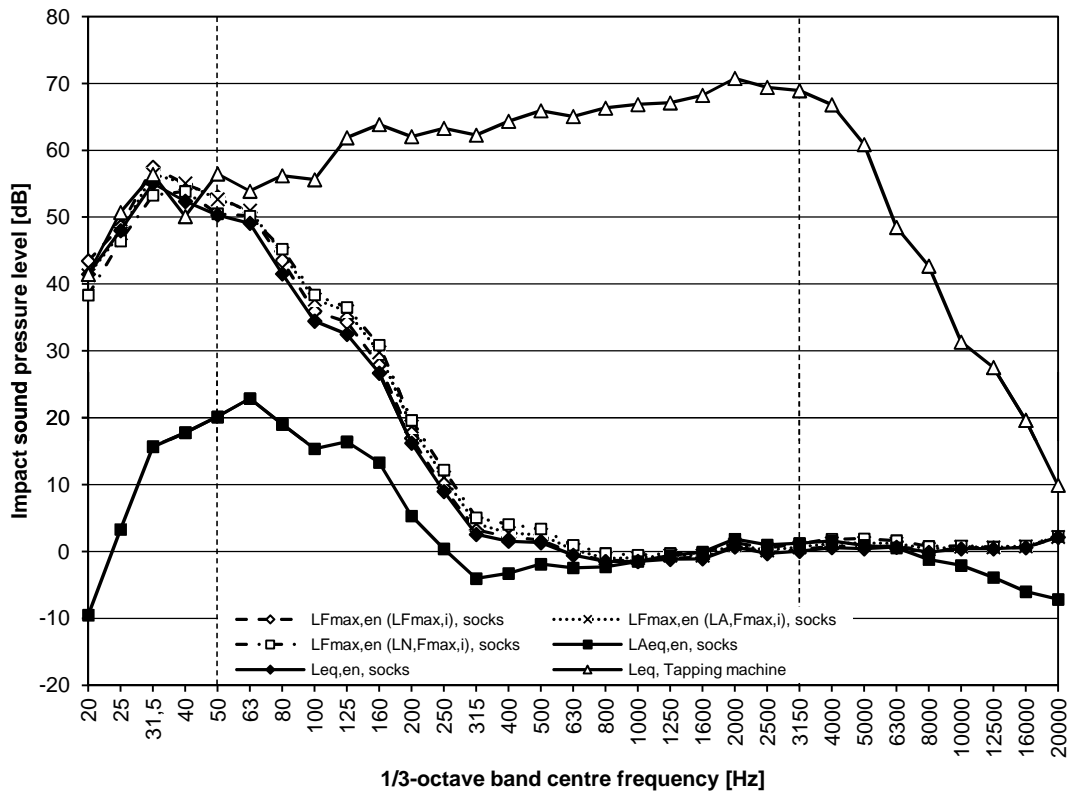




**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 58,9 dB	$L_{A,eq}$	= 27,7 dB
$N$	= 0,284 sone	$L_N$	= 26,0 phon

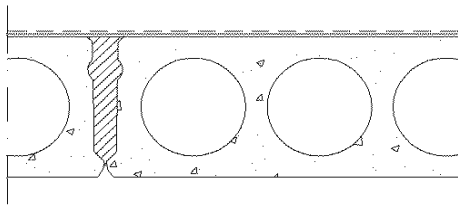
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 61,2 dB	$L_{Fmax}$ = 60,7 dB	$L_{Fmax}$ = 58,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 29,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 30,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 29,7 dB
$N$ = 0,354 sone	$N$ = 0,411 sone	$N$ = 0,434 sone
$L_N$ = 28,2 phon	$L_N$ = 29,7 phon	$L_N$ = 30,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

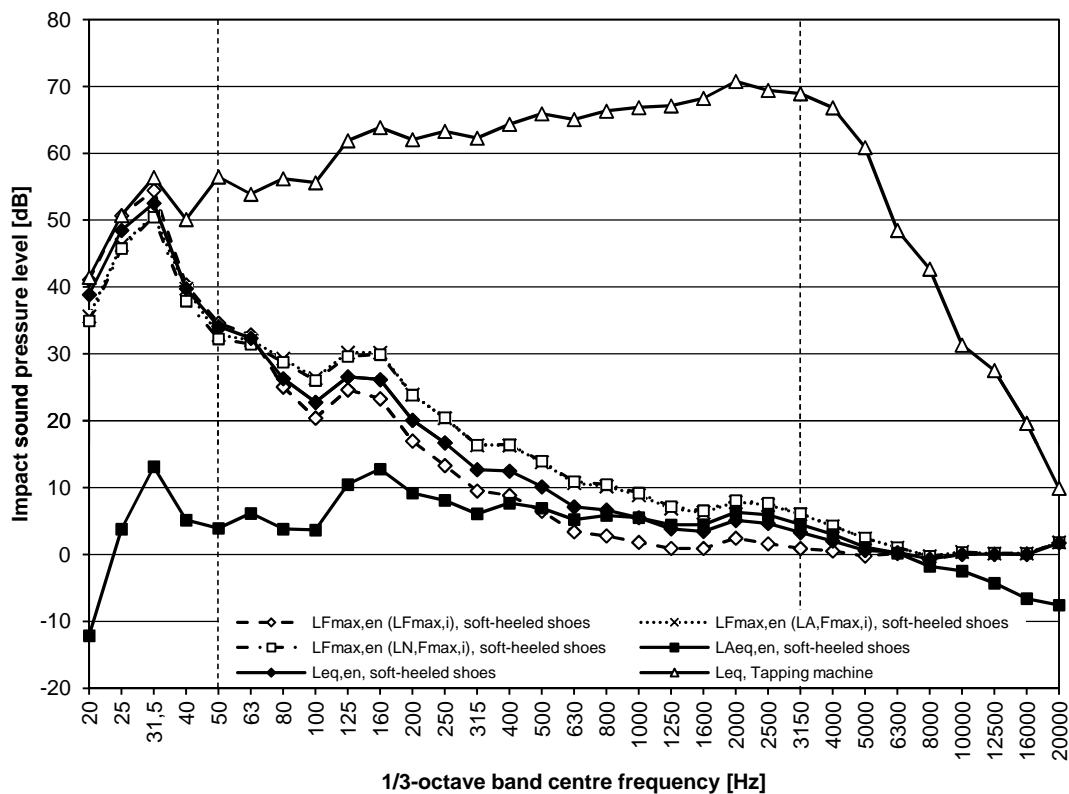
$L_{eq}$	= 78,9 dB	$L_{A,eq}$	= 78,7 dB
$N$	= 50,26 sone	$L_N$	= 95,5 phon

**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{\text{impact}}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	41,7 dB

**Indices: walking**

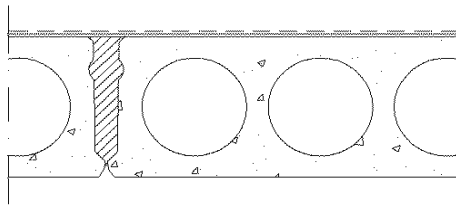
$L_{\text{eq}}$	= 54,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 21,2 dB
$N$	= 0,328 sone	$L_N$	= 27,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 56,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 52,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 52,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,7$ dB
$N = 0,148$ sone	$N = 0,622$ sone	$N = 0,631$ sone
$L_N = 20,3$ phon	$L_N = 34,3$ phon	$L_N = 34,4$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

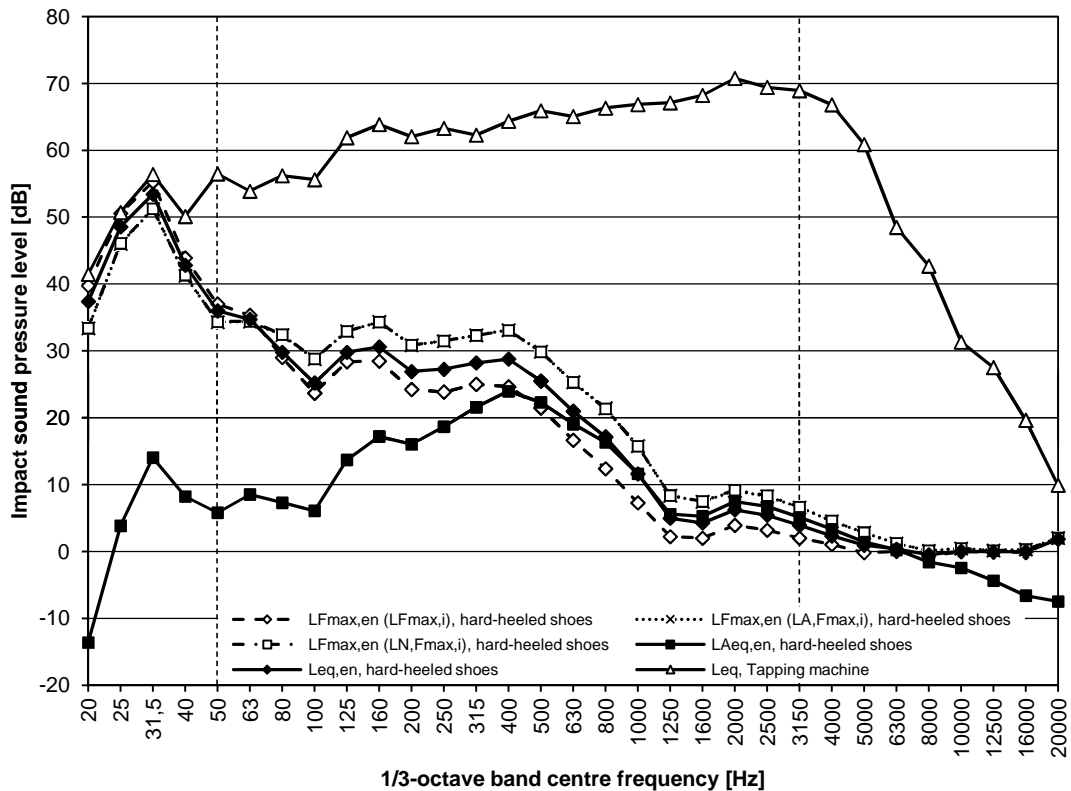
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 78,9$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 78,7$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 50,26$ sone	$L_N = 95,5$ phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 55,2 dB	$L_{A,eq}$	= 29,9 dB
$N$	= 1,210 sone	$L_N$	= 42,5 phon

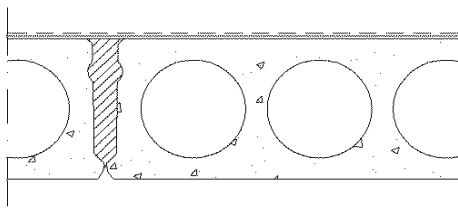
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 57,0 dB	$L_{Fmax}$ = 53,2 dB	$L_{Fmax}$ = 53,2 dB
$L_{A,Fmax}$ = 26,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 33,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 33,9 dB
$N$ = 0,775 sone	$N$ = 1,880 sone	$N$ = 1,880 sone
$L_N$ = 36,9 phon	$L_N$ = 48,4 phon	$L_N$ = 48,4 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

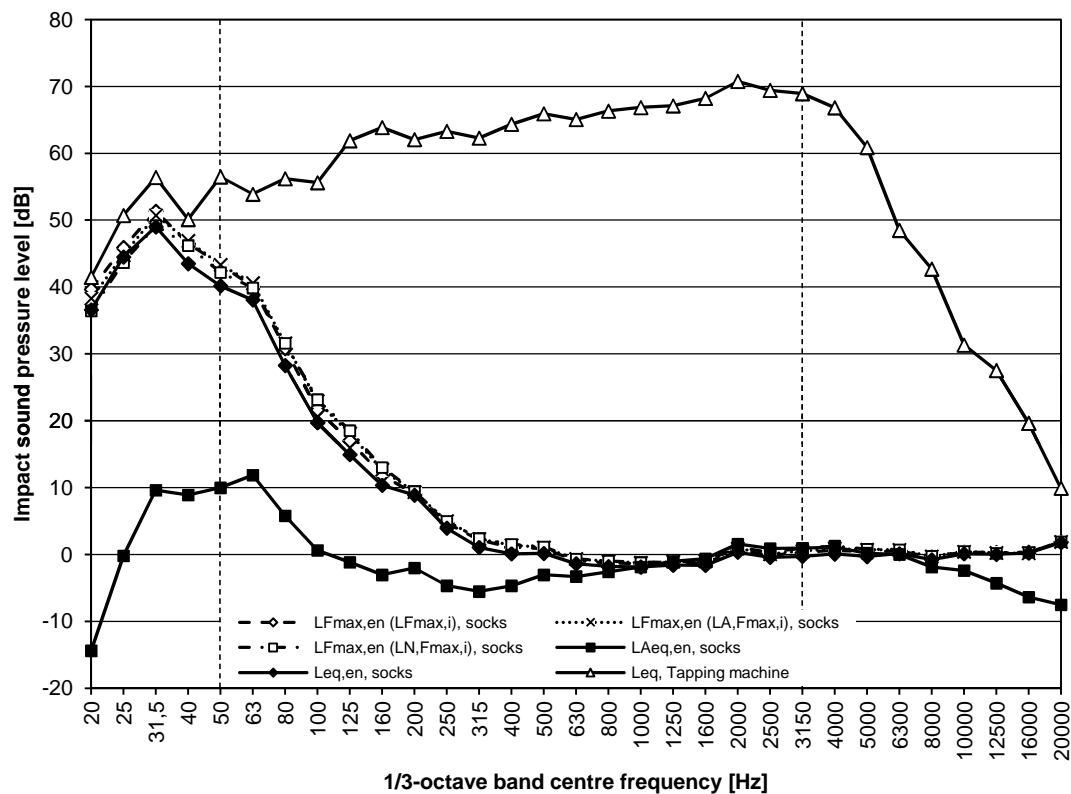
$L_{eq}$	= 78,9 dB	$L_{A,eq}$	= 78,7 dB
$N$	= 50,26 sone	$L_N$	= 95,5 phon

**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{\text{impact}}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	41,7 dB

**Indices: walking**

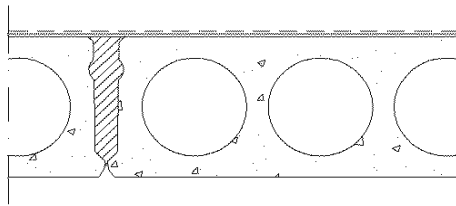
$L_{\text{eq}}$	= 51,8 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 18,1 dB
$N$	= 0,056 sone	$L_N$	= 13,7 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 54,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 53,8$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 52,6$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,8$ dB
$N = 0,080$ sone	$N = 0,088$ sone	$N = 0,091$ sone
$L_N = 15,8$ phon	$L_N = 16,6$ phon	$L_N = 16,8$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 78,9$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 78,7$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 50,26$ sone	$L_N = 95,5$ phon

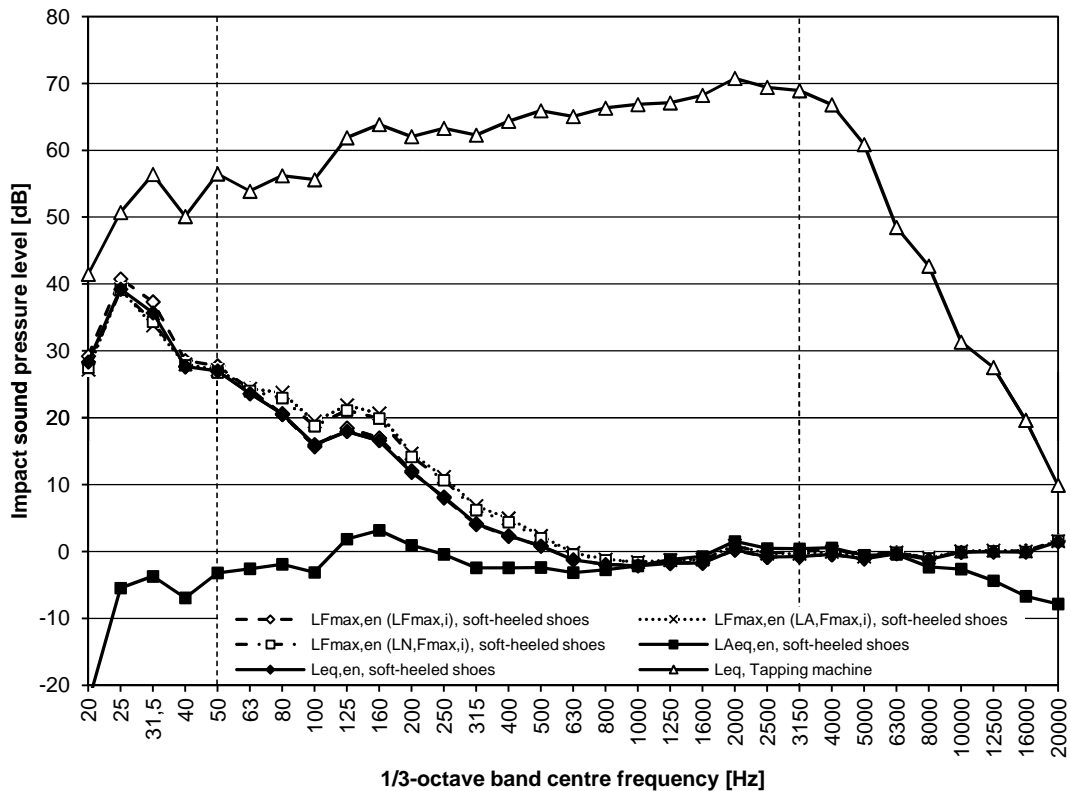


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	=	41,6 dB	$L_{A,eq}$	=	13,5 dB
$N$	=	0,042 sone	$L_N$	=	11,9 phon

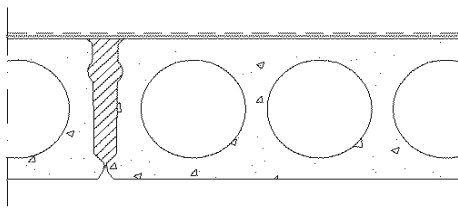
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 43,0 dB	$L_{Fmax}$ = 41,3 dB	$L_{Fmax}$ = 41,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 13,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 15,3 dB	$L_{A,Fmax}$ = 14,9 dB
$N$ = 0,043 sone	$N$ = 0,072 sone	$N$ = 0,069 sone
$L_N$ = 12,0 phon	$L_N$ = 15,1 phon	$L_N$ = 14,9 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	=	78,9 dB	$L_{A,eq}$	=	78,7 dB
$N$	=	50,26 sone	$L_N$	=	95,5 phon

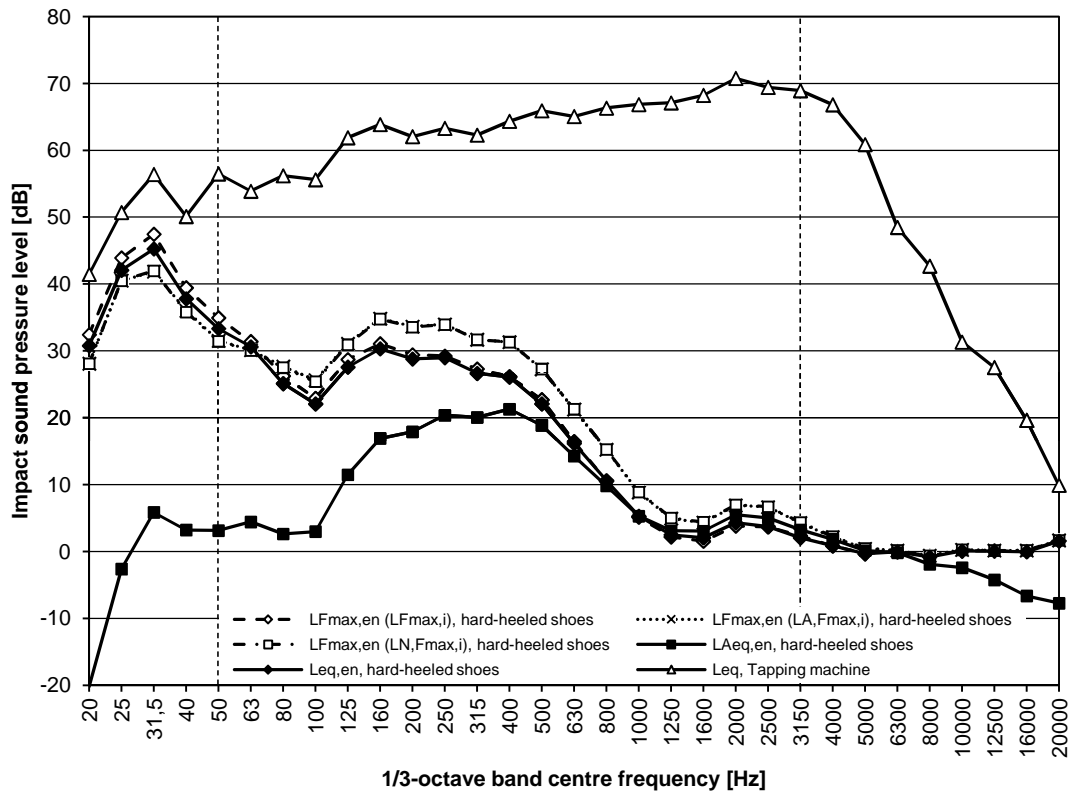


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices: walking**

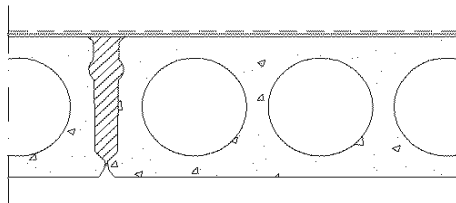
$L_{eq}$	= 48,1 dB	$L_{A,eq}$	= 27,9 dB
$N$	= 0,888 sone	$L_N$	= 38,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 50,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 46,8 dB	$L_{Fmax}$ = 46,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 28,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 32,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 32,8 dB
$N$ = 0,926 sone	$N$ = 1,510 sone	$N$ = 1,510 sone
$L_N$ = 39,1 phon	$L_N$ = 45,4 phon	$L_N$ = 45,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

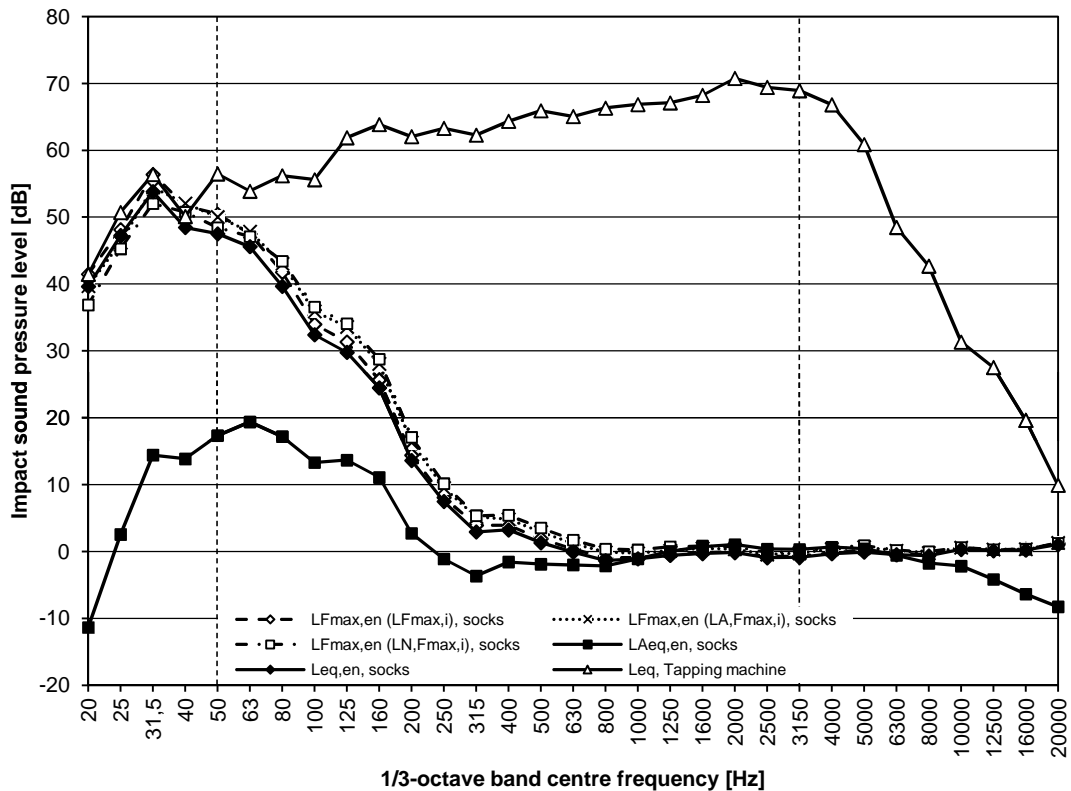
<b>Indices:</b>	$L_{eq}$ = 78,9 dB	$L_{A,eq}$ = 78,7 dB
<b>tapping machine</b>	$N$ = 50,26 sone	$L_N$ = 95,5 phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices: walking**  $L_{eq} = 56,8$  dB  $L_{A,eq} = 25,1$  dB  
 $N = 0,191$  sone  $L_N = 22,4$  phon

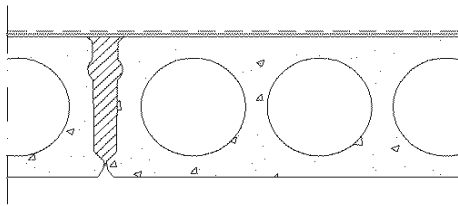
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 59,3$ dB	$L_{A,Fmax} = 58,3$ dB	$L_{Fmax} = 56,7$ dB
$L_{A,Fmax} = 27,2$ dB	$L_{A,Fmax} = 27,8$ dB	$L_{A,Fmax} = 27,4$ dB
$N = 0,246$ sone	$N = 0,306$ sone	$N = 0,319$ sone
$L_N = 24,7$ phon	$L_N = 26,7$ phon	$L_N = 27,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**  $L_{eq} = 78,9$  dB  $L_{A,eq} = 78,7$  dB  
 $N = 50,26$  sone  $L_N = 95,5$  phon

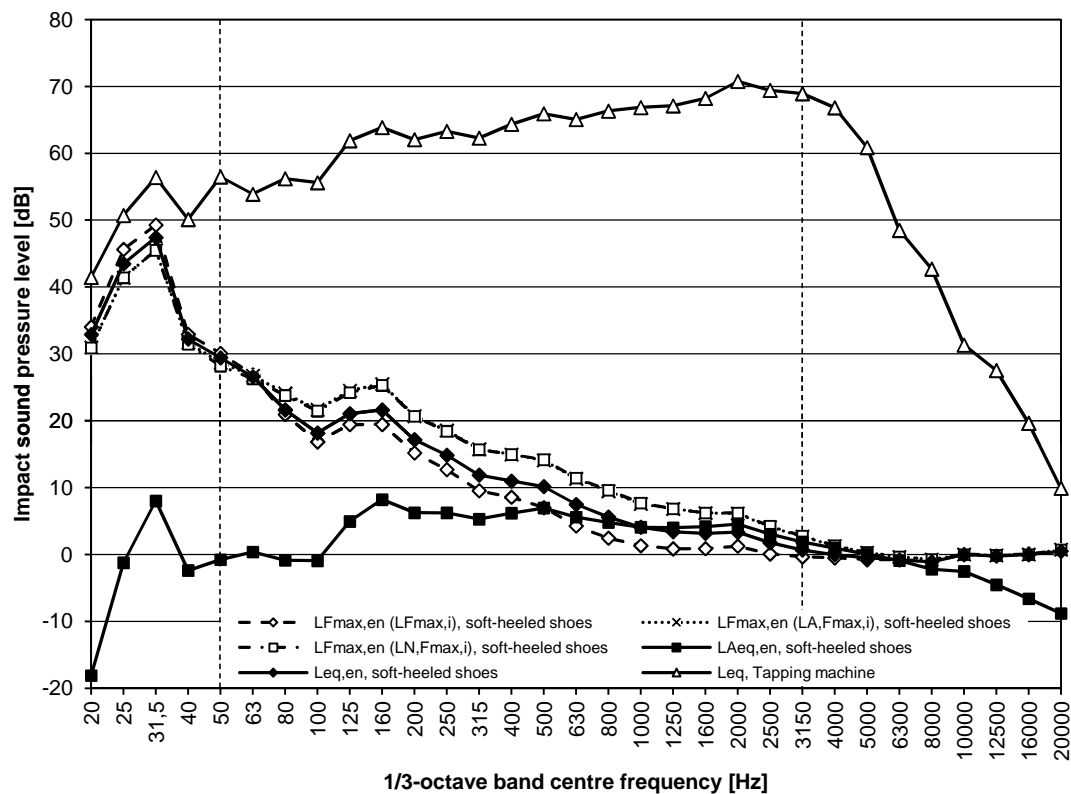


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{\text{impact}}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	41,7 dB

**Indices: walking**

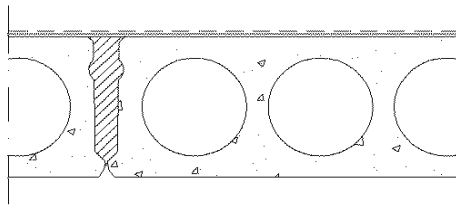
$L_{\text{eq}}$	= 49,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 18,3 dB
$N$	= 0,205 sone	$L_N$	= 23,1 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 51,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 47,4$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 47,3$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,2$ dB
$N = 0,096$ sone	$N = 0,437$ sone	$N = 0,439$ sone
$L_N = 17,2$ phon	$L_N = 30,4$ phon	$L_N = 30,4$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

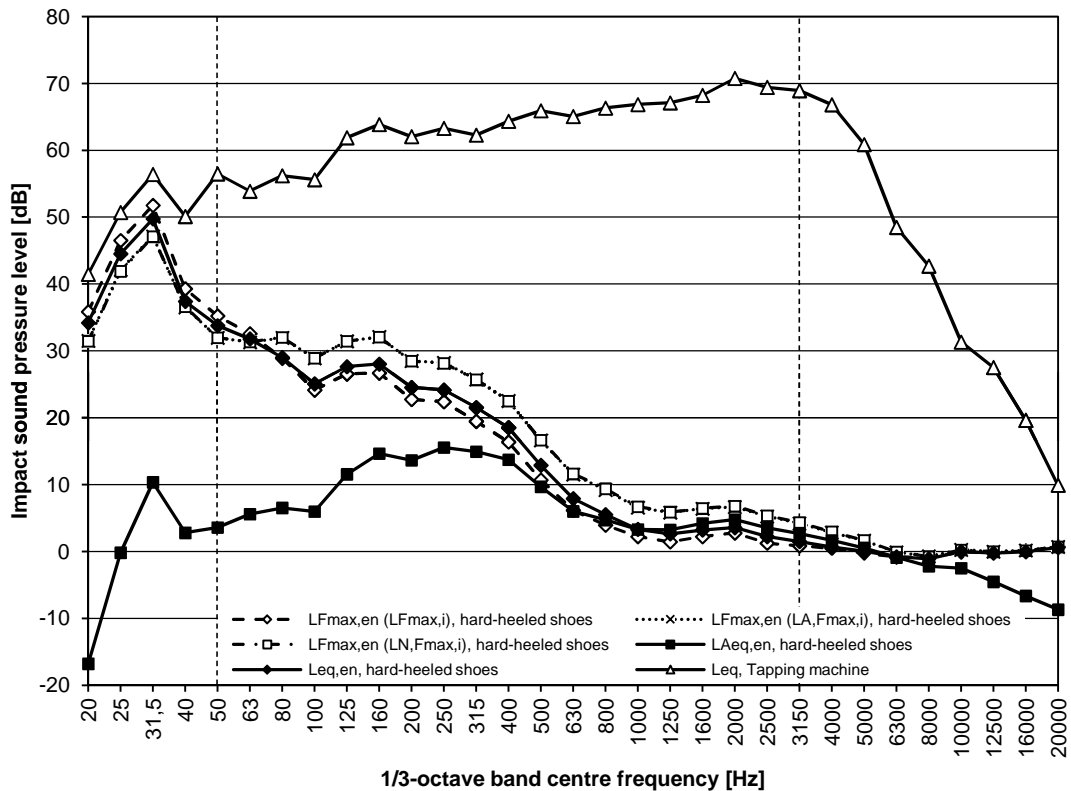
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 78,9$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 78,7$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 50,26$ sone	$L_N = 95,5$ phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 51,4 dB	$L_{A,eq}$	= 23,4 dB
$N$	= 0,457 sone	$L_N$	= 30,9 phon

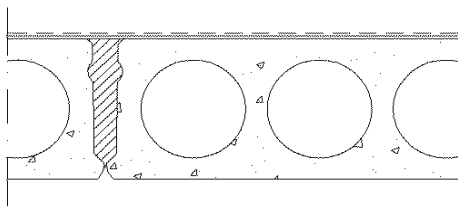
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 53,3 dB	$L_{Fmax}$ = 49,3 dB	$L_{Fmax}$ = 49,2 dB
$L_{A,Fmax}$ = 22,3 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,0 dB
$N$ = 0,344 sone	$N$ = 0,842 sone	$N$ = 0,847 sone
$L_N$ = 27,9 phon	$L_N$ = 37,9 phon	$L_N$ = 38,0 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 78,9 dB	$L_{A,eq}$	= 78,7 dB
$N$	= 50,26 sone	$L_N$	= 95,5 phon

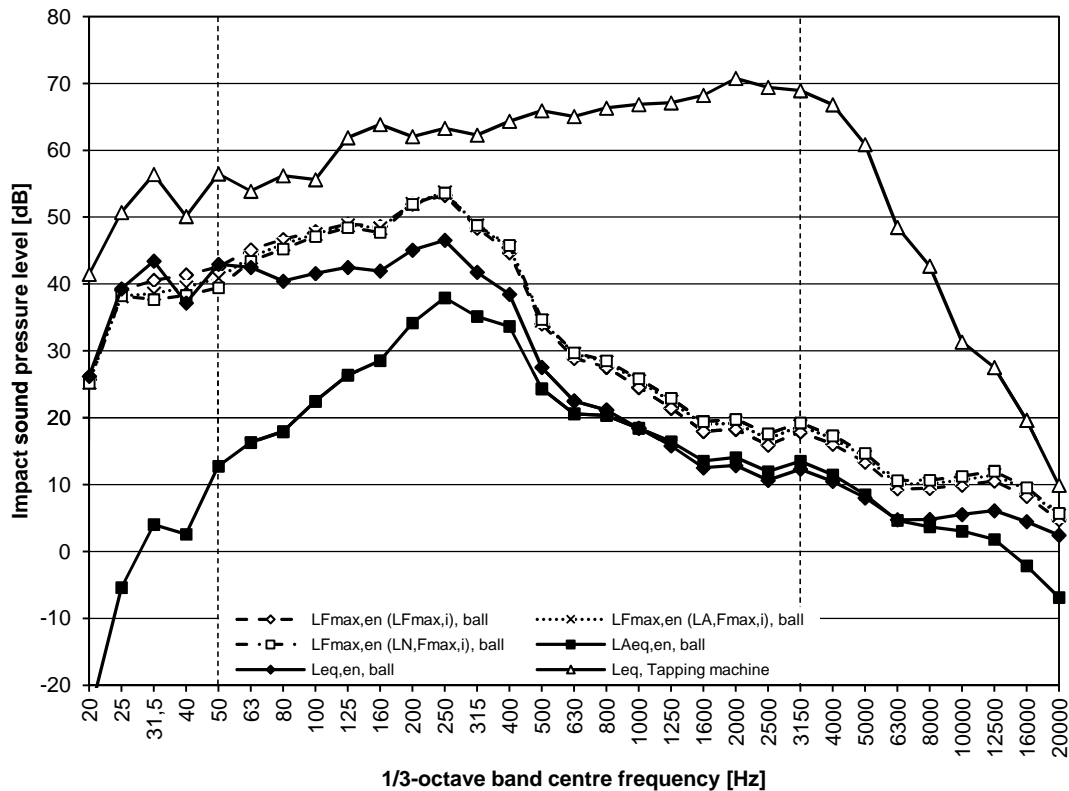


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{eq}$	= 53,7 dB	$L_{A,eq}$	= 42,2 dB
$N$	= 3,340 sone	$L_N$	= 56,7 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

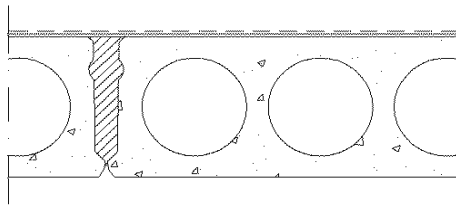
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 59,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 59,1 dB	$L_{Fmax}$ = 58,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 48,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 49,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 49,2 dB
$N$ = 5,610 sone	$N$ = 5,860 sone	$N$ = 5,930 sone
$L_N$ = 64,5 phon	$L_N$ = 65,1 phon	$L_N$ = 65,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 78,9 dB	$L_{A,eq}$	= 78,7 dB
$N$	= 50,26 sone	$L_N$	= 95,5 phon

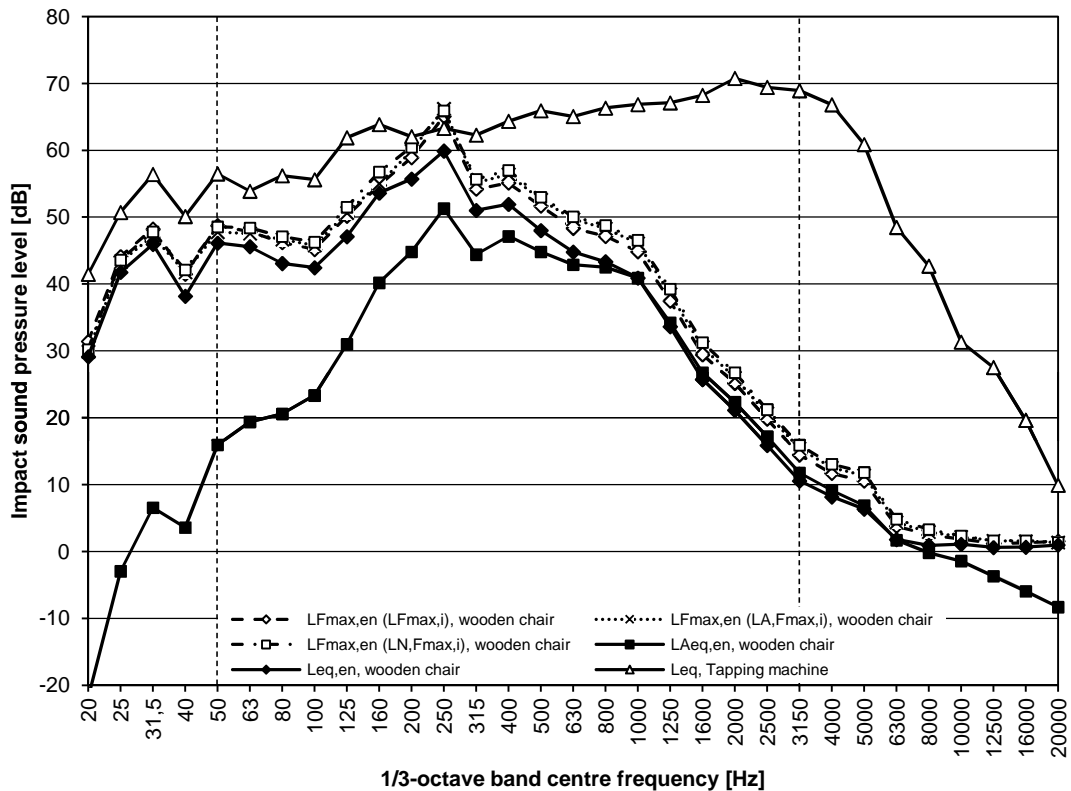


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Estrad),  $\Delta L_w = 2$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	77,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	65,8 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	65,8 dB
$R_{impact}$	38,2 dB
$L'_{nT,w}$	74,0 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	61,9 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	62,3 dB
$D_{nT,impact}$	41,7 dB

**Indices:**

$L_{eq}$	= 63,5 dB	$L_{A,eq}$	= 55,3 dB
$N$	= 8,870 sone	$L_N$	= 71,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

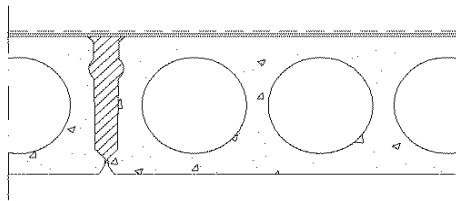
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 67,5 dB	$L_{Fmax}$ = 68,5 dB	$L_{Fmax}$ = 68,6 dB
$L_{A,Fmax}$ = 59,5 dB	$L_{A,Fmax}$ = 60,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 60,7 dB
$N$ = 11,27 sone	$N$ = 12,02 sone	$N$ = 12,36 sone
$L_N$ = 74,9 phon	$L_N$ = 75,9 phon	$L_N$ = 76,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

**Indices:**

$L_{eq}$	= 78,9 dB	$L_{A,eq}$	= 78,7 dB
$N$	= 50,26 sone	$L_N$	= 95,5 phon

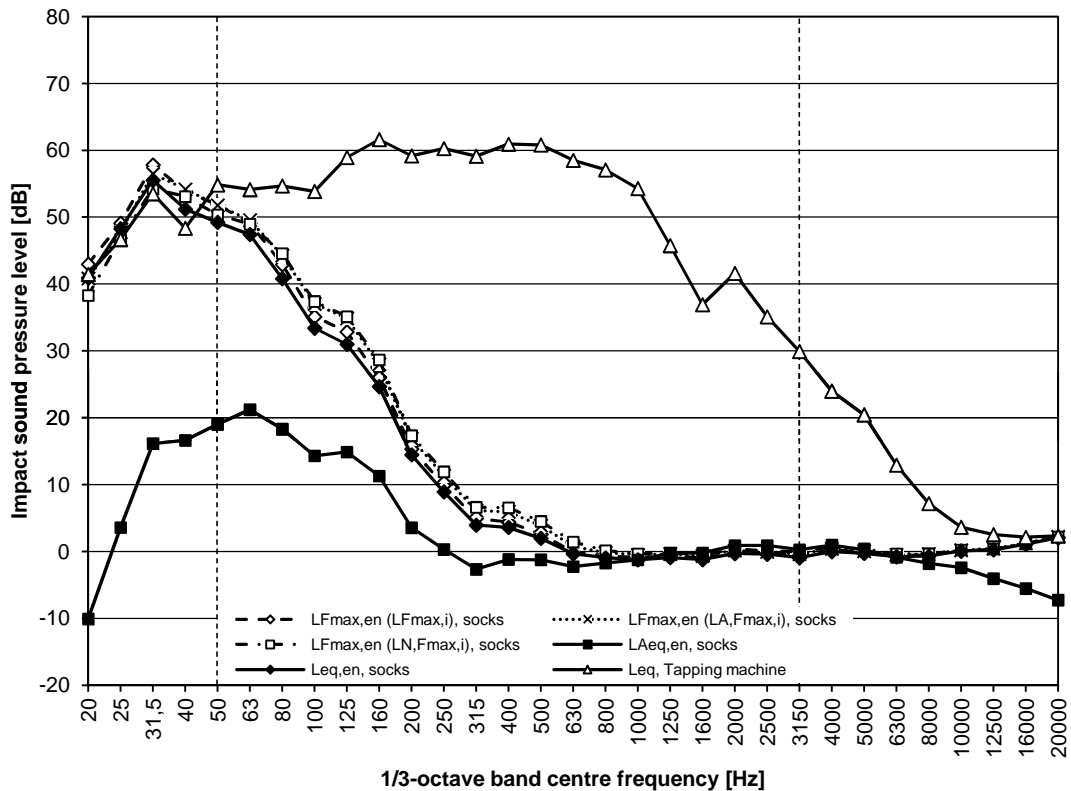




**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 58,6 dB	$L_{A,eq}$	= 26,6 dB
$N$	= 0,227 sone	$L_N$	= 23,9 phon

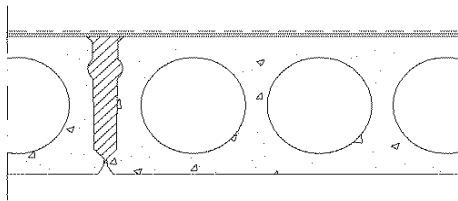
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 60,8 dB	$L_{Fmax}$ = 60,2 dB	$L_{Fmax}$ = 58,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 28,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 29,3 dB	$L_{A,Fmax}$ = 28,8 dB
$N$ = 0,293 sone	$N$ = 0,351 sone	$N$ = 0,361 sone
$L_N$ = 26,3 phon	$L_N$ = 28,1 phon	$L_N$ = 28,4 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon

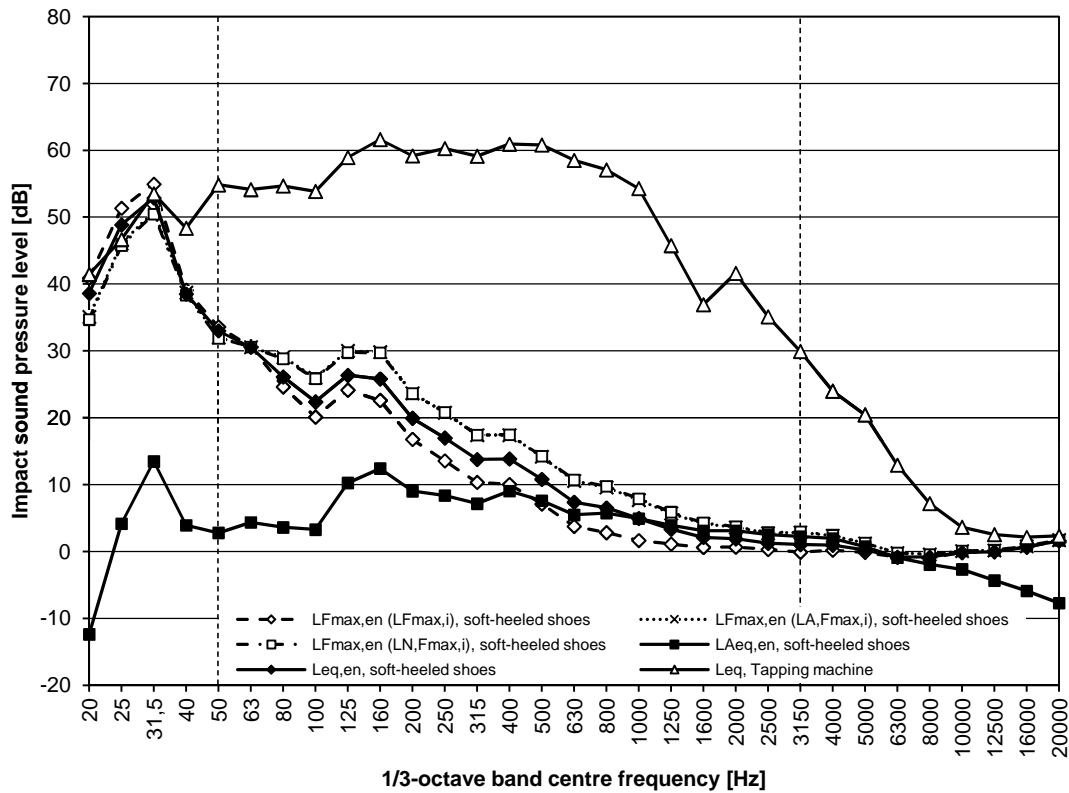


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 54,6 dB	$L_{A,eq}$	= 20,9 dB
$N$	= 0,280 sone	$L_N$	= 25,9 phon

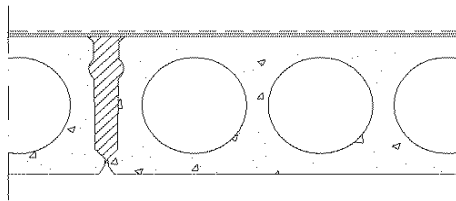
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 56,7$ dB	$L_{A,Fmax} = 52,5$ dB	$L_{Fmax} = 52,2$ dB
$L_{A,Fmax} = 19,9$ dB	$L_{A,Fmax} = 23,4$ dB	$L_{A,Fmax} = 23,4$ dB
$N = 0,137$ sone	$N = 0,512$ sone	$N = 0,517$ sone
$L_N = 19,7$ phon	$L_N = 32,1$ phon	$L_N = 32,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

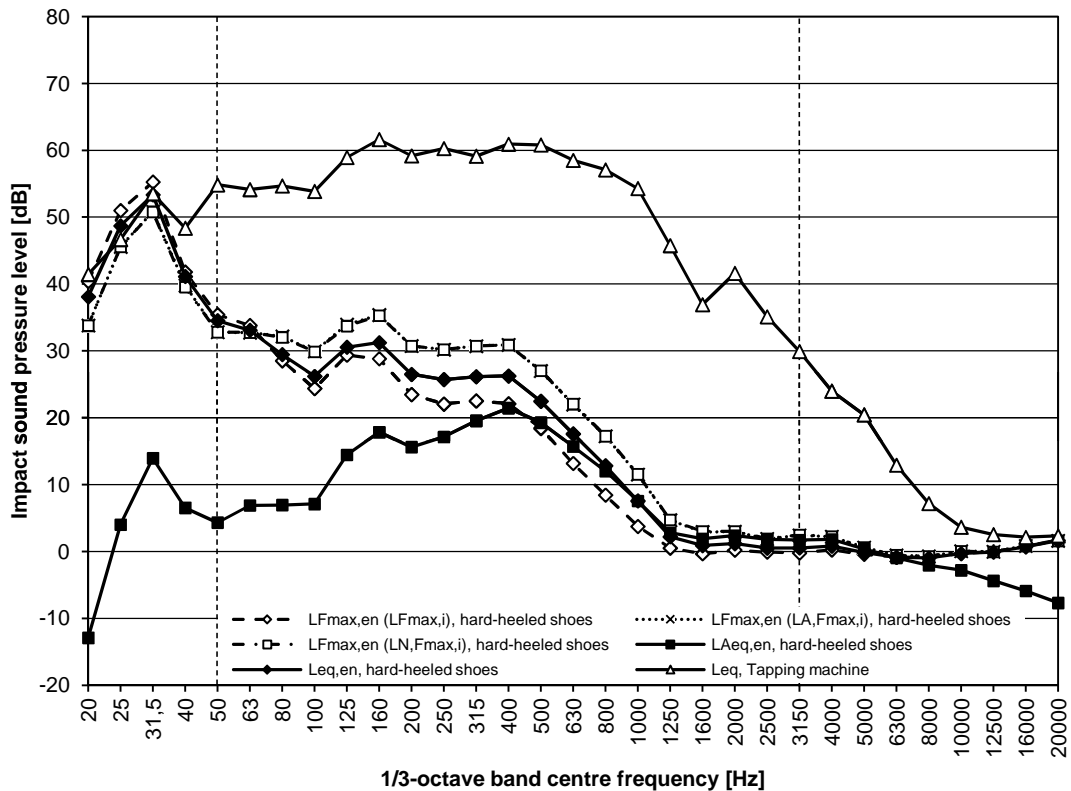
$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 55,1 dB	$L_{A,eq}$	= 27,9 dB
$N$	= 0,873 sone	$L_N$	= 38,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

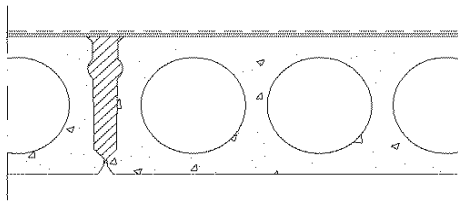
$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 57,0 dB	$L_{Fmax}$ = 52,7 dB	$L_{Fmax}$ = 52,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 25,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 32,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 32,0 dB
$N$ = 0,548 sone	$N$ = 1,420 sone	$N$ = 1,420 sone
$L_N$ = 32,8 phon	$L_N$ = 44,6 phon	$L_N$ = 44,6 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon

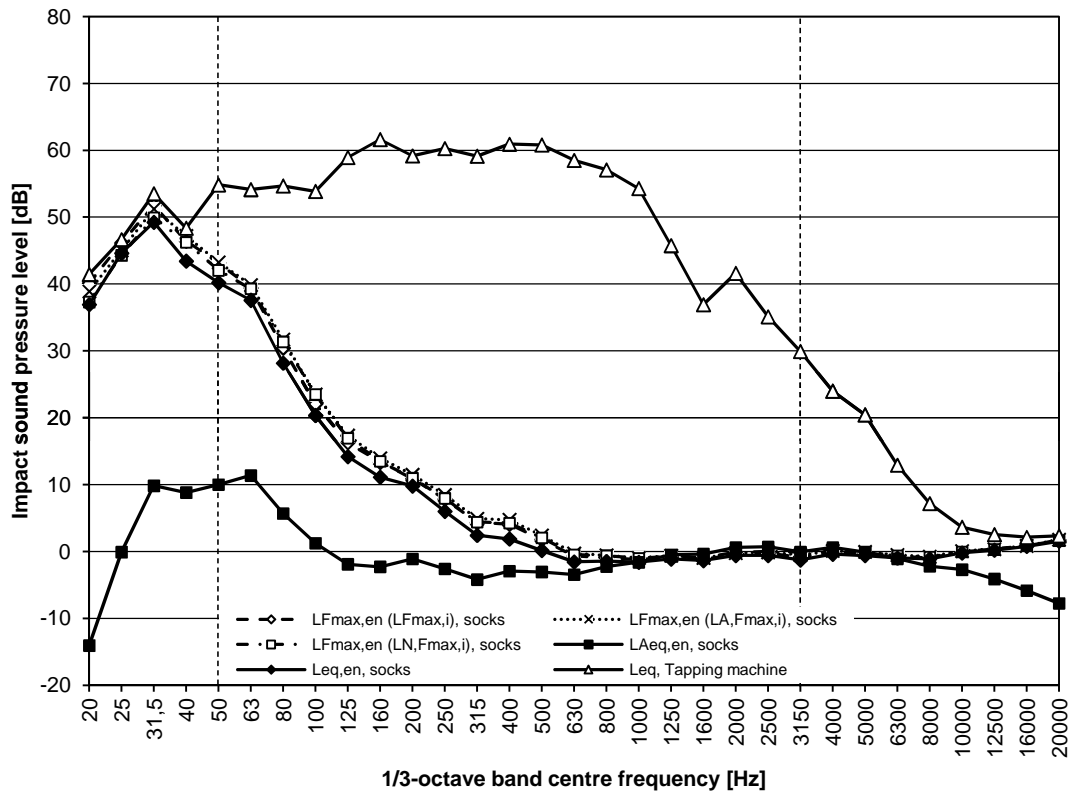


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{\text{impact}}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 52,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 18,0 dB
$N$	= 0,047 sone	$L_N$	= 12,5 phon

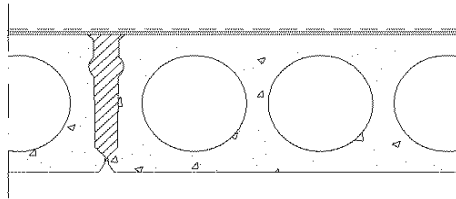
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 54,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 54,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 53,0$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,7$ dB
$N = 0,066$ sone	$N = 0,076$ sone	$N = 0,076$ sone
$L_N = 14,6$ phon	$L_N = 15,6$ phon	$L_N = 15,5$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

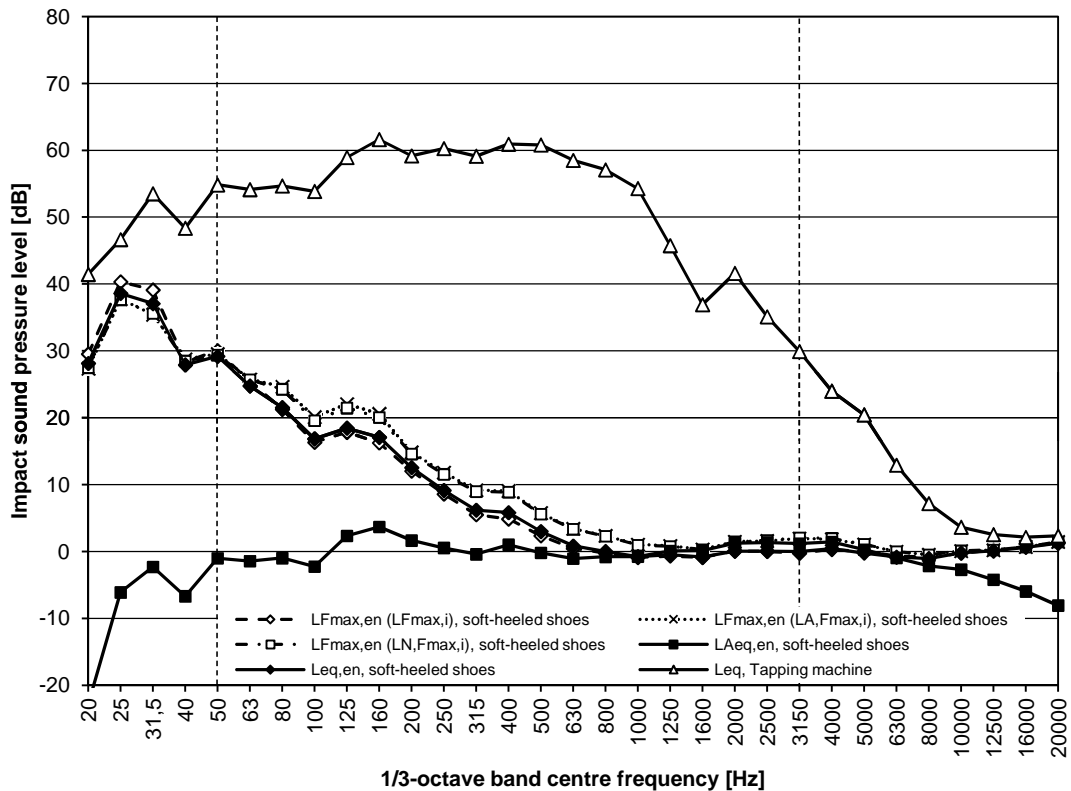
$L_{\text{eq}}$	= 70,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	=	41,8 dB	$L_{A,eq}$	=	14,4 dB
$N$	=	0,062 sone	$L_N$	=	14,2 phon

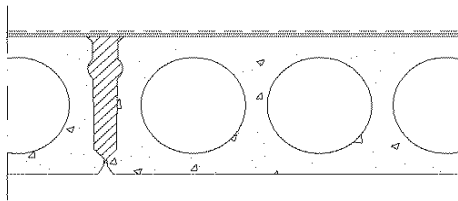
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 43,5 dB	$L_{Fmax}$ = 41,1 dB	$L_{Fmax}$ = 41,0 dB
$L_{A,Fmax}$ = 14,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 16,5 dB	$L_{A,Fmax}$ = 16,3 dB
$N$ = 0,056 sone	$N$ = 0,133 sone	$N$ = 0,129 sone
$L_N$ = 13,6 phon	$L_N$ = 19,5 phon	$L_N$ = 19,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	=	70,2 dB	$L_{A,eq}$	=	64,3 dB
$N$	=	17,85 sone	$L_N$	=	81,6 phon

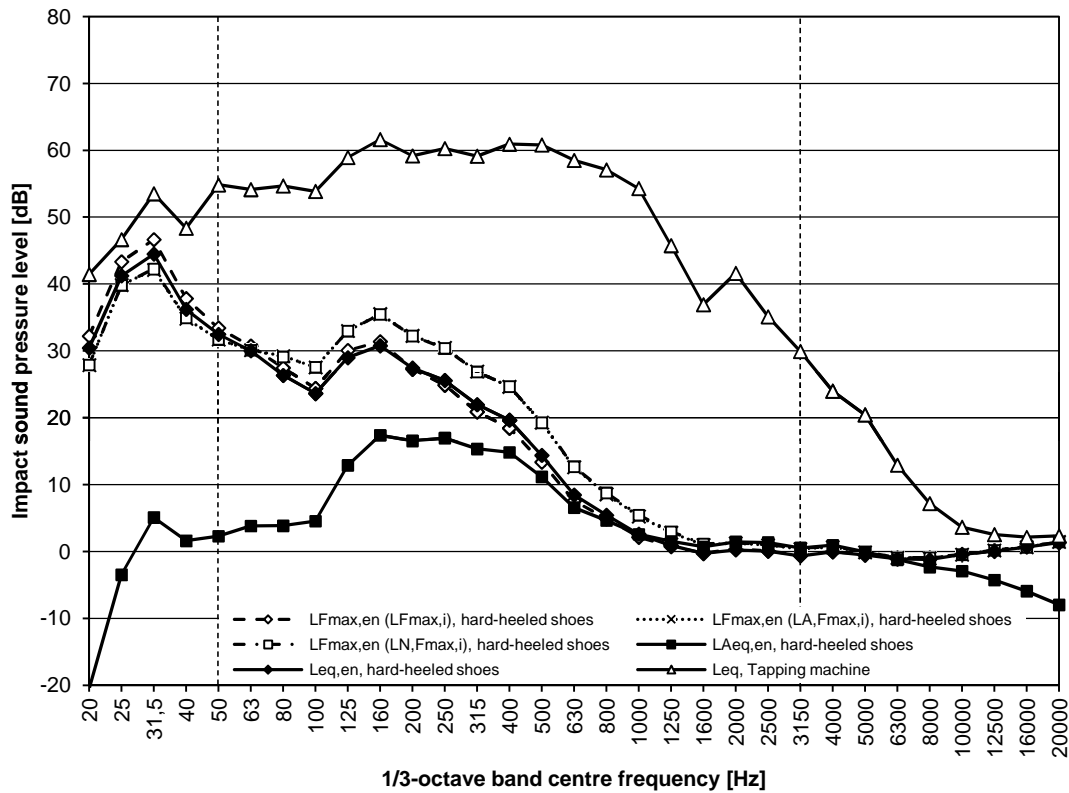


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 47,3 dB	$L_{A,eq}$	= 24,5 dB
$N$	= 0,495 sone	$L_N$	= 31,7 phon

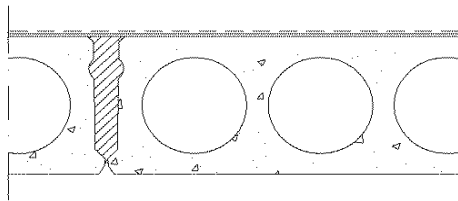
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}$ (t)	$L_{A,Fmax,i}$ (t)	$L_{N,Fmax,i}$ (t)
$L_{Fmax}$ = 49,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 46,3 dB	$L_{Fmax}$ = 46,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 24,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 29,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 29,0 dB
$N$ = 0,467 sone	$N$ = 0,896 sone	$N$ = 0,899 sone
$L_N$ = 31,1 phon	$L_N$ = 38,7 phon	$L_N$ = 38,7 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

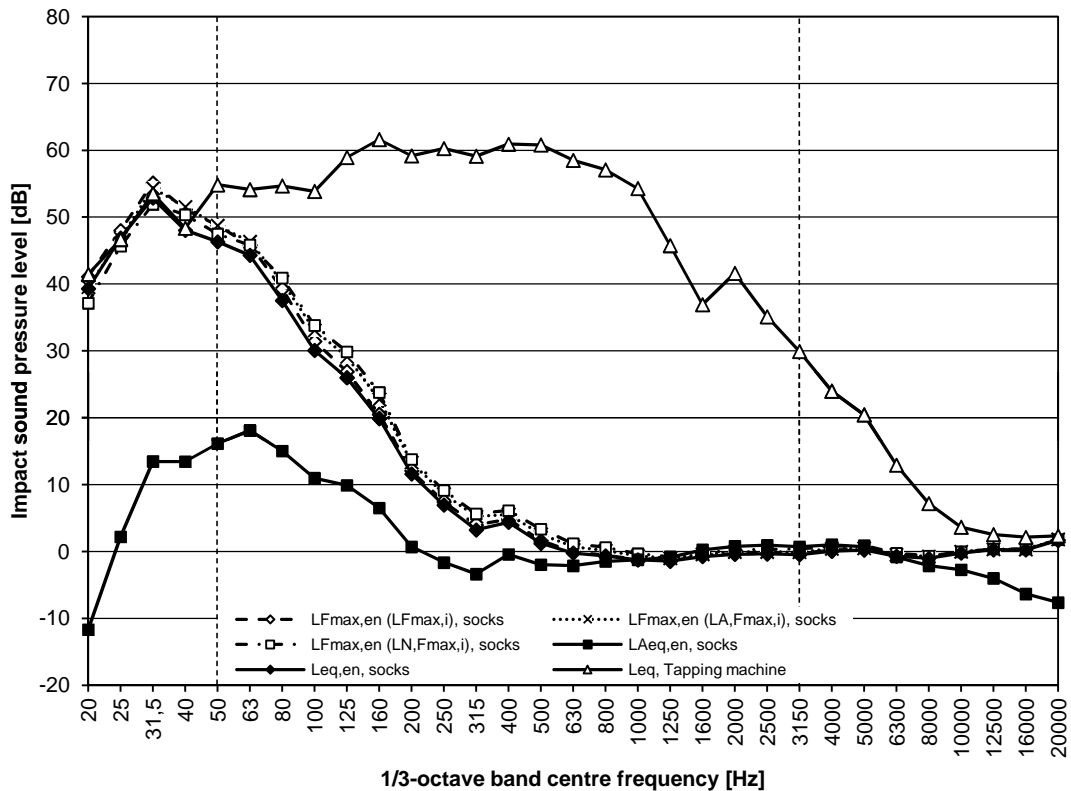
$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 55,9 dB	$L_{A,eq}$	= 23,6 dB
$N$	= 0,142 sone	$L_N$	= 20,0 phon

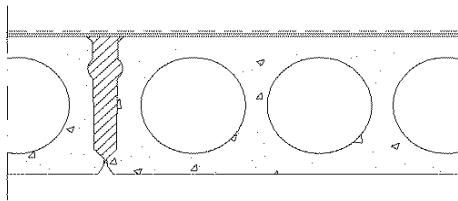
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 58,2 dB	$L_{Fmax}$ = 57,8 dB	$L_{Fmax}$ = 56,2 dB
$L_{A,Fmax}$ = 25,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 25,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 25,5 dB
$N$ = 0,175 sone	$N$ = 0,210 sone	$N$ = 0,226 sone
$L_N$ = 21,7 phon	$L_N$ = 23,3 phon	$L_N$ = 23,9 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

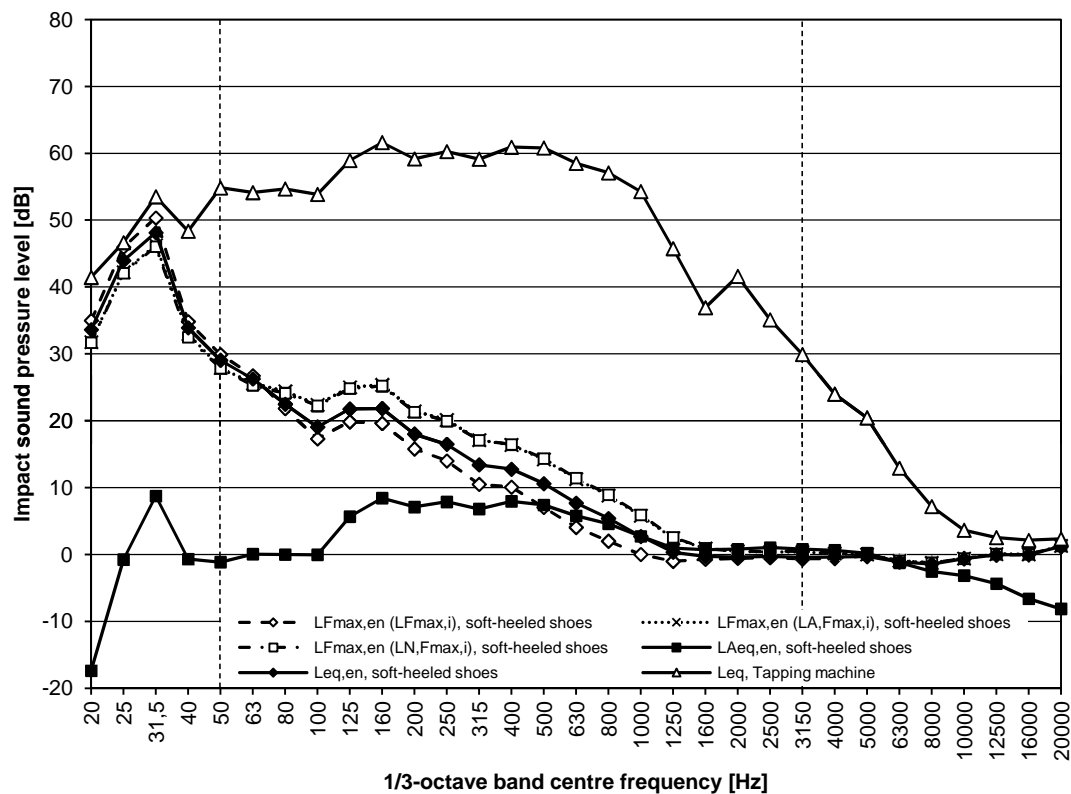
$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon

**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{\text{impact}}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,1 dB

**Indices: walking**

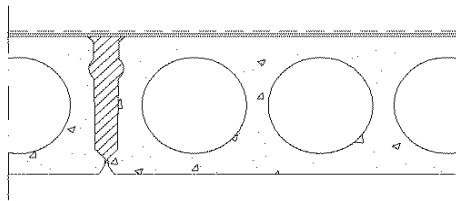
$L_{\text{eq}}$	= 49,9 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 18,5 dB
$N$	= 0,190 sone	$L_N$	= 22,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 51,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 47,9$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,1$ dB
$N = 0,102$ sone	$N = 0,359$ sone	$N = 0,361$ sone
$L_N = 17,6$ phon	$L_N = 28,3$ phon	$L_N = 28,4$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

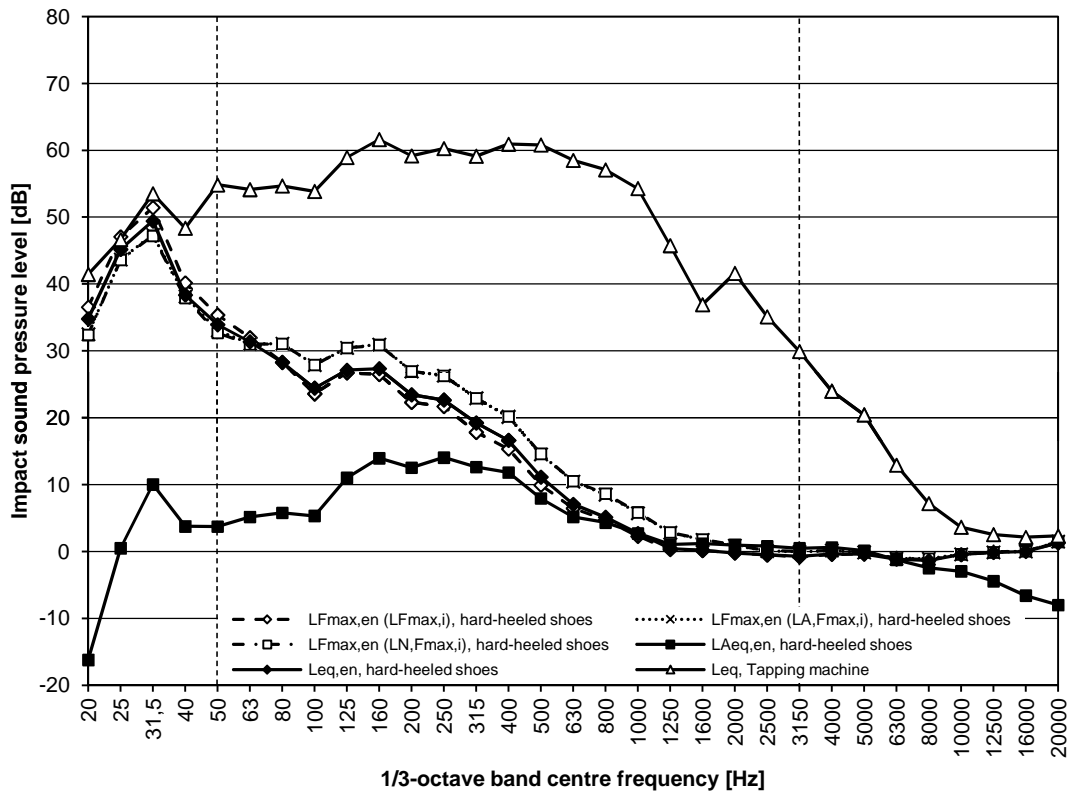
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 70,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,3 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon



**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 51,4 dB	$L_{A,eq}$	= 22,2 dB
$N$	= 0,336 sone	$L_N$	= 27,7 phon

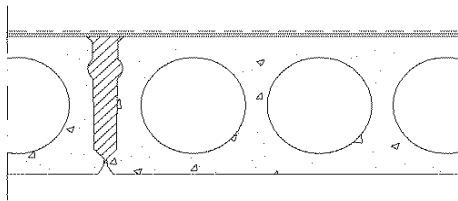
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 53,3 dB	$L_{Fmax}$ = 49,8 dB	$L_{Fmax}$ = 49,6 dB
$L_{A,Fmax}$ = 21,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 25,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 25,2 dB
$N$ = 0,287 sone	$N$ = 0,578 sone	$N$ = 0,581 sone
$L_N$ = 26,1 phon	$L_N$ = 33,4 phon	$L_N$ = 33,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon

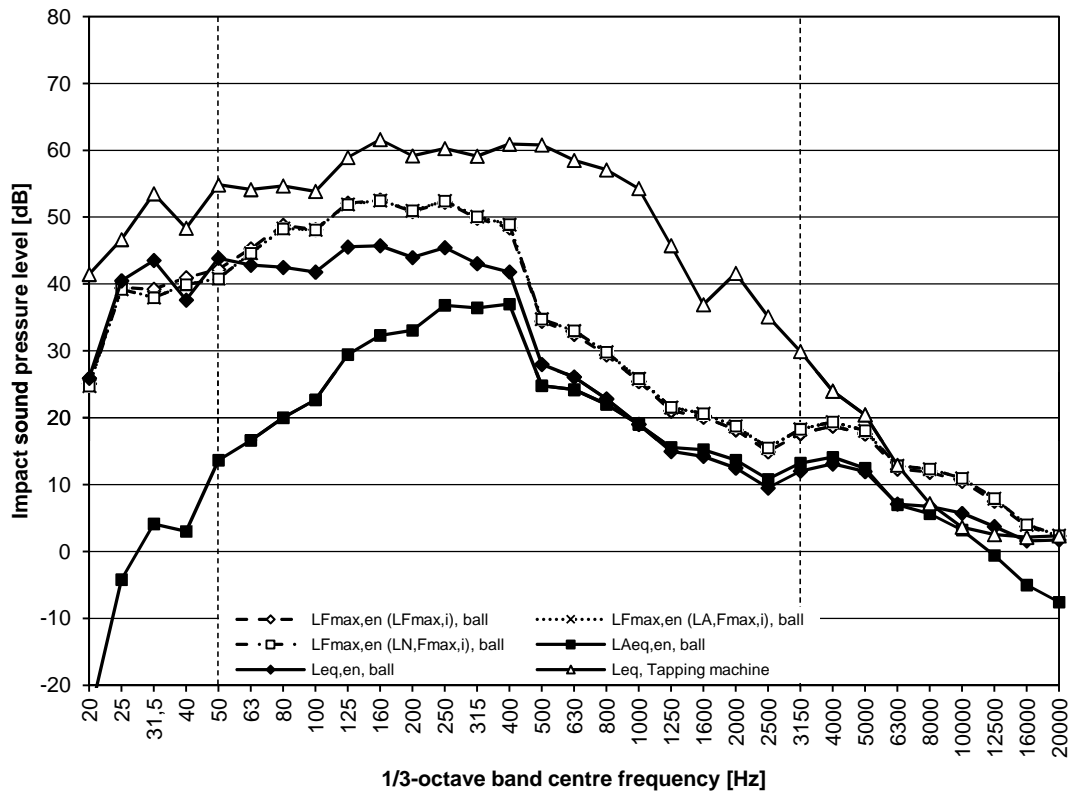


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{eq}$	= 54,6 dB	$L_{A,eq}$	= 43,1 dB
$N$	= 3,740 sone	$L_N$	= 58,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

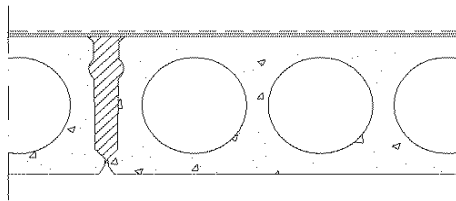
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 60,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 60,1 dB	$L_{Fmax}$ = 60,1 dB
$L_{A,Fmax}$ = 49,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 50,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 50,0 dB
$N$ = 6,280 sone	$N$ = 6,440 sone	$N$ = 6,440 sone
$L_N$ = 66,2 phon	$L_N$ = 66,5 phon	$L_N$ = 66,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon

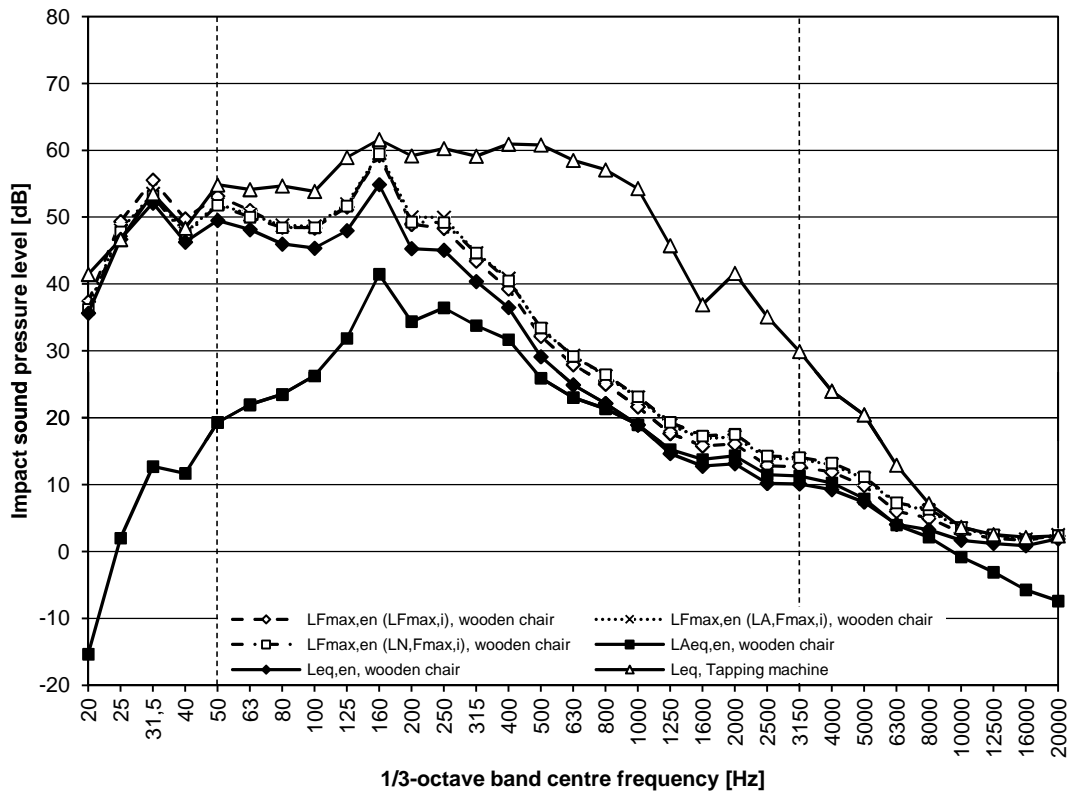


**Structure:**

- cushion vinyl (Upofloor Upostep),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,5 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,9 dB
$D_{nT,impact}$	49,1 dB

**Indices:**

**chair moving**

$L_{eq}$	= 59,7 dB	$L_{A,eq}$	= 44,5 dB
$N$	= 3,740 sone	$L_N$	= 58,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 63,4 dB	$L_{Fmax}$ = 63,2 dB	$L_{Fmax}$ = 62,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 48,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 49,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 48,9 dB
$N$ = 4,900 sone	$N$ = 5,310 sone	$N$ = 5,290 sone
$L_N$ = 62,4 phon	$L_N$ = 63,6 phon	$L_N$ = 63,6 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

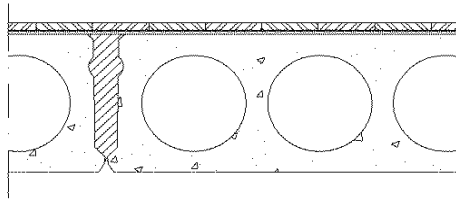
**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 64,3 dB
$N$	= 17,85 sone	$L_N$	= 81,6 phon



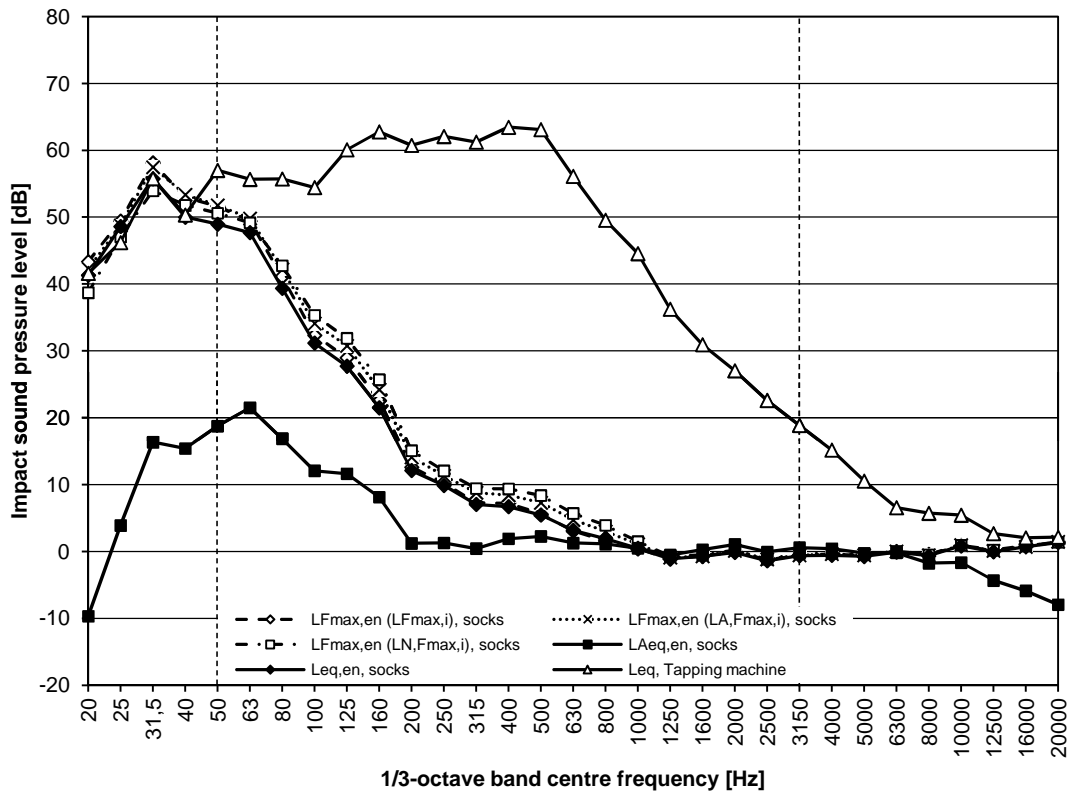




**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{impact}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,impact}$	48,4 dB

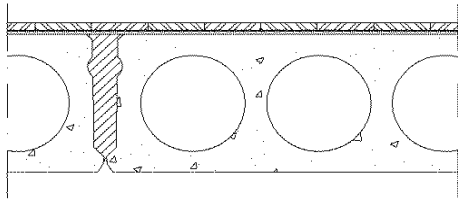
**Indices: walking**  $L_{eq} = 58,5$  dB  $L_{A,eq} = 26,1$  dB  
 $N = 0,198$  sone  $L_N = 22,8$  phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 60,8$ dB	$L_{Fmax} = 60,6$ dB	$L_{Fmax} = 58,3$ dB
$L_{A,Fmax} = 28,1$ dB	$L_{A,Fmax} = 28,5$ dB	$L_{A,Fmax} = 27,9$ dB
$N = 0,246$ sone	$N = 0,294$ sone	$N = 0,324$ sone
$L_N = 24,7$ phon	$L_N = 26,4$ phon	$L_N = 27,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

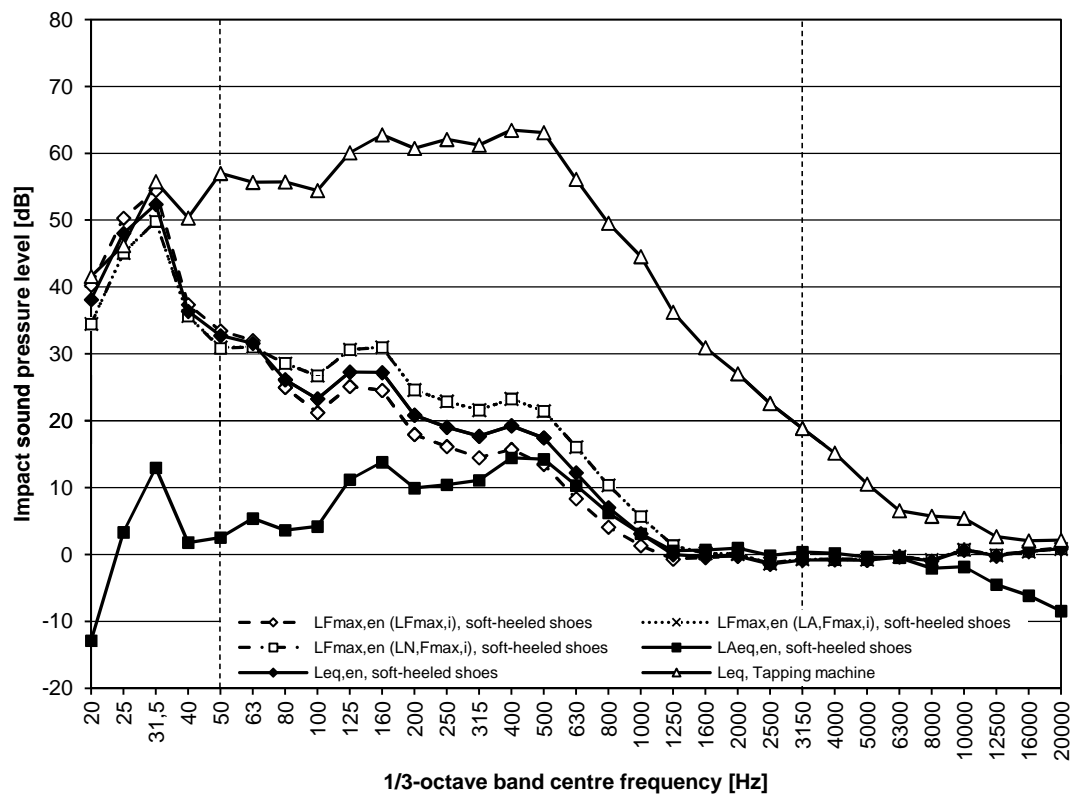
**Indices: tapping machine**  $L_{eq} = 71,4$  dB  $L_{A,eq} = 64,5$  dB  
 $N = 14,79$  sone  $L_N = 78,9$  phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices: walking**

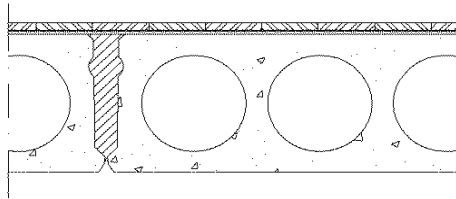
$L_{\text{eq}}$	= 54,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 22,7 dB
$N$	= 0,390 sone	$L_N$	= 29,2 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 56,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 51,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 51,5$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,8$ dB
$N = 0,234$ sone	$N = 0,664$ sone	$N = 0,664$ sone
$L_N = 24,2$ phon	$L_N = 35,0$ phon	$L_N = 35,0$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

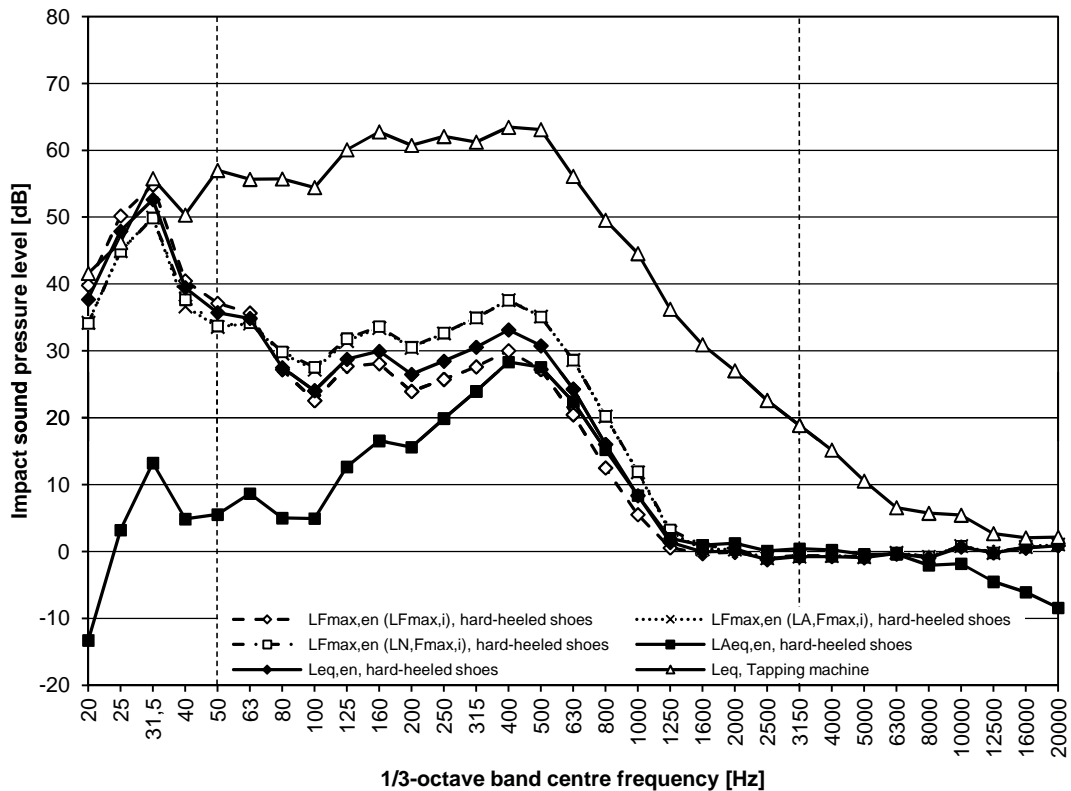
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 71,4$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 64,5$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 14,79$ sone	$L_N = 78,9$ phon



**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{impact}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,impact}$	48,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 54,4 dB	$L_{A,eq}$	= 32,9 dB
$N$	= 1,340 sone	$L_N$	= 43,8 phon

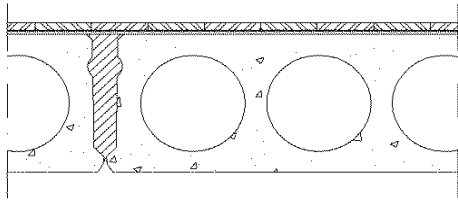
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 56,4 dB	$L_{Fmax}$ = 52,1 dB	$L_{Fmax}$ = 52,1 dB
$L_{A,Fmax}$ = 30,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 37,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 37,2 dB
$N$ = 0,989 sone	$N$ = 1,950 sone	$N$ = 1,960 sone
$L_N$ = 39,9 phon	$L_N$ = 49,0 phon	$L_N$ = 49,0 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

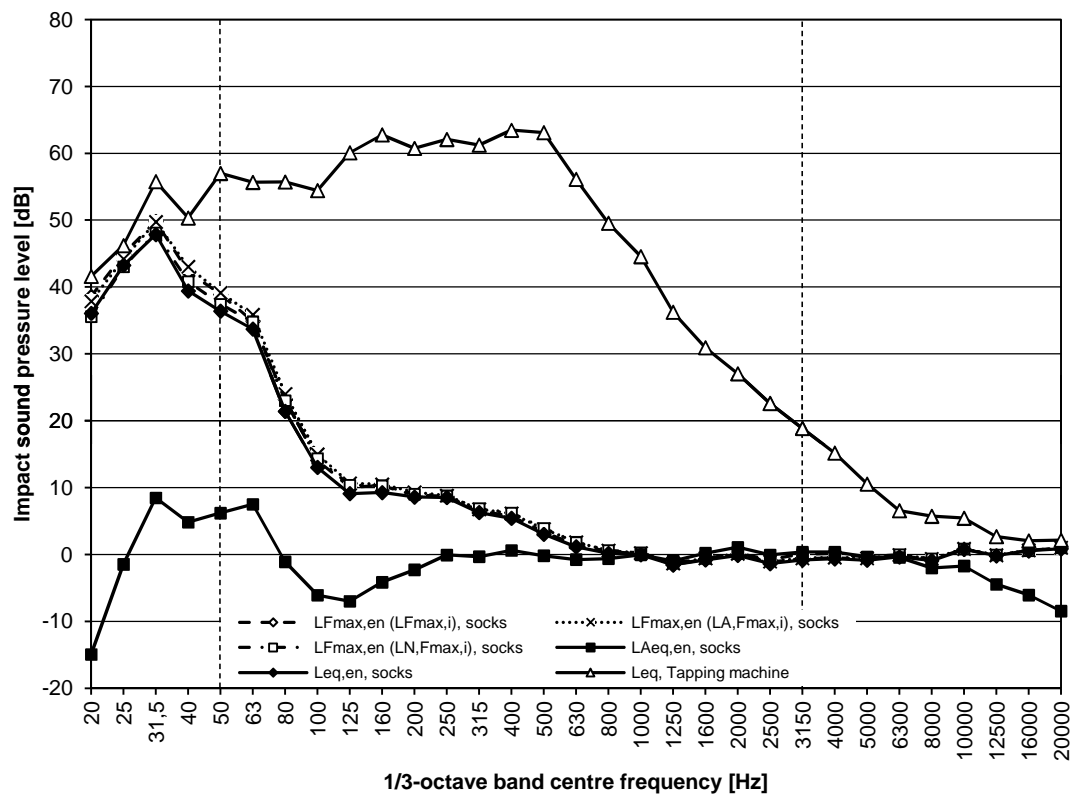
$L_{eq}$	= 71,4 dB	$L_{A,eq}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 50,1 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 16,0 dB
$N$	= 0,043 sone	$L_N$	= 12,0 phon

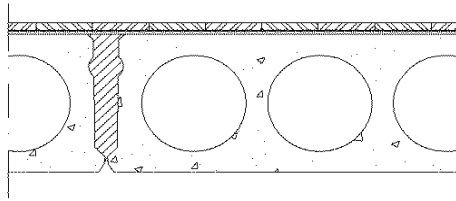
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 52,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 52,0$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 50,4$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 16,7$ dB
$N = 0,048$ sone	$N = 0,052$ sone	$N = 0,058$ sone
$L_N = 12,7$ phon	$L_N = 13,2$ phon	$L_N = 13,9$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

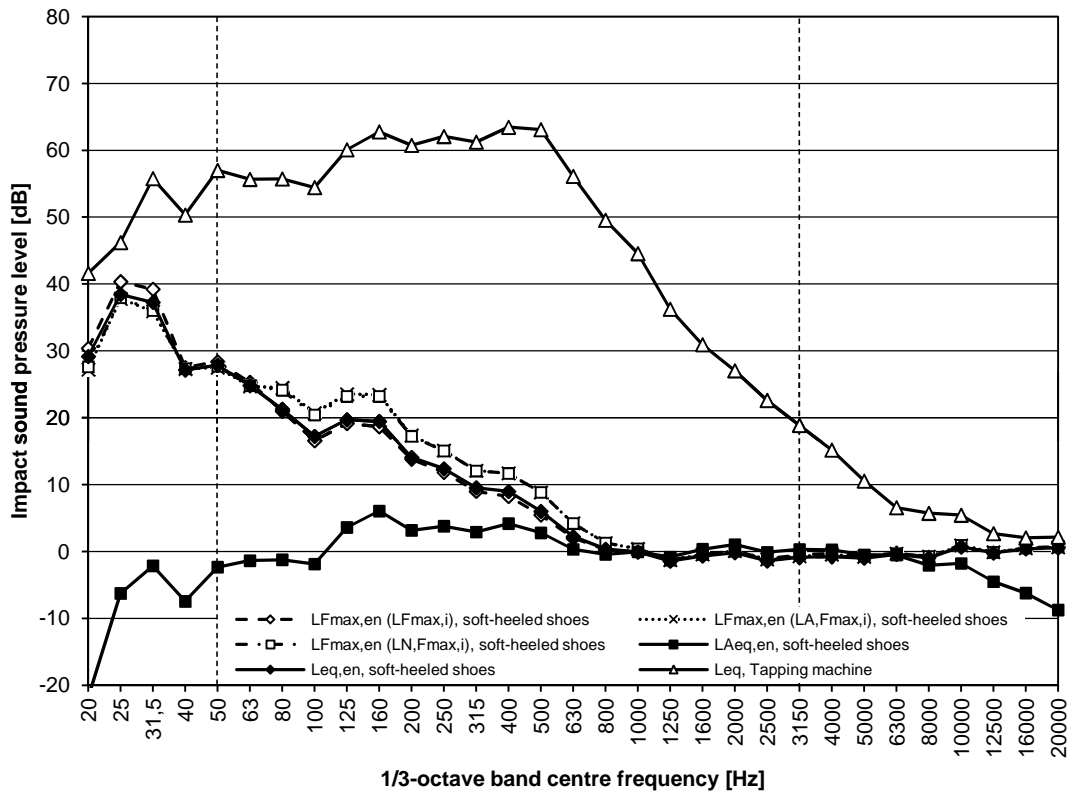
$L_{\text{eq}}$	= 71,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 41,8 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 15,3 dB
$N$	= 0,074 sone	$L_N$	= 15,4 phon

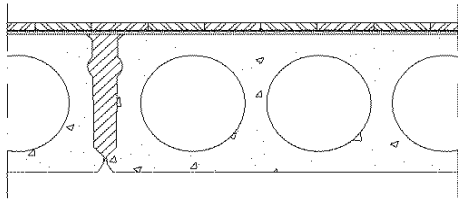
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 43,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 41,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 41,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 15,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,4$ dB
$N = 0,066$ sone	$N = 0,147$ sone	$N = 0,148$ sone
$L_N = 14,6$ phon	$L_N = 20,3$ phon	$L_N = 20,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices:  
tapping machine**

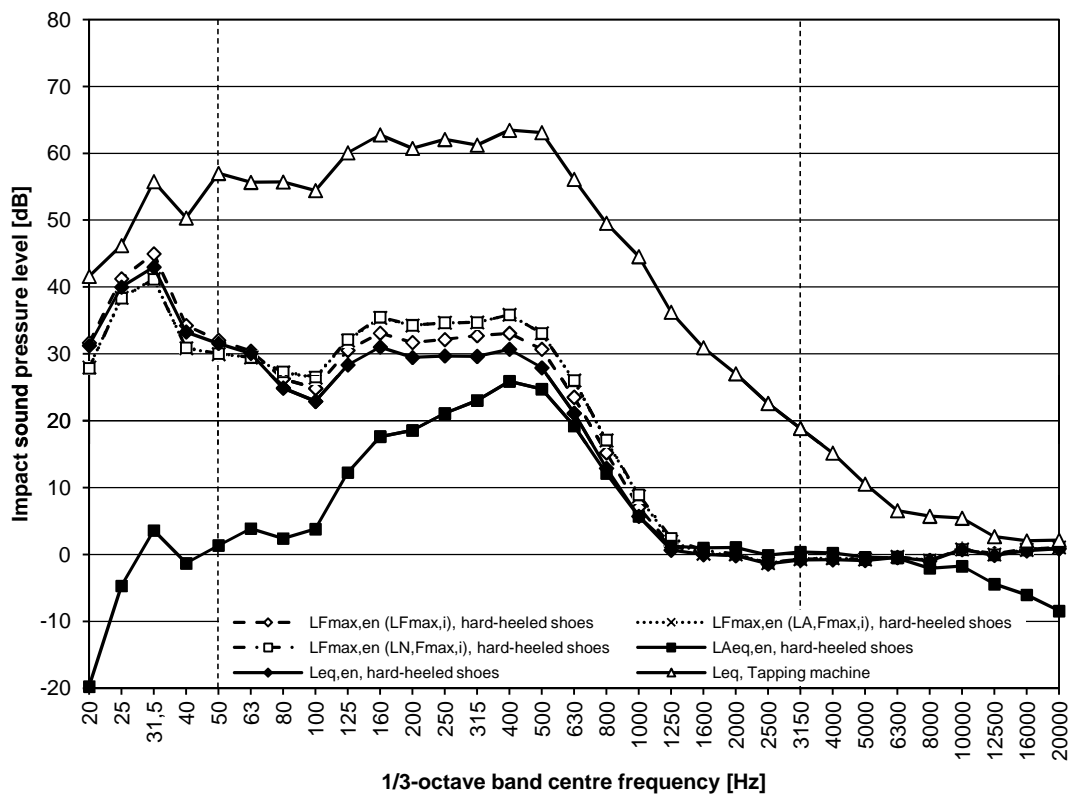
$L_{\text{eq}}$	= 71,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices: walking**

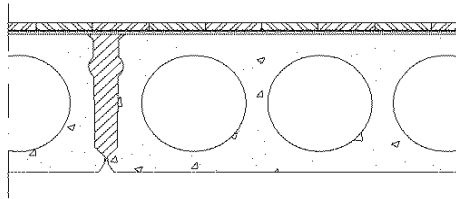
$L_{\text{eq}}$	= 46,3 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 31,1 dB
$N$	= 1,150 sone	$L_N$	= 41,9 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 48,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 46,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 46,5$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 33,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 36,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 36,1$ dB
$N = 1,470$ sone	$N = 1,810$ sone	$N = 1,810$ sone
$L_N = 45,0$ phon	$L_N = 47,9$ phon	$L_N = 47,9$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

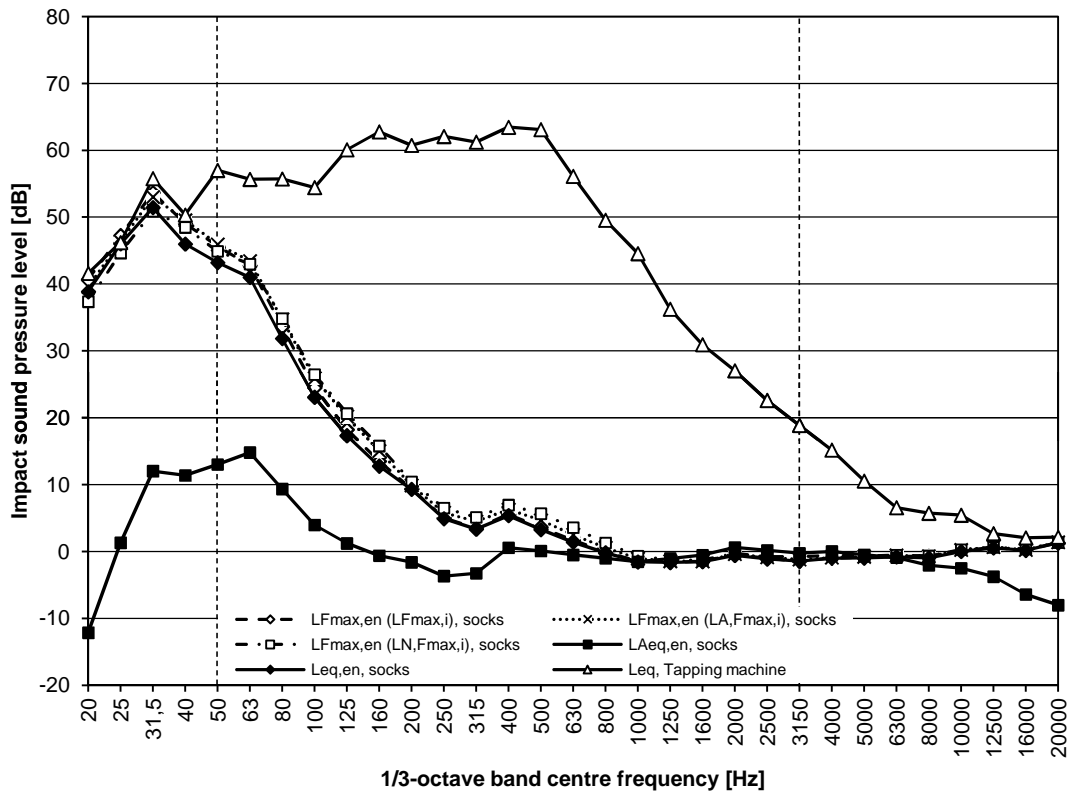
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 71,4$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 64,5$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 14,79$ sone	$L_N = 78,9$ phon



**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{impact}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,impact}$	48,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 54,2 dB	$L_{A,eq}$	= 20,4 dB
$N$	= 0,065 sone	$L_N$	= 14,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

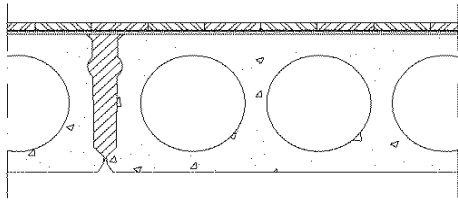
$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 56,4 dB	$L_{Fmax}$ = 56,1 dB	$L_{Fmax}$ = 54,5 dB
$L_{A,Fmax}$ = 22,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 22,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 22,1 dB
$N$ = 0,082 sone	$N$ = 0,098 sone	$N$ = 0,105 sone
$L_N$ = 16,1 phon	$L_N$ = 17,3 phon	$L_N$ = 17,8 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 71,4 dB	$L_{A,eq}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

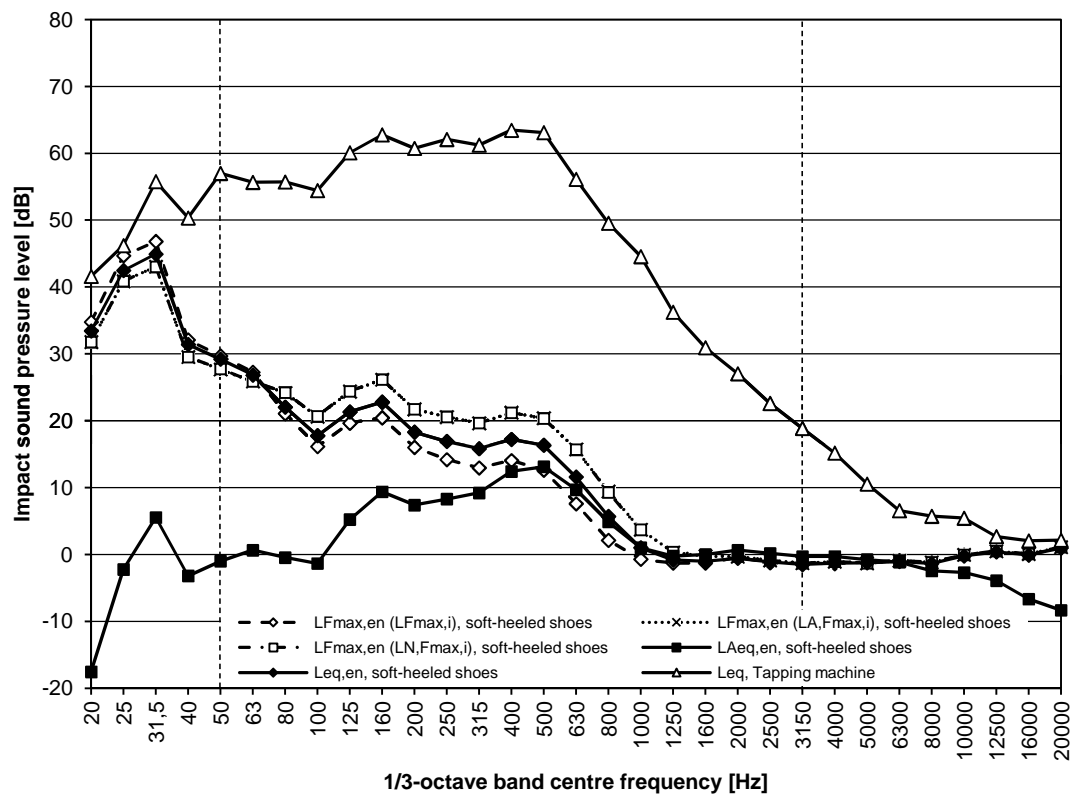


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices: walking**

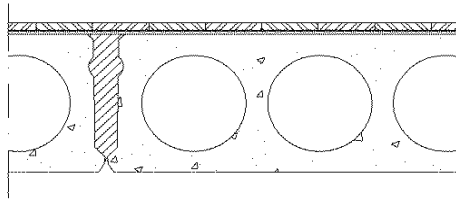
$L_{\text{eq}}$	= 47,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 20,1 dB
$N$	= 0,276 sone	$L_N$	= 25,7 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 49,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 45,7$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 45,7$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,4$ dB
$N = 0,161$ sone	$N = 0,492$ sone	$N = 0,491$ sone
$L_N = 21,0$ phon	$L_N = 31,6$ phon	$L_N = 31,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 71,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,5 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

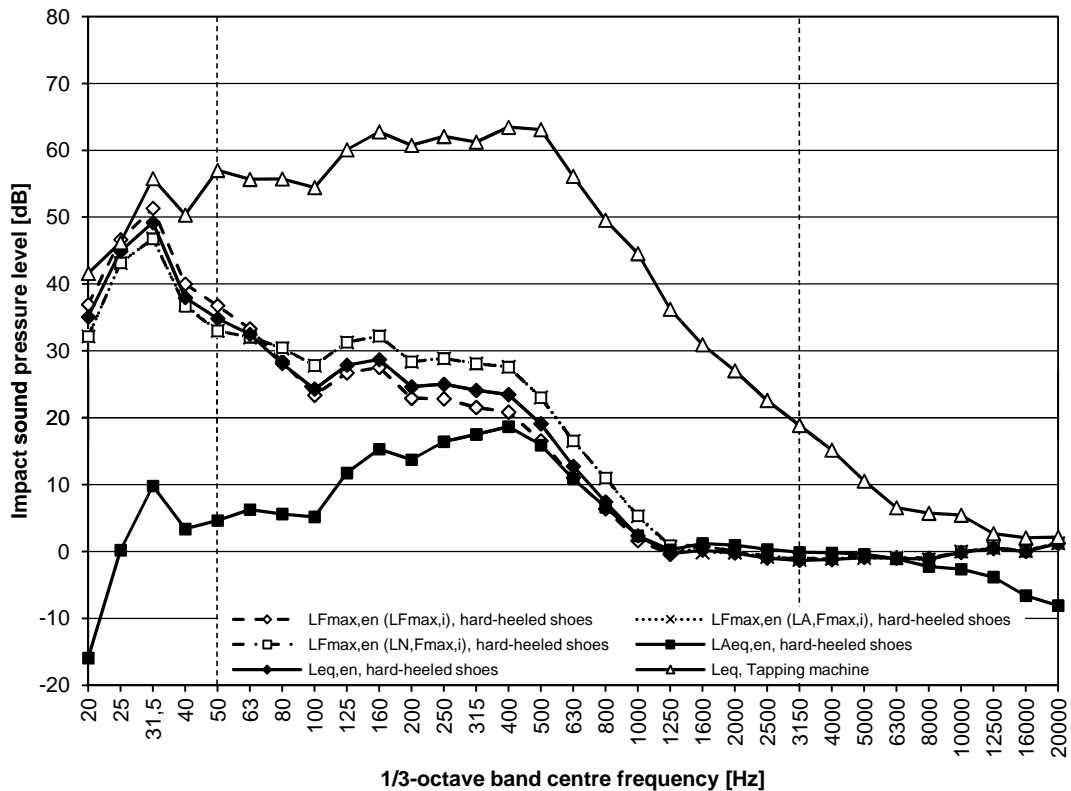


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{impact}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,impact}$	48,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 51,2 dB	$L_{A,eq}$	= 25,3 dB
$N$	= 0,583 sone	$L_N$	= 33,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

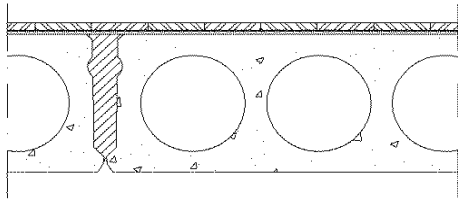
$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 53,1 dB	$L_{Fmax}$ = 49,4 dB	$L_{Fmax}$ = 49,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 23,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 28,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 28,9 dB
$N$ = 0,448 sone	$N$ = 0,926 sone	$N$ = 0,928 sone
$L_N$ = 30,6 phon	$L_N$ = 39,1 phon	$L_N$ = 39,1 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 71,4 dB	$L_{A,eq}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

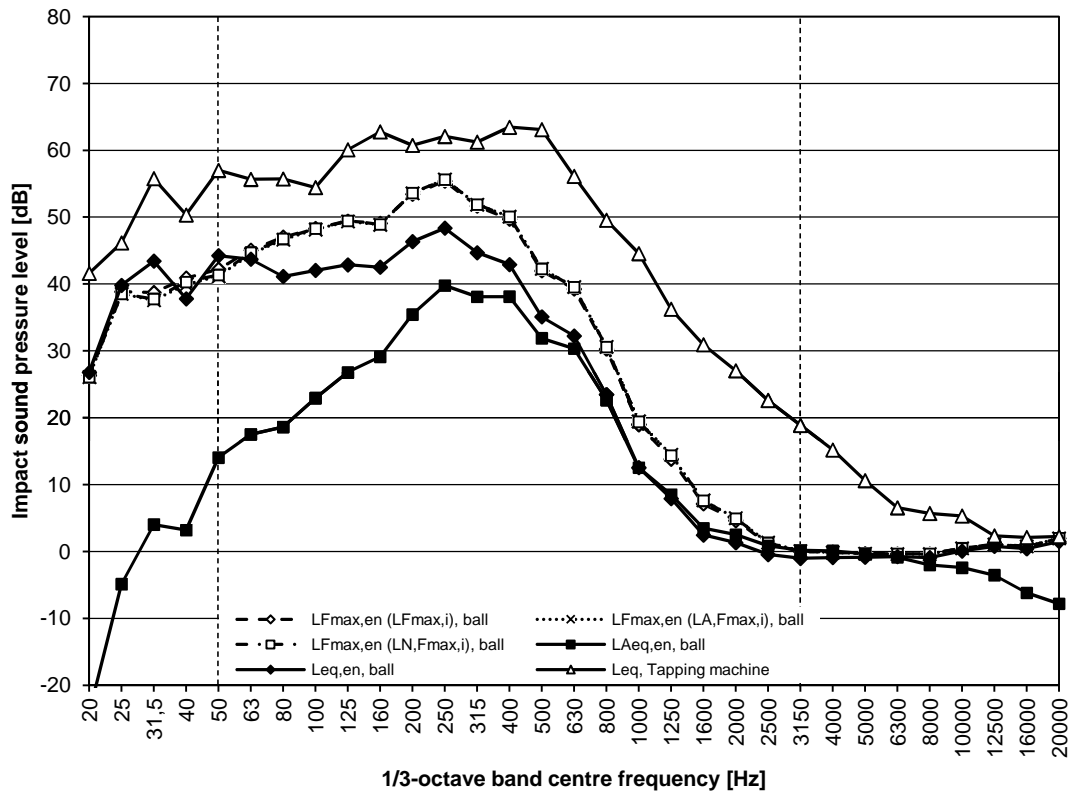


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{\text{eq}}$	= 55,1 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 44,8 dB
$N$	= 3,480 sone	$L_N$	= 57,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

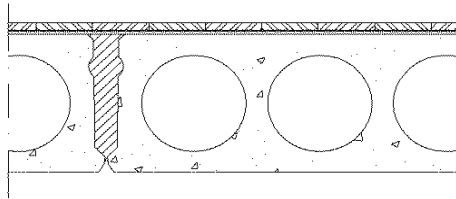
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 60,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 60,9$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 60,9$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 51,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 52,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 52,0$ dB
$N = 5,610$ sone	$N = 5,700$ sone	$N = 5,700$ sone
$L_N = 64,5$ phon	$L_N = 64,7$ phon	$L_N = 64,7$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

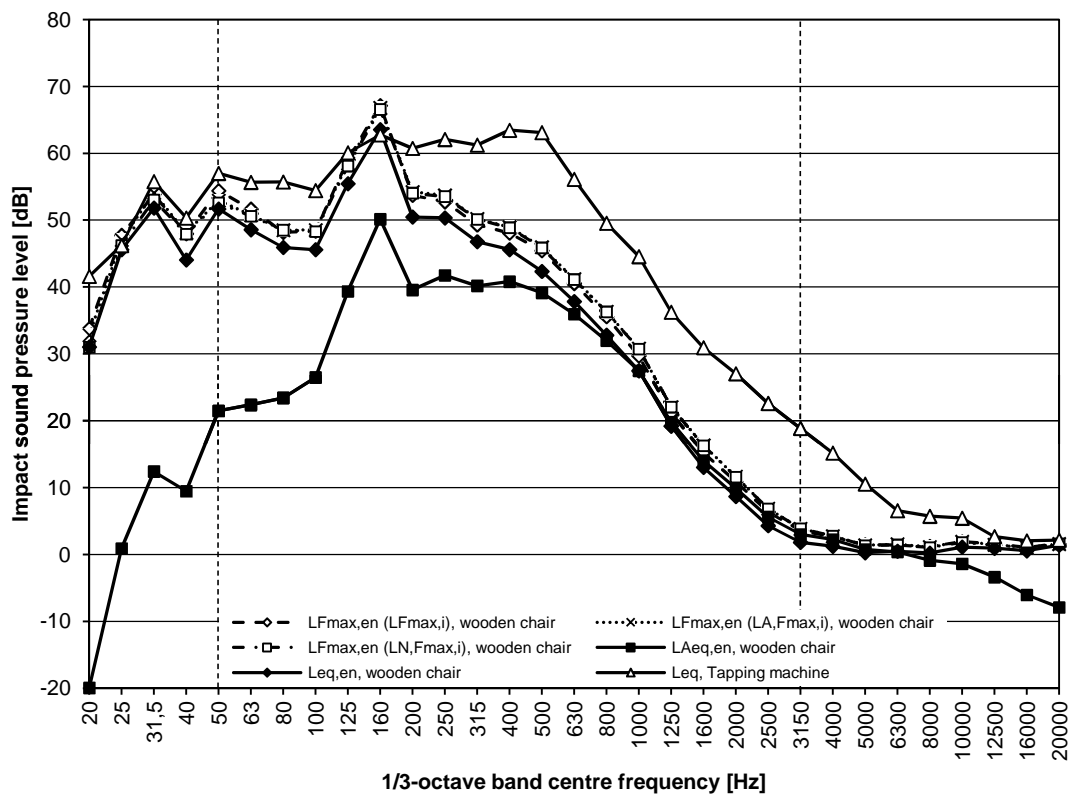
$L_{\text{eq}}$	= 71,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	59,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	59,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	59,1 dB
$R_{\text{impact}}$	44,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	54,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	48,4 dB

**Indices:**

$L_{\text{eq}}$	= 65,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 52,4 dB
$N$	= 6,130 sone	$L_N$	= 65,8 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

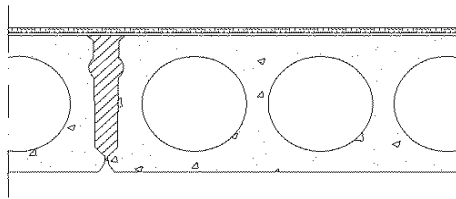
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 68,8$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 68,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 68,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 55,7$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 55,7$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 55,5$ dB
$N = 7,450$ sone	$N = 7,660$ sone	$N = 7,590$ sone
$L_N = 68,7$ phon	$L_N = 69,1$ phon	$L_N = 69,0$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

**Indices:**

$L_{\text{eq}}$	= 71,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 64,5 dB
$N$	= 14,79 sone	$L_N$	= 78,9 phon

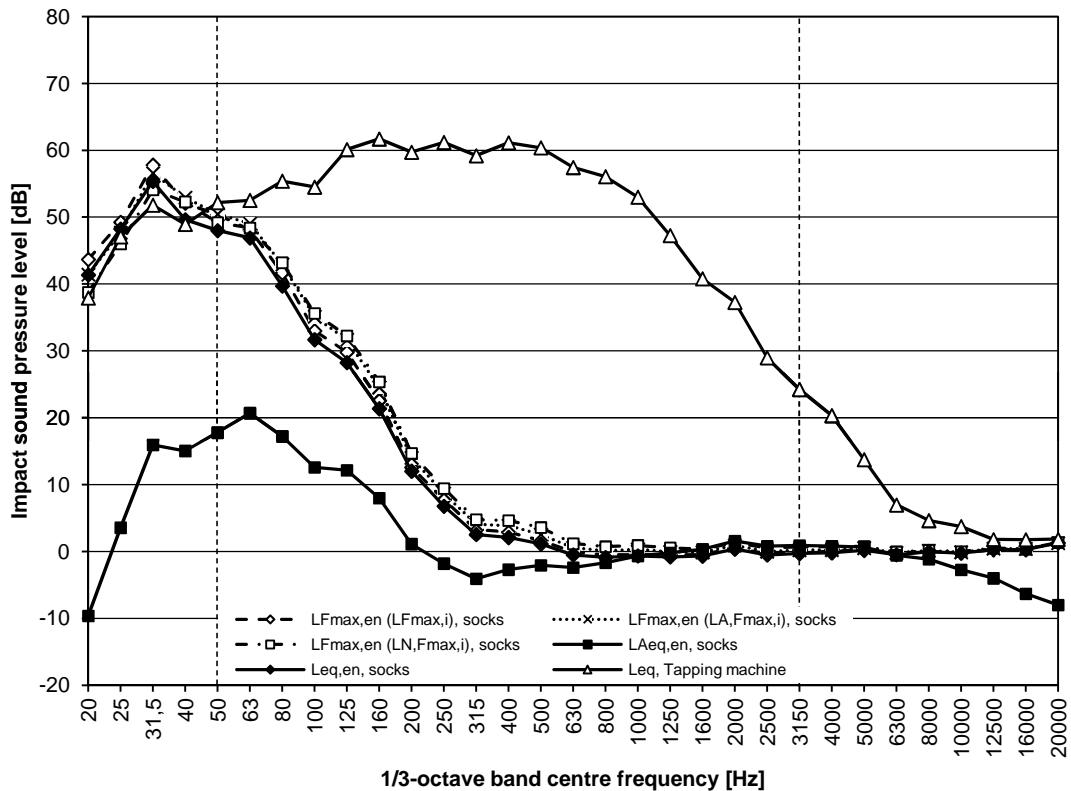




**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

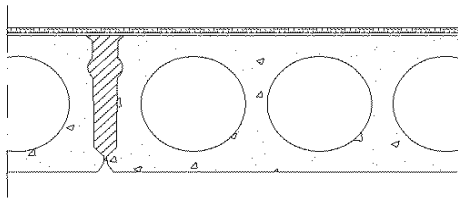
**Indices: walking**  $L_{eq} = 58,0$  dB  $L_{A,eq} = 25,6$  dB  
 $N = 0,185$  sone  $L_N = 22,2$  phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 60,3$ dB	$L_{Fmax} = 59,7$ dB	$L_{Fmax} = 58,1$ dB
$L_{A,Fmax} = 27,4$ dB	$L_{A,Fmax} = 28,1$ dB	$L_{A,Fmax} = 27,6$ dB
$N = 0,231$ sone	$N = 0,280$ sone	$N = 0,295$ sone
$L_N = 24,1$ phon	$L_N = 25,9$ phon	$L_N = 26,4$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

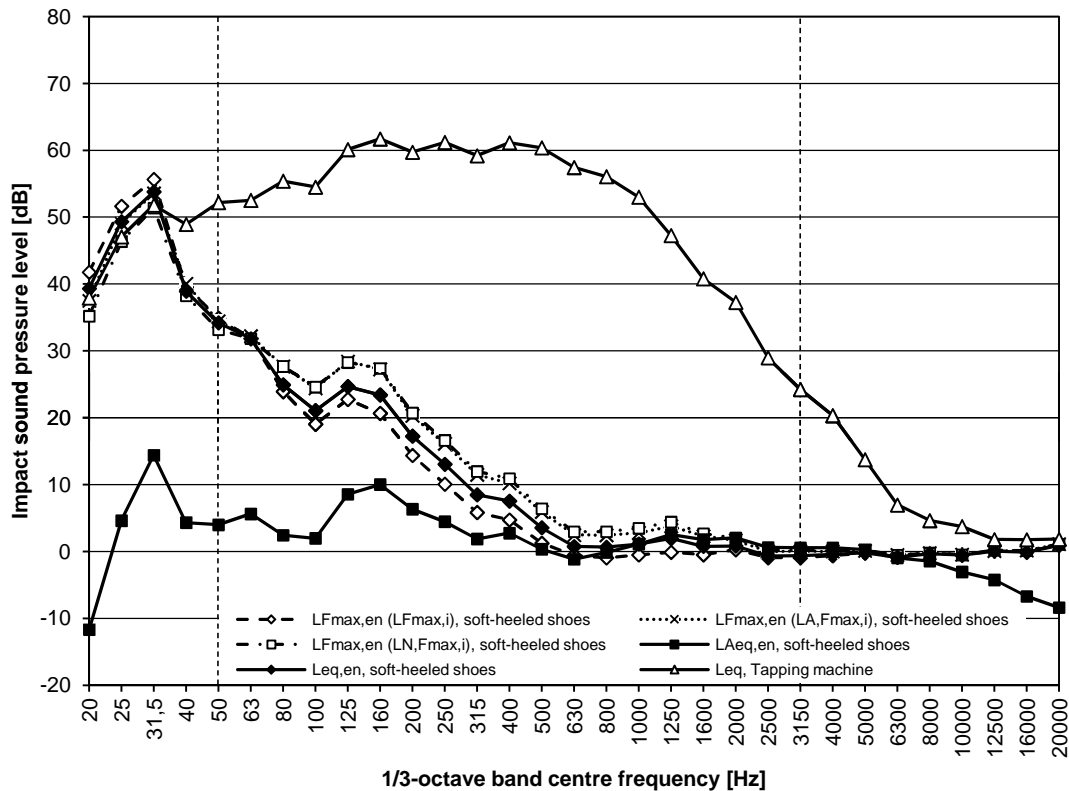
**Indices: tapping machine**  $L_{eq} = 70,2$  dB  $L_{A,eq} = 63,9$  dB  
 $N = 16,92$  sone  $L_N = 80,8$  phon

**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  
 $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{\text{impact}}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 55,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 19,4 dB
$N$	= 0,107 sone	$L_N$	= 17,9 phon

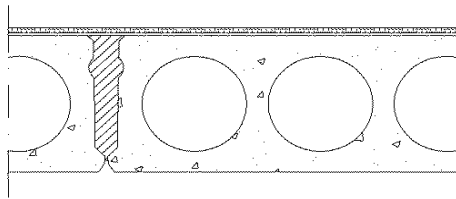
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 57,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 55,2$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 52,9$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,8$ dB
$N = 0,065$ sone	$N = 0,204$ sone	$N = 0,222$ sone
$L_N = 14,5$ phon	$L_N = 23,0$ phon	$L_N = 23,8$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 70,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon

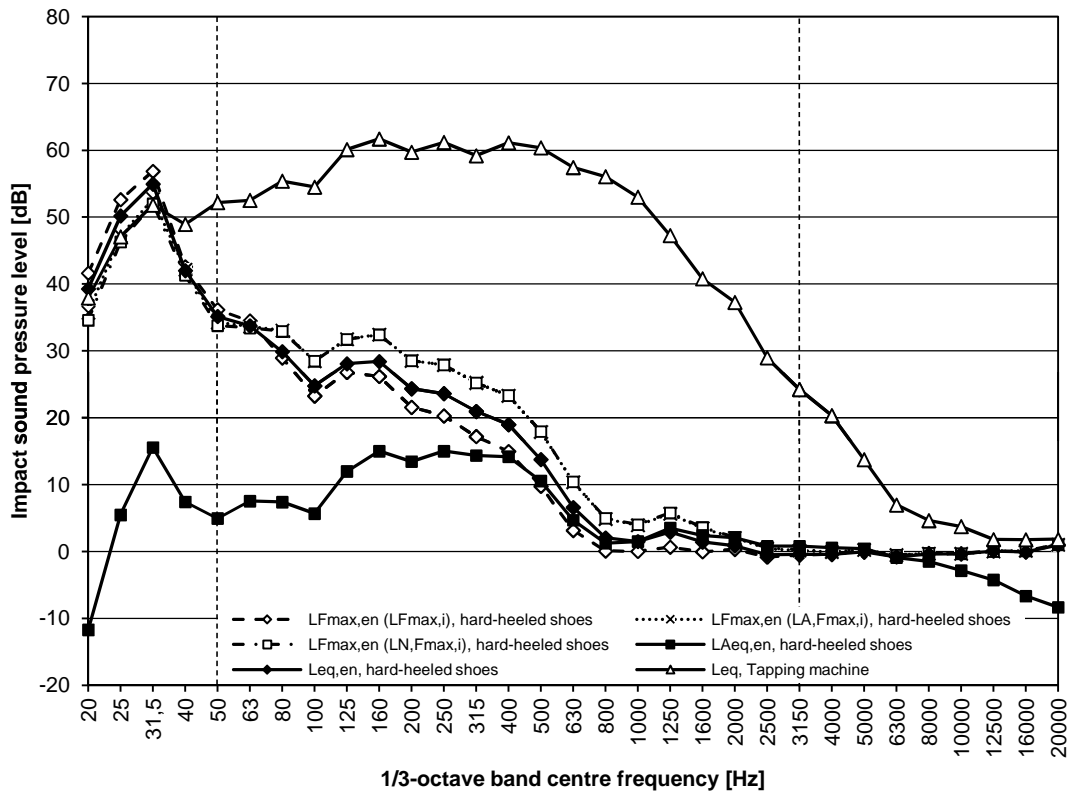


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 56,5 dB	$L_{A,eq}$	= 23,9 dB
$N$	= 0,407 sone	$L_N$	= 29,6 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

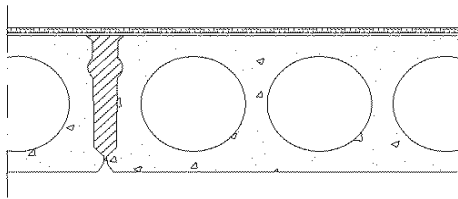
$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 58,5 dB	$L_{Fmax}$ = 54,4 dB	$L_{Fmax}$ = 53,6 dB
$L_{A,Fmax}$ = 22,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,1 dB
$N$ = 0,252 sone	$N$ = 0,717 sone	$N$ = 0,721 sone
$L_N$ = 24,9 phon	$L_N$ = 35,9 phon	$L_N$ = 36,0 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon

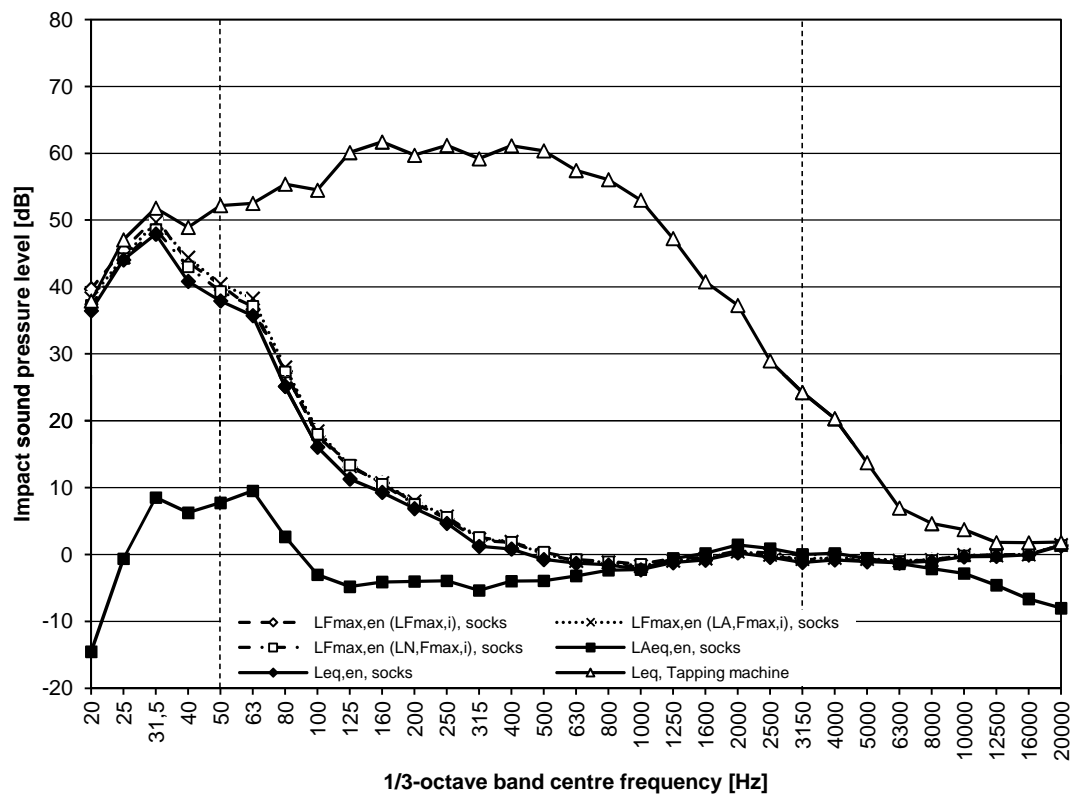


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  
 $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{\text{impact}}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,4 dB

**Indices: walking**

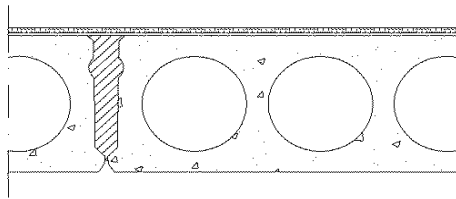
$L_{\text{eq}}$	= 50,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 16,4 dB
$N$	= 0,038 sone	$L_N$	= 11,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F\text{max},i} (t)$	$L_{A,F\text{max},i} (t)$	$L_{N,F\text{max},i} (t)$
$L_{F\text{max}} = 52,9$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 52,4$ dB	$L_{F\text{max}} = 51,4$ dB
$L_{A,F\text{max}} = 18,0$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 18,4$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 17,6$ dB
$N = 0,046$ sone	$N = 0,053$ sone	$N = 0,056$ sone
$L_N = 12,5$ phon	$L_N = 13,3$ phon	$L_N = 13,7$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 70,2$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 63,9$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 16,92$ sone	$L_N = 80,8$ phon

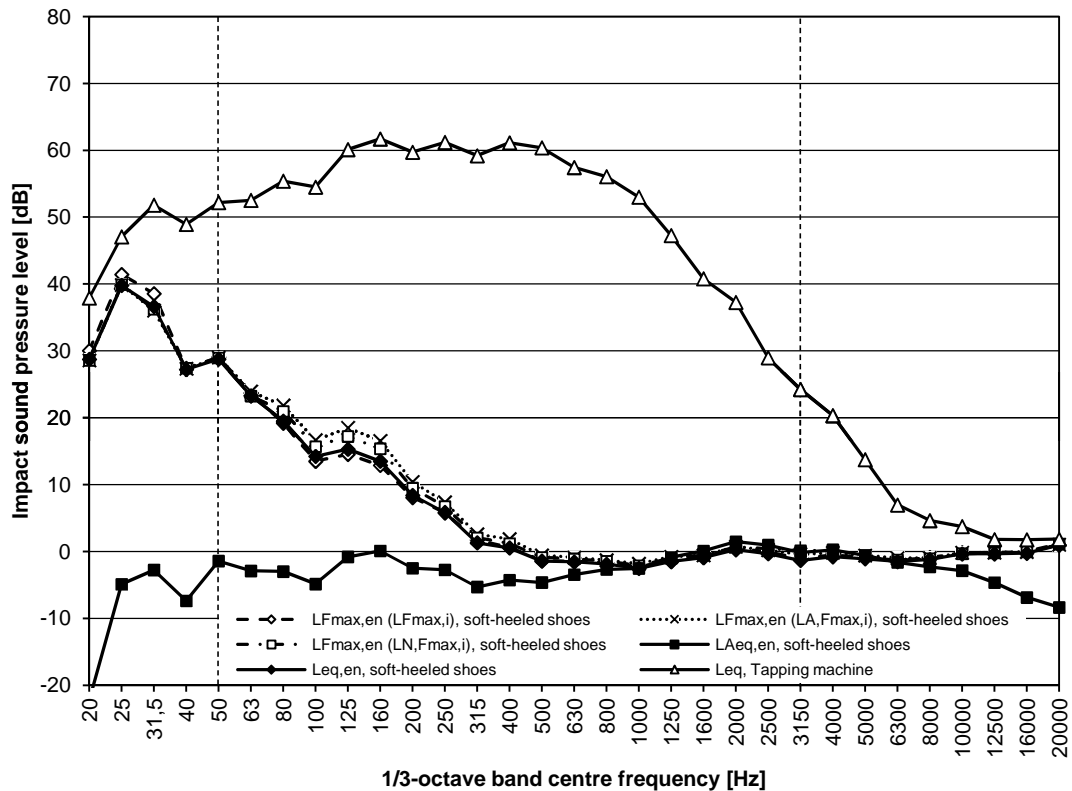


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 42,2 dB	$L_{A,eq}$	= 12,7 dB
$N$	= 0,034 sone	$L_N$	= 10,8 phon

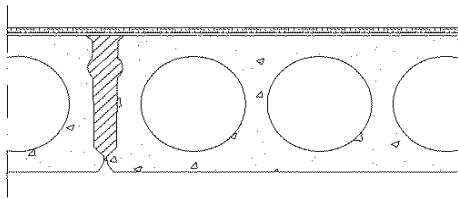
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 43,8 dB	$L_{Fmax}$ = 42,1 dB	$L_{Fmax}$ = 42,2 dB
$L_{A,Fmax}$ = 12,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 13,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 13,4 dB
$N$ = 0,037 sone	$N$ = 0,049 sone	$N$ = 0,053 sone
$L_N$ = 11,3 phon	$L_N$ = 12,8 phon	$L_N$ = 13,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

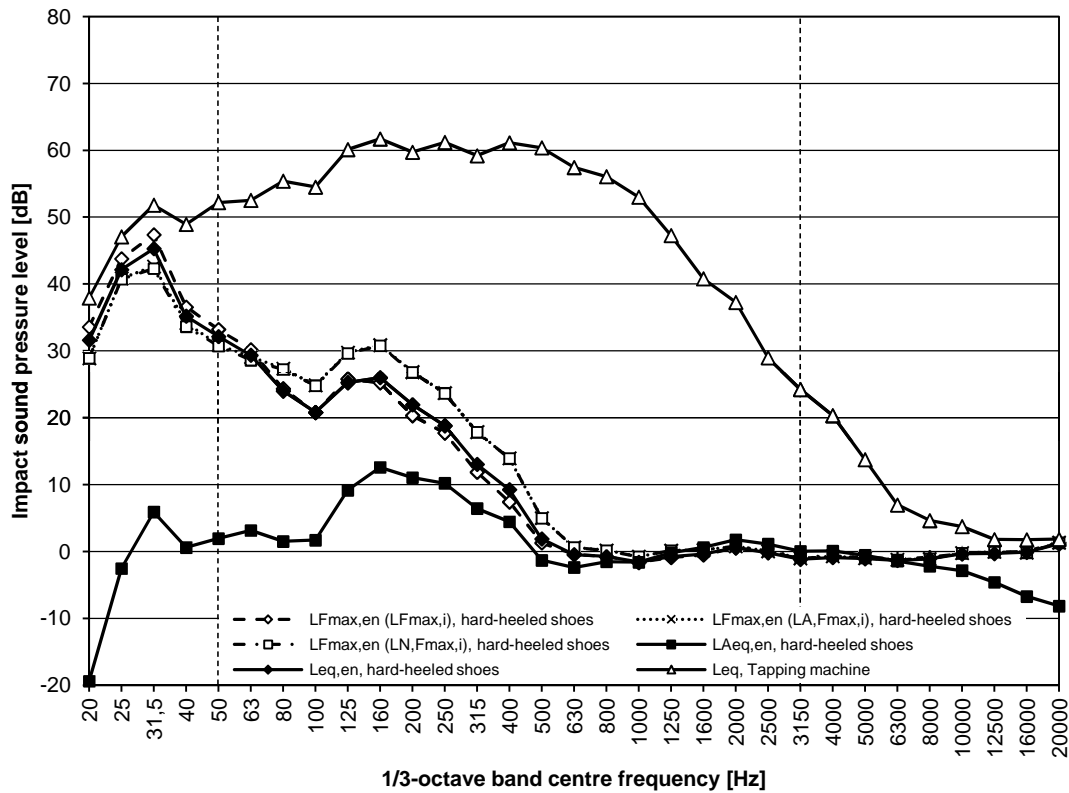
$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon



**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 47,7 dB	$L_{A,eq}$	= 19,1 dB
$N$	= 0,162 sone	$L_N$	= 21,0 phon

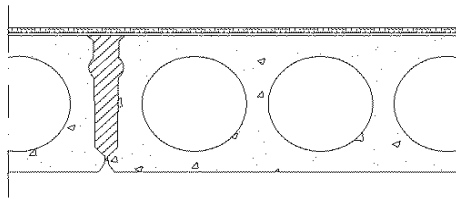
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 49,5$ dB	$L_{A,Fmax} = 46,0$ dB	$L_{Fmax} = 45,8$ dB
$L_{A,Fmax} = 18,8$ dB	$L_{A,Fmax} = 23,0$ dB	$L_{A,Fmax} = 22,9$ dB
$N = 0,140$ sone	$N = 0,327$ sone	$N = 0,325$ sone
$L_N = 19,9$ phon	$L_N = 27,4$ phon	$L_N = 27,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

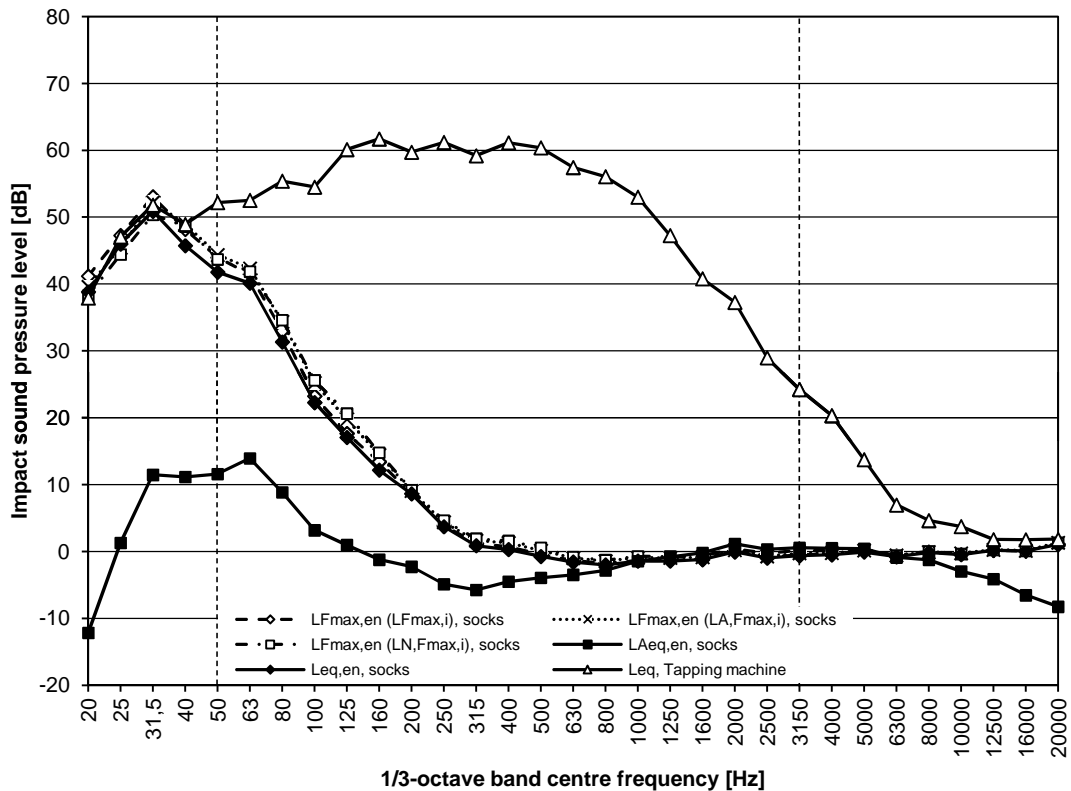
$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon



**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 53,7 dB	$L_{A,eq}$	= 19,7 dB
$N$	= 0,062 sone	$L_N$	= 14,2 phon

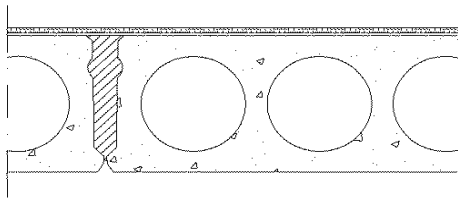
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 55,7 dB	$L_{Fmax}$ = 55,3 dB	$L_{Fmax}$ = 54,1 dB
$L_{A,Fmax}$ = 21,3 dB	$L_{A,Fmax}$ = 21,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 21,4 dB
$N$ = 0,075 sone	$N$ = 0,090 sone	$N$ = 0,096 sone
$L_N$ = 15,5 phon	$L_N$ = 16,7 phon	$L_N$ = 17,1 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

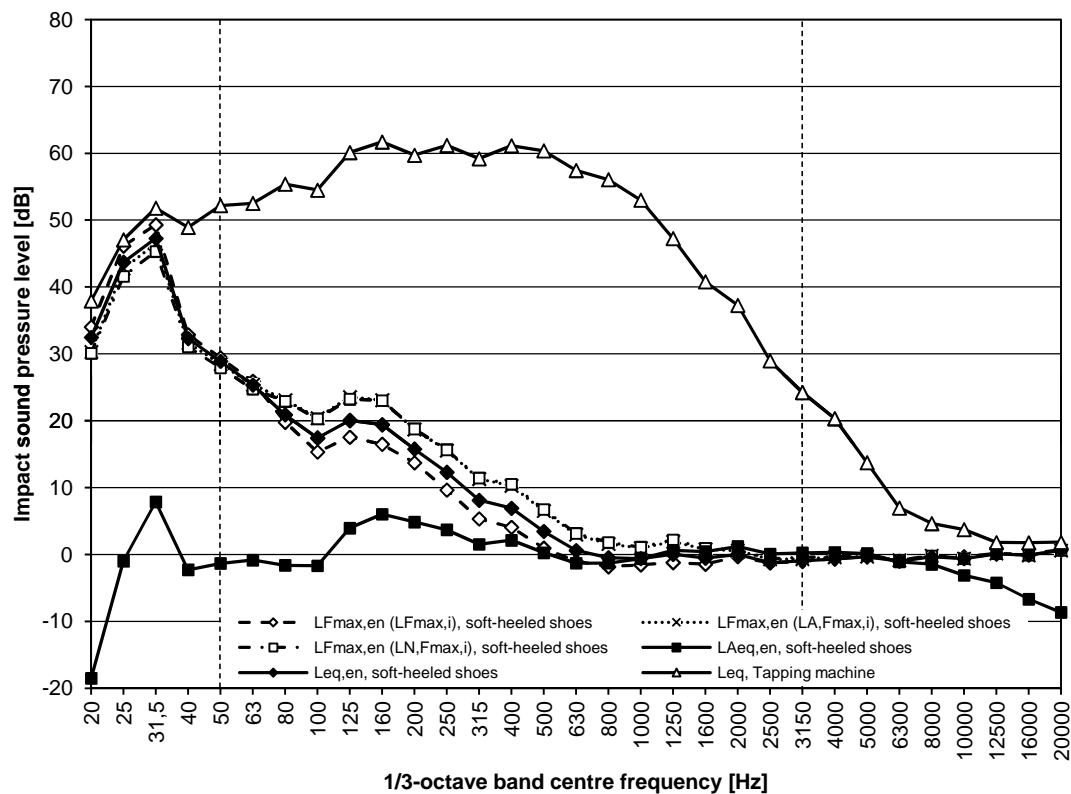
$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon

**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  
 $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{\text{impact}}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 49,1 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 15,9 dB
$N$	= 0,066 sone	$L_N$	= 14,7 phon

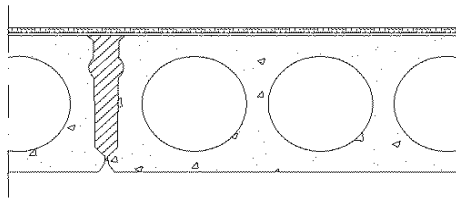
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 51,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,3$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 47,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 15,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,7$ dB
$N = 0,043$ sone	$N = 0,138$ sone	$N = 0,143$ sone
$L_N = 12,0$ phon	$L_N = 19,8$ phon	$L_N = 20,1$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 70,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon

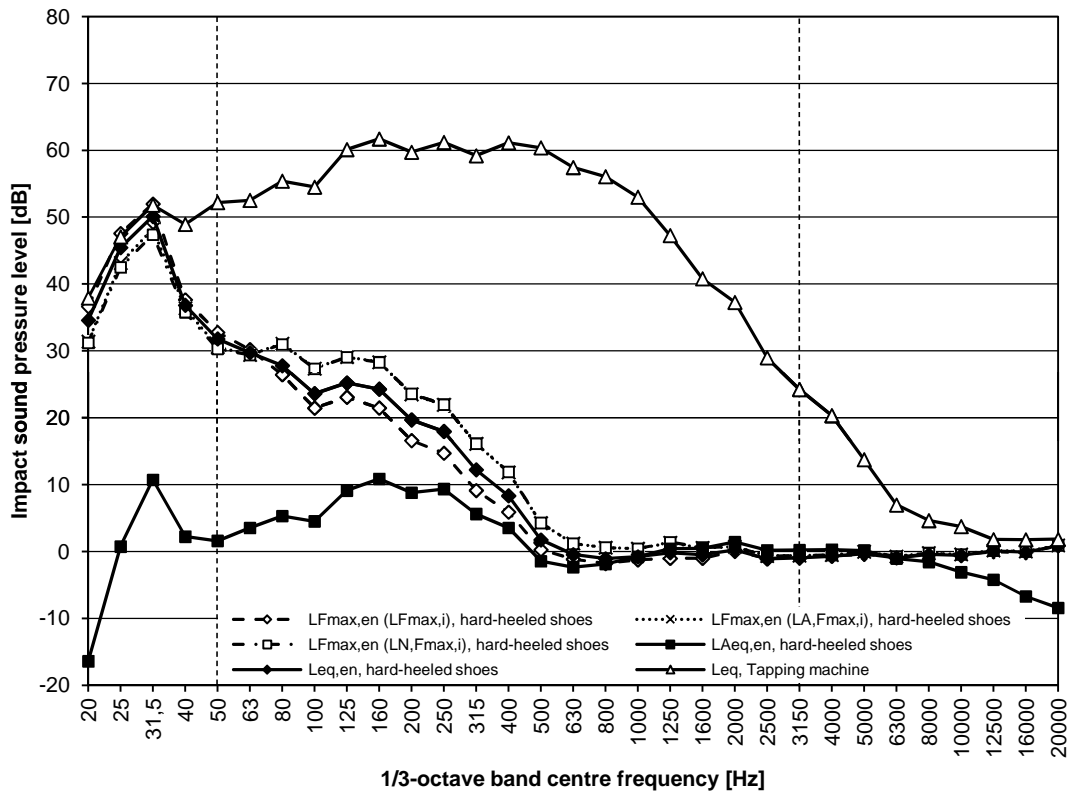


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 51,7 dB	$L_{A,eq}$	= 19,0 dB
$N$	= 0,138 sone	$L_N$	= 19,8 phon

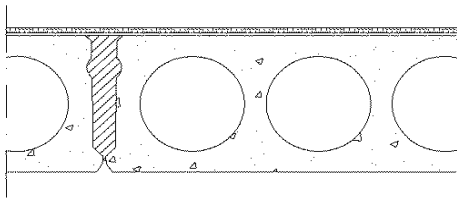
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 53,6 dB	$L_{Fmax}$ = 50,0 dB	$L_{Fmax}$ = 49,2 dB
$L_{A,Fmax}$ = 18,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 21,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 21,7 dB
$N$ = 0,087 sone	$N$ = 0,259 sone	$N$ = 0,260 sone
$L_N$ = 16,4 phon	$L_N$ = 25,2 phon	$L_N$ = 25,2 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon

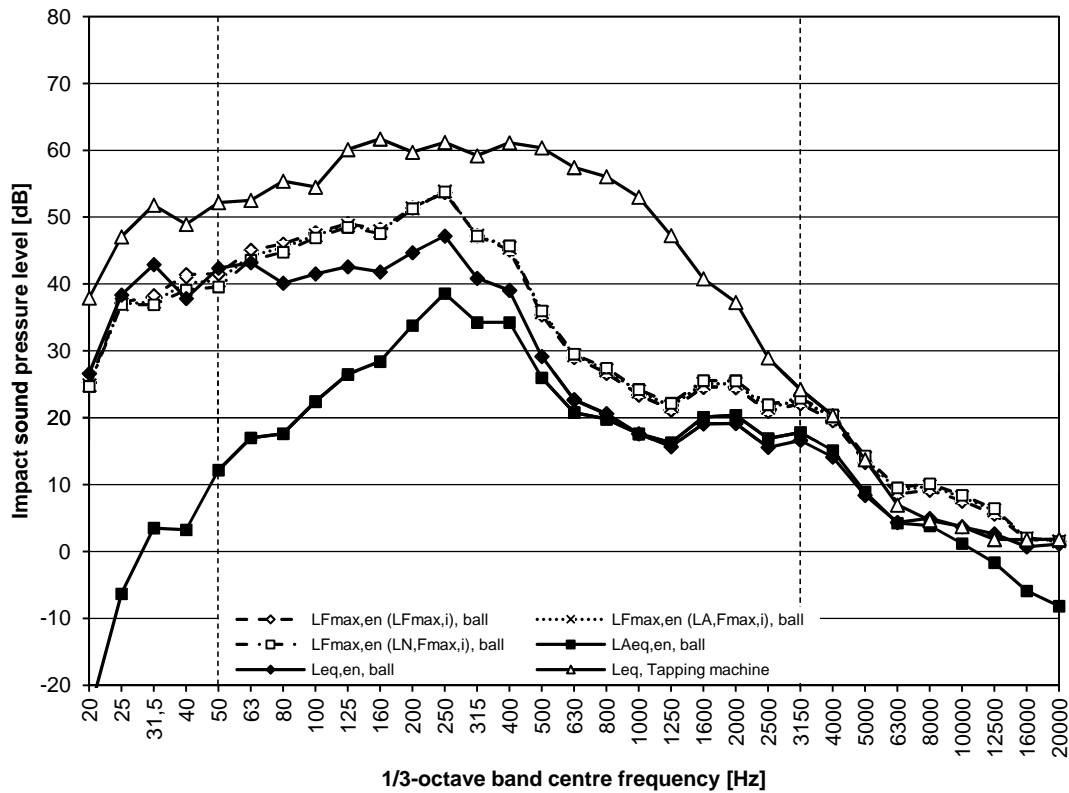


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{eq}$	= 53,7 dB	$L_{A,eq}$	= 42,4 dB
$N$	= 3,750 sone	$L_N$	= 58,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

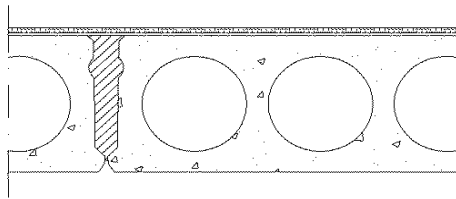
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax} = 58,9$ dB	$L_{A,Fmax} = 58,8$ dB	$L_{Fmax} = 58,6$ dB
$L_{A,Fmax} = 48,8$ dB	$L_{A,Fmax} = 48,9$ dB	$L_{A,Fmax} = 48,9$ dB
$N = 6,110$ sone	$N = 6,240$ sone	$N = 6,310$ sone
$L_N = 65,7$ phon	$L_N = 66,1$ phon	$L_N = 66,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon

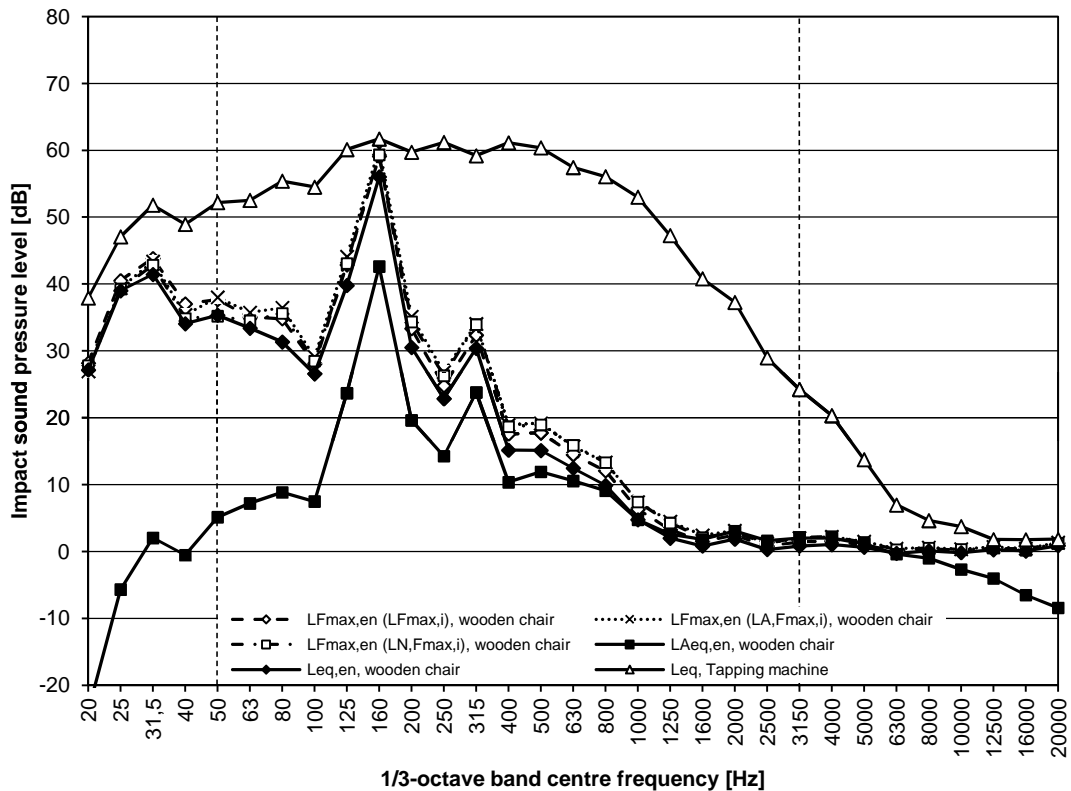


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Epoca Compact),  $\Delta L_w = 21$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	58,5 dB
$L'_{n,w} + C_1$	58,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	58,1 dB
$R_{impact}$	45,9 dB
$L'_{nT,w}$	54,2 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	53,7 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	54,6 dB
$D_{nT,impact}$	49,4 dB

**Indices:**

**chair moving**

$L_{eq}$	= 56,5 dB	$L_{A,eq}$	= 42,8 dB
$N$	= 1,710 sone	$L_N$	= 47,1 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 59,5 dB	$L_{Fmax}$ = 60,6 dB	$L_{Fmax}$ = 59,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 45,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 47,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 46,1 dB
$N$ = 2,17 sone	$N$ = 2,42 sone	$N$ = 2,30 sone
$L_N$ = 50,5 phon	$L_N$ = 52,1 phon	$L_N$ = 51,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

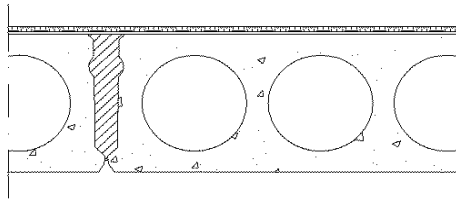
**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 70,2 dB	$L_{A,eq}$	= 63,9 dB
$N$	= 16,92 sone	$L_N$	= 80,8 phon



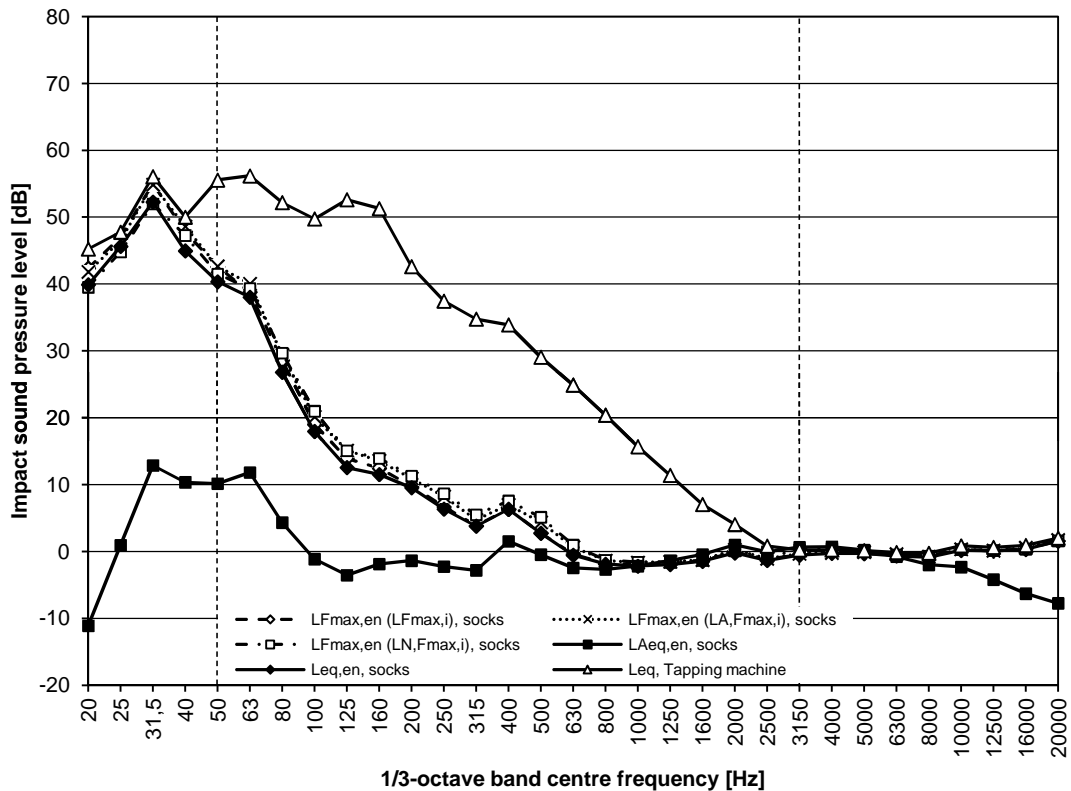




**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{impact}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,impact}$	53,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	=	54,2 dB	$L_{A,eq}$	=	18,9 dB
$N$	=	0,053 sone	$L_N$	=	13,3 phon

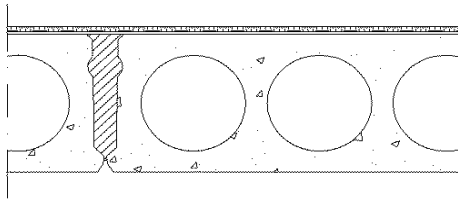
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 56,7 dB	$L_{Fmax}$ = 56,7 dB	$L_{Fmax}$ = 54,4 dB
$L_{A,Fmax}$ = 20,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 21,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 20,0 dB
$N$ = 0,061 sone	$N$ = 0,071 sone	$N$ = 0,080 sone
$L_N$ = 14,1 phon	$L_N$ = 15,1 phon	$L_N$ = 15,8 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

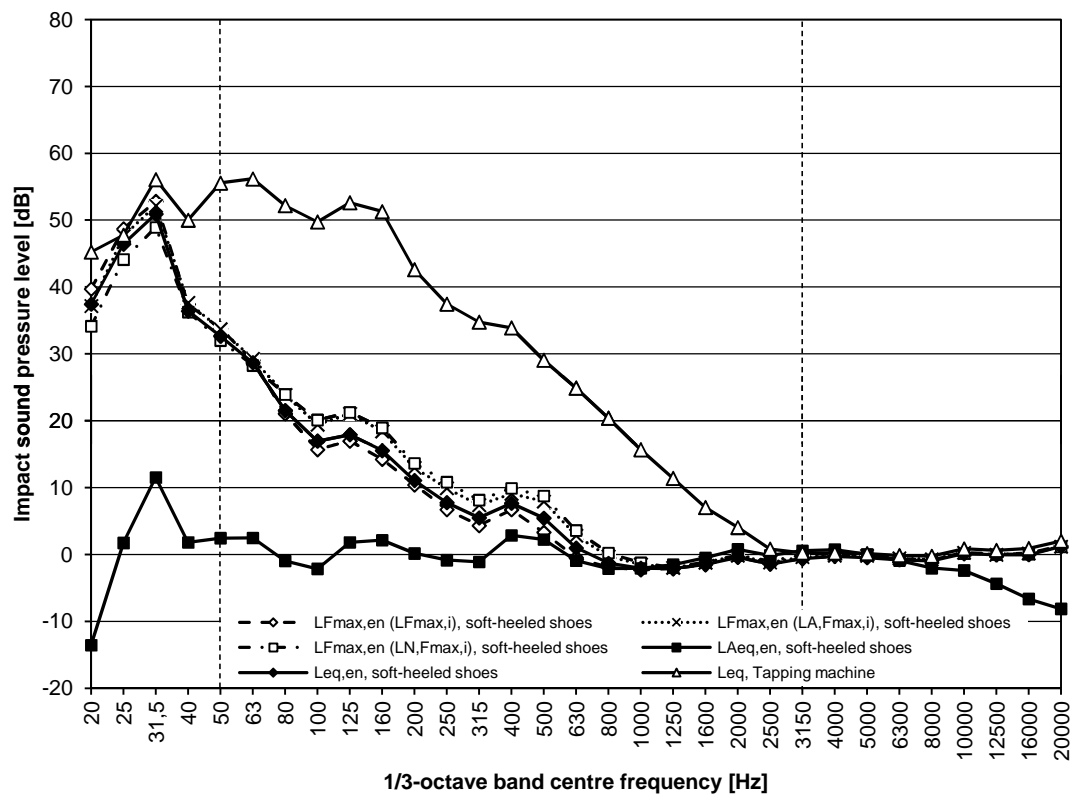
$L_{eq}$	=	63,0 dB	$L_{A,eq}$	=	42,7 dB
$N$	=	2,98 sone	$L_N$	=	55,0 phon

**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  
 $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{\text{impact}}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	53,8 dB

**Indices: walking**

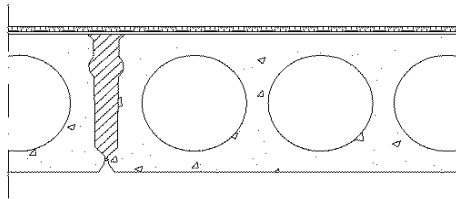
$L_{\text{eq}}$	= 52,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 16,4 dB
$N$	= 0,051 sone	$L_N$	= 13,1 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F\text{max},i} (t)$	$L_{A,F\text{max},i} (t)$	$L_{N,F\text{max},i} (t)$
$L_{F\text{max}} = 54,5$ dB	$L_{F\text{max}} = 53,8$ dB	$L_{F\text{max}} = 50,6$ dB
$L_{A,F\text{max}} = 17,0$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 17,7$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 16,9$ dB
$N = 0,045$ sone	$N = 0,079$ sone	$N = 0,096$ sone
$L_N = 12,3$ phon	$L_N = 15,8$ phon	$L_N = 17,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

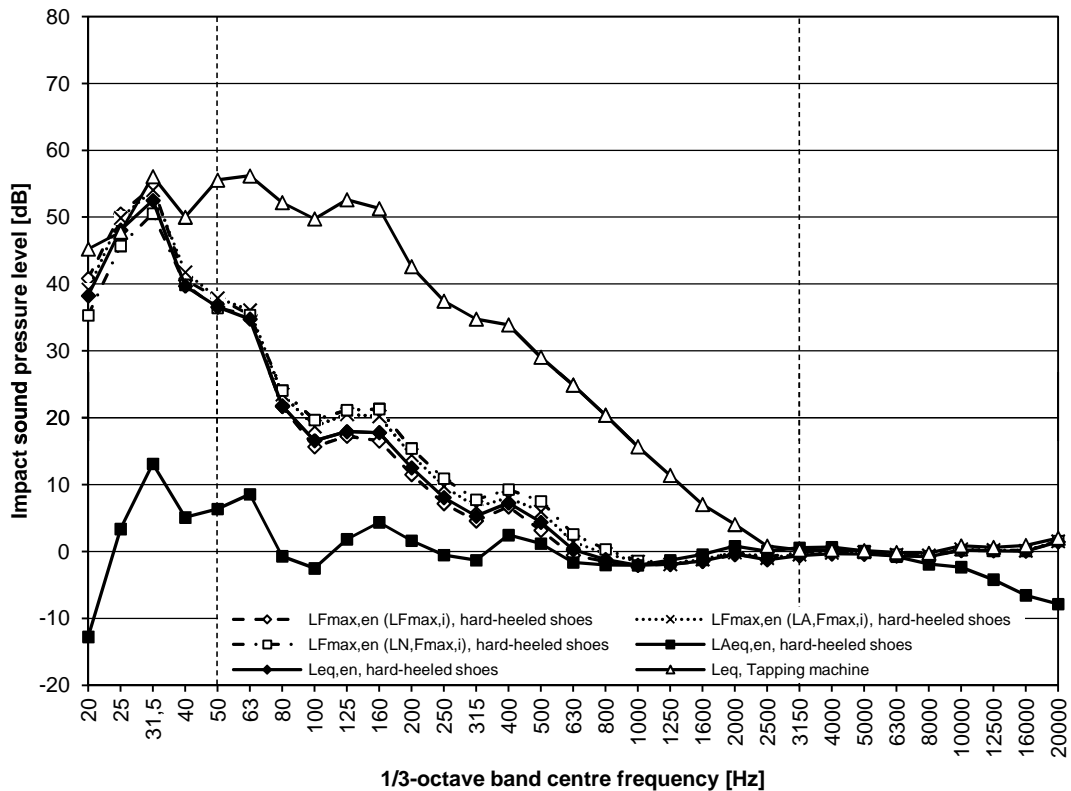
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 63,0$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 42,7$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 2,98$ sone	$L_N = 55,0$ phon



**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{impact}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,impact}$	53,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 54,2 dB	$L_{A,eq}$	= 17,9 dB
$N$	= 0,053 sone	$L_N$	= 13,3 phon

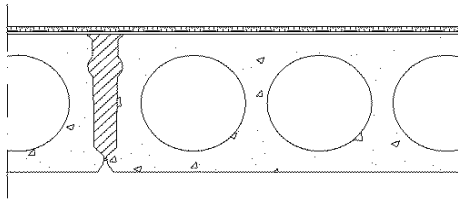
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 56,3 dB	$L_{Fmax}$ = 55,9 dB	$L_{Fmax}$ = 52,4 dB
$L_{A,Fmax}$ = 18,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 19,3 dB	$L_{A,Fmax}$ = 18,3 dB
$N$ = 0,051 sone	$N$ = 0,077 sone	$N$ = 0,099 sone
$L_N$ = 13,0 phon	$L_N$ = 15,6 phon	$L_N$ = 17,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

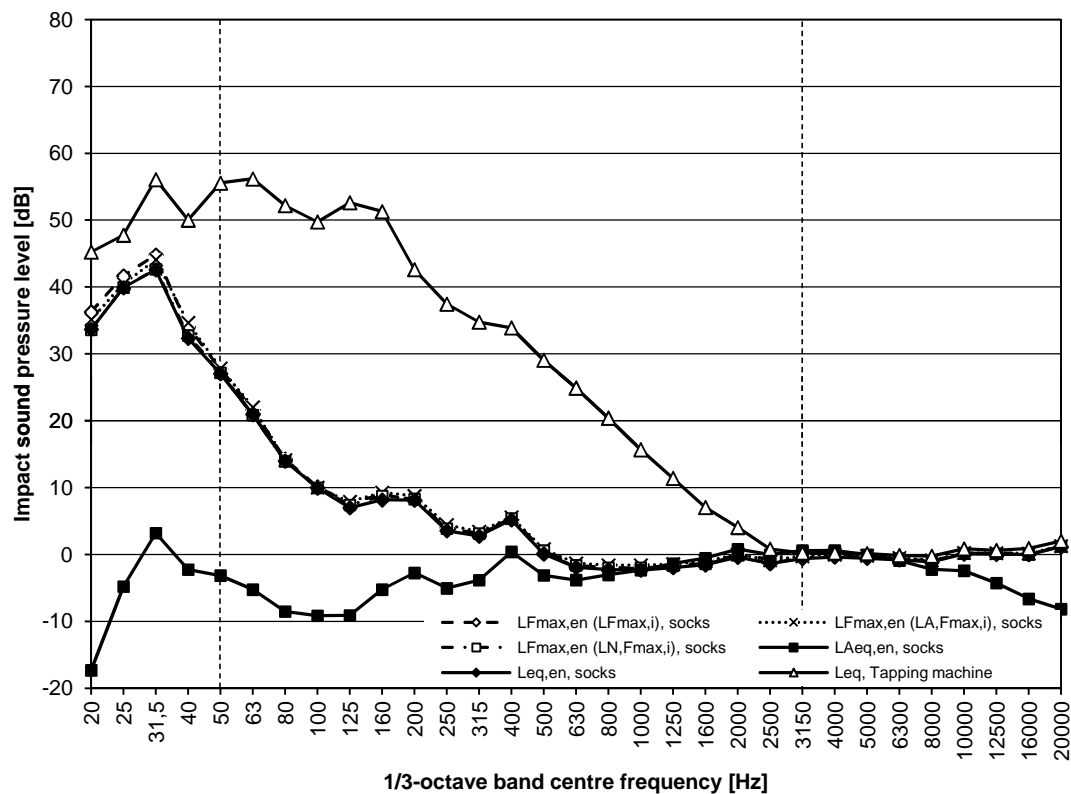
$L_{eq}$	= 63,0 dB	$L_{A,eq}$	= 42,7 dB
$N$	= 2,98 sone	$L_N$	= 55,0 phon

**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  
 $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{\text{impact}}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	53,8 dB

**Indices: walking**

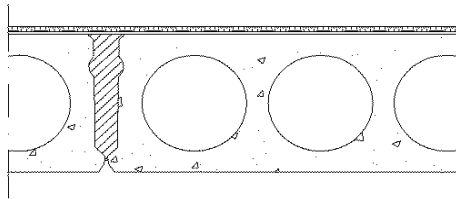
$L_{\text{eq}}$	= 45,1 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 12,7 dB
$N$	= 0,038 sone	$L_N$	= 11,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 47,2$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 46,4$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 45,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 13,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 13,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 13,0$ dB
$N = 0,040$ sone	$N = 0,045$ sone	$N = 0,051$ sone
$L_N = 11,6$ phon	$L_N = 12,3$ phon	$L_N = 13,1$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

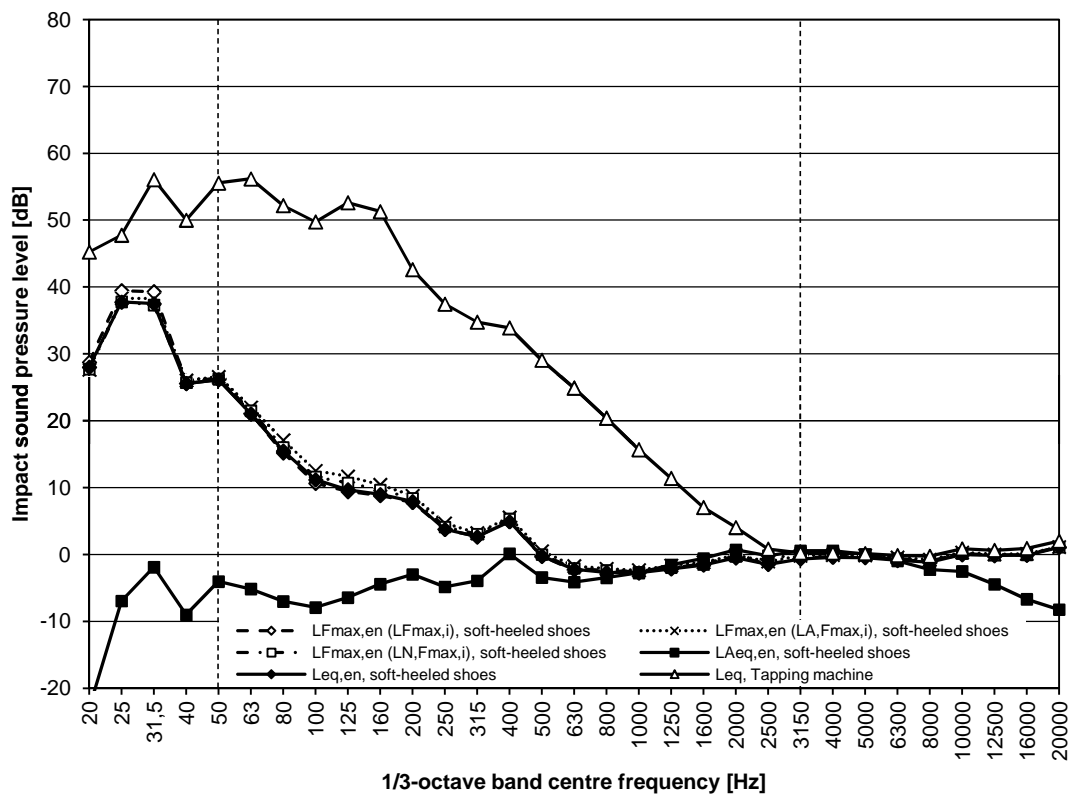
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 63,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 42,7 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 2,98 sone	$L_N$	= 55,0 phon

**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  
 $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{impact}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,impact}$	53,8 dB

**Indices: walking**

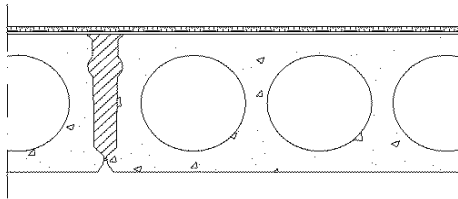
$L_{eq}$	= 41,2 dB	$L_{A,eq}$	= 12,1 dB
$N$	= 0,037 sone	$L_N$	= 11,2 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 42,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 41,8 dB	$L_{Fmax}$ = 41,1 dB
$L_{A,Fmax}$ = 12,3 dB	$L_{A,Fmax}$ = 12,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 12,5 dB
$N$ = 0,039 sone	$N$ = 0,044 sone	$N$ = 0,049 sone
$L_N$ = 11,5 phon	$L_N$ = 12,2 phon	$L_N$ = 12,8 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{eq}$ = 63,0 dB	$L_{A,eq}$ = 42,7 dB
<b>tapping machine</b>	$N$ = 2,98 sone	$L_N$ = 55,0 phon

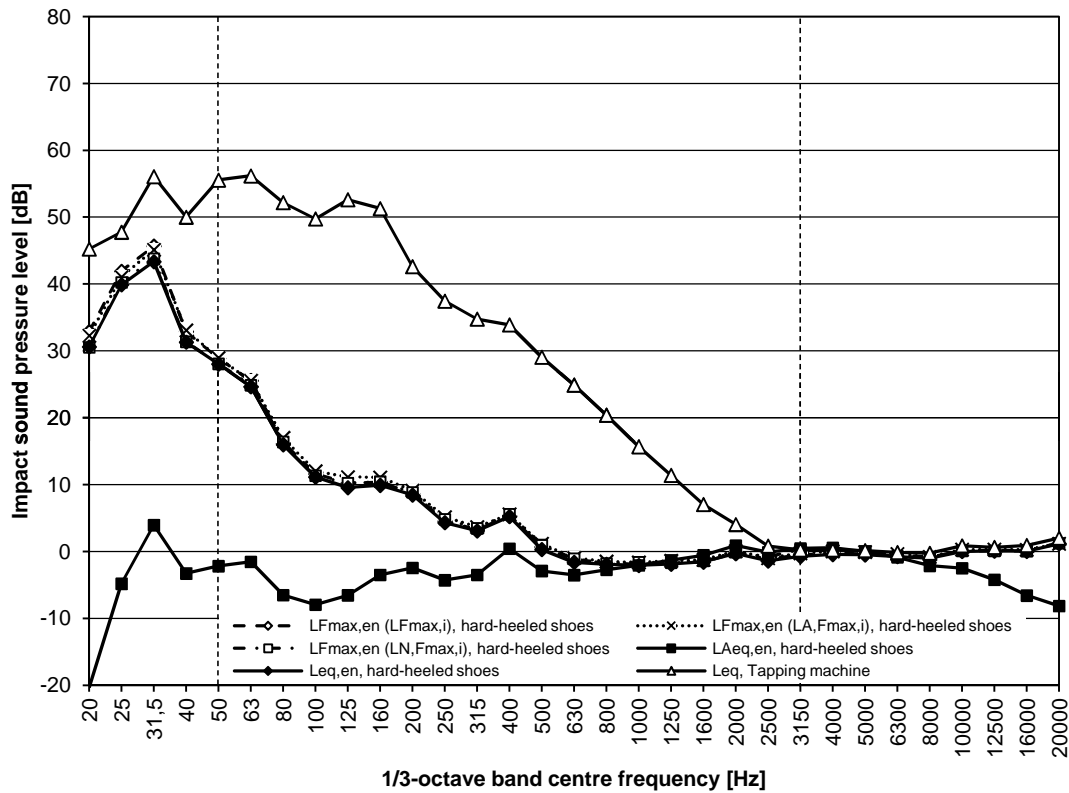


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{\text{impact}}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	53,8 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 45,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 13,0 dB
$N$	= 0,037 sone	$L_N$	= 11,3 phon

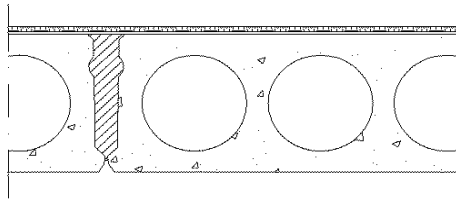
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F\text{max},i} (t)$	$L_{A,F\text{max},i} (t)$	$L_{N,F\text{max},i} (t)$
$L_{F\text{max}} = 47,6$ dB	$L_{F\text{max}} = 47,0$ dB	$L_{F\text{max}} = 45,8$ dB
$L_{A,F\text{max}} = 13,7$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 13,8$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 13,4$ dB
$N = 0,041$ sone	$N = 0,046$ sone	$N = 0,050$ sone
$L_N = 11,8$ phon	$L_N = 12,4$ phon	$L_N = 13,0$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

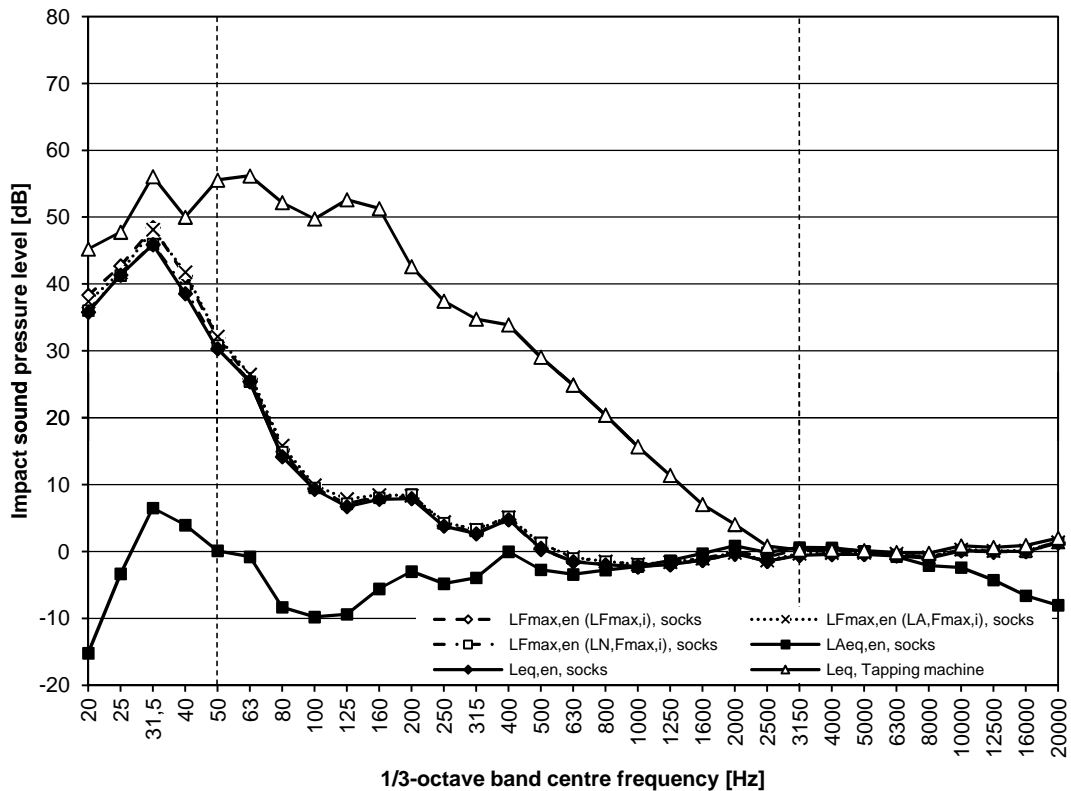
$L_{\text{eq}}$	= 63,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 42,7 dB
$N$	= 2,98 sone	$L_N$	= 55,0 phon



**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{impact}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,impact}$	53,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 48,1 dB	$L_{A,eq}$	= 13,8 dB
$N$	= 0,038 sone	$L_N$	= 11,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

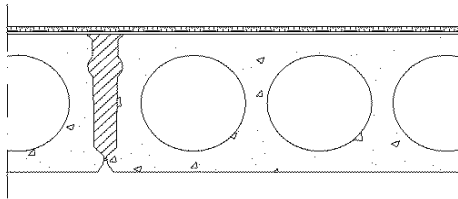
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 50,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 50,1 dB	$L_{Fmax}$ = 48,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 14,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 15,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 14,2 dB
$N$ = 0,039 sone	$N$ = 0,042 sone	$N$ = 0,051 sone
$L_N$ = 11,5 phon	$L_N$ = 12,0 phon	$L_N$ = 13,1 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 63,0 dB	$L_{A,eq}$	= 42,7 dB
$N$	= 2,98 sone	$L_N$	= 55,0 phon

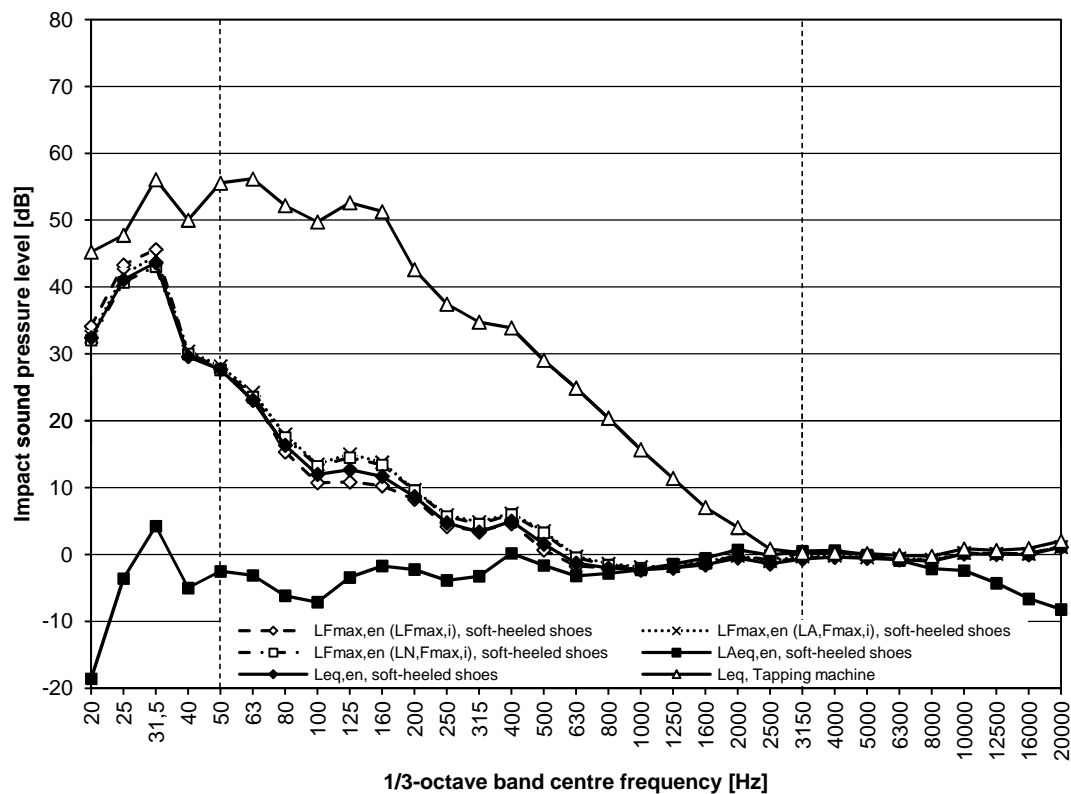


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  
 $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{\text{impact}}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	53,8 dB

**Indices: walking**

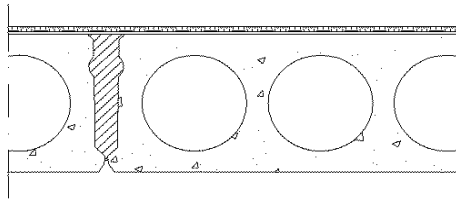
$L_{\text{eq}}$	= 46,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 13,1 dB
$N$	= 0,038 sone	$L_N$	= 11,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 47,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 46,9$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 45,5$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 13,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 13,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 13,6$ dB
$N = 0,039$ sone	$N = 0,047$ sone	$N = 0,052$ sone
$L_N = 11,5$ phon	$L_N = 12,6$ phon	$L_N = 13,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

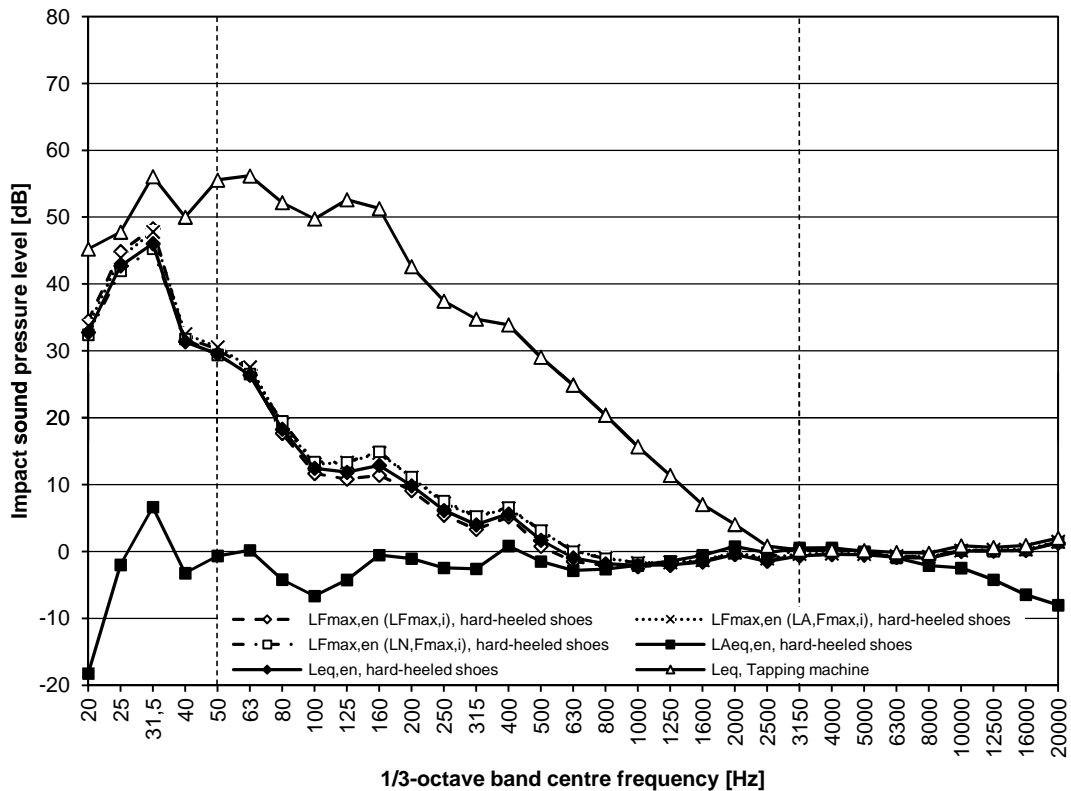
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 63,0$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 42,7$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 2,98$ sone	$L_N = 55,0$ phon



**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{impact}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,impact}$	53,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 48,0 dB	$L_{A,eq}$	= 13,9 dB
$N$	= 0,039 sone	$L_N$	= 11,6 phon

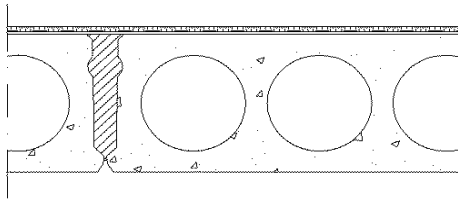
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 50,2 dB	$L_{Fmax}$ = 49,6 dB	$L_{Fmax}$ = 47,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 14,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 14,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 14,4 dB
$N$ = 0,039 sone	$N$ = 0,047 sone	$N$ = 0,055 sone
$L_N$ = 11,5 phon	$L_N$ = 12,6 phon	$L_N$ = 13,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 63,0 dB	$L_{A,eq}$	= 42,7 dB
$N$	= 2,98 sone	$L_N$	= 55,0 phon

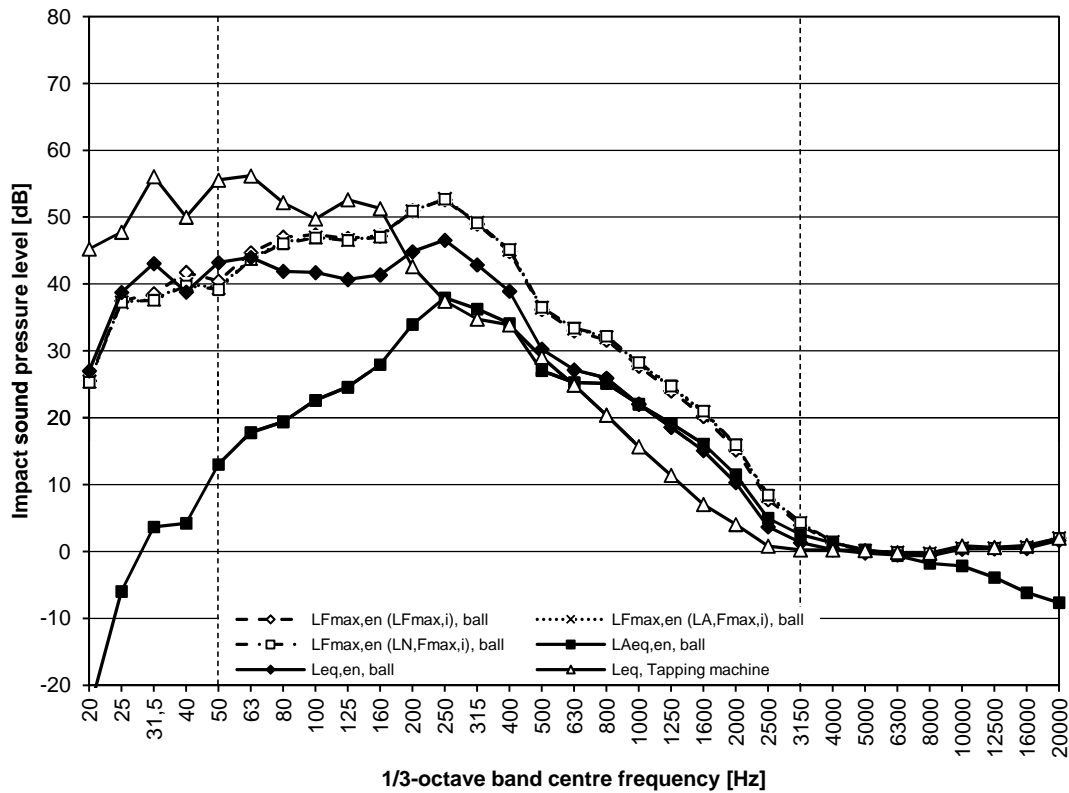


**Structure:**

- wall-to-wall carpet (Orient Occident Oy Milliken),  $\Delta L_w = 37$  dB
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	42,7 dB
$L'_{n,w} + C_1$	44,7 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,3 dB
$R_{\text{impact}}$	56,7 dB
$L'_{nT,w}$	38,3 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,1 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	50,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	53,8 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{\text{eq}}$	= 53,9 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 42,6 dB
$N$	= 3,370 sone	$L_N$	= 56,8 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

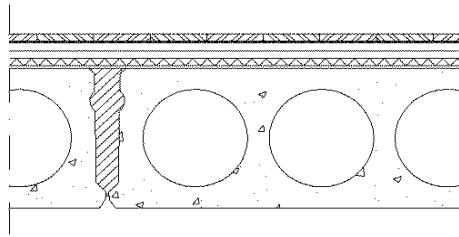
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 58,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 58,3$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 58,3$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 48,8$ dB
$N = 5,250$ sone	$N = 5,340$ sone	$N = 5,350$ sone
$L_N = 63,5$ phon	$L_N = 63,7$ phon	$L_N = 63,7$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 63,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 42,7 dB
$N$	= 2,98 sone	$L_N$	= 55,0 phon

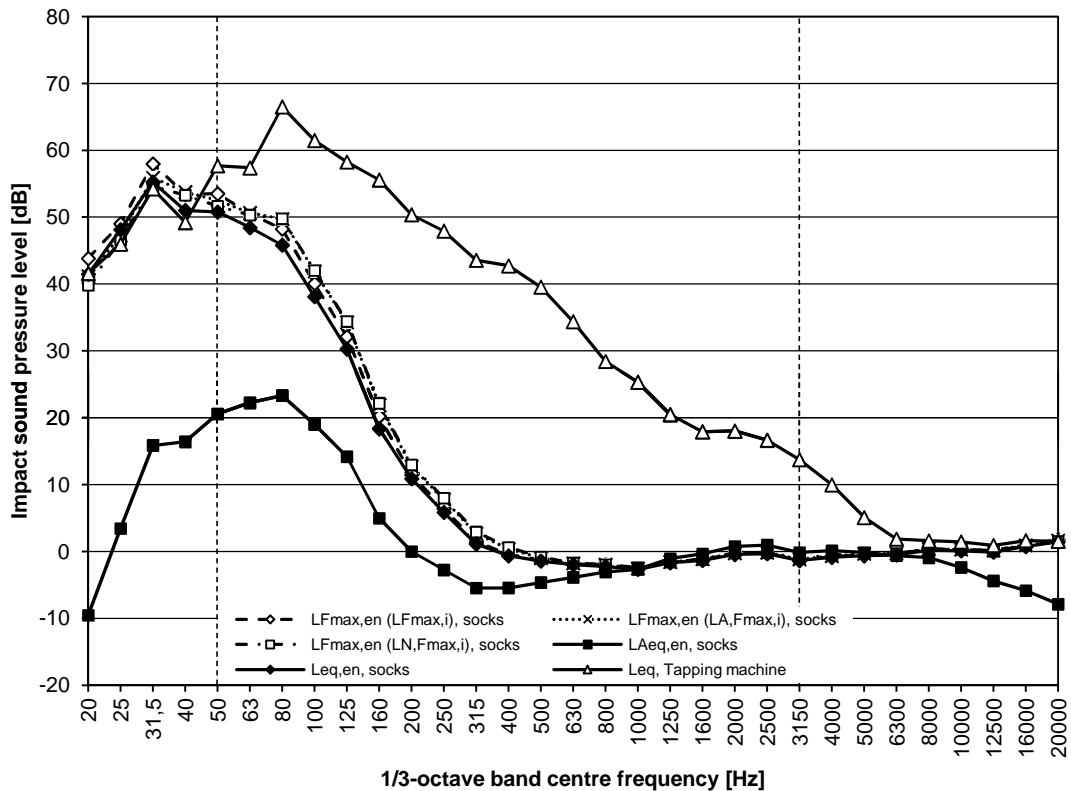


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{impact}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,impact}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 58,9 dB	$L_{A,eq}$	= 28,5 dB
$N$	= 0,266 sone	$L_N$	= 25,4 phon

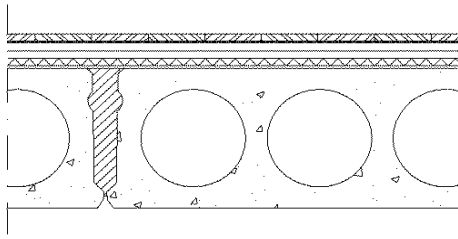
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 61,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 60,4 dB	$L_{Fmax}$ = 59,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 30,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 31,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 31,2 dB
$N$ = 0,349 sone	$N$ = 0,401 sone	$N$ = 0,400 sone
$L_N$ = 28,0 phon	$L_N$ = 29,4 phon	$L_N$ = 29,4 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

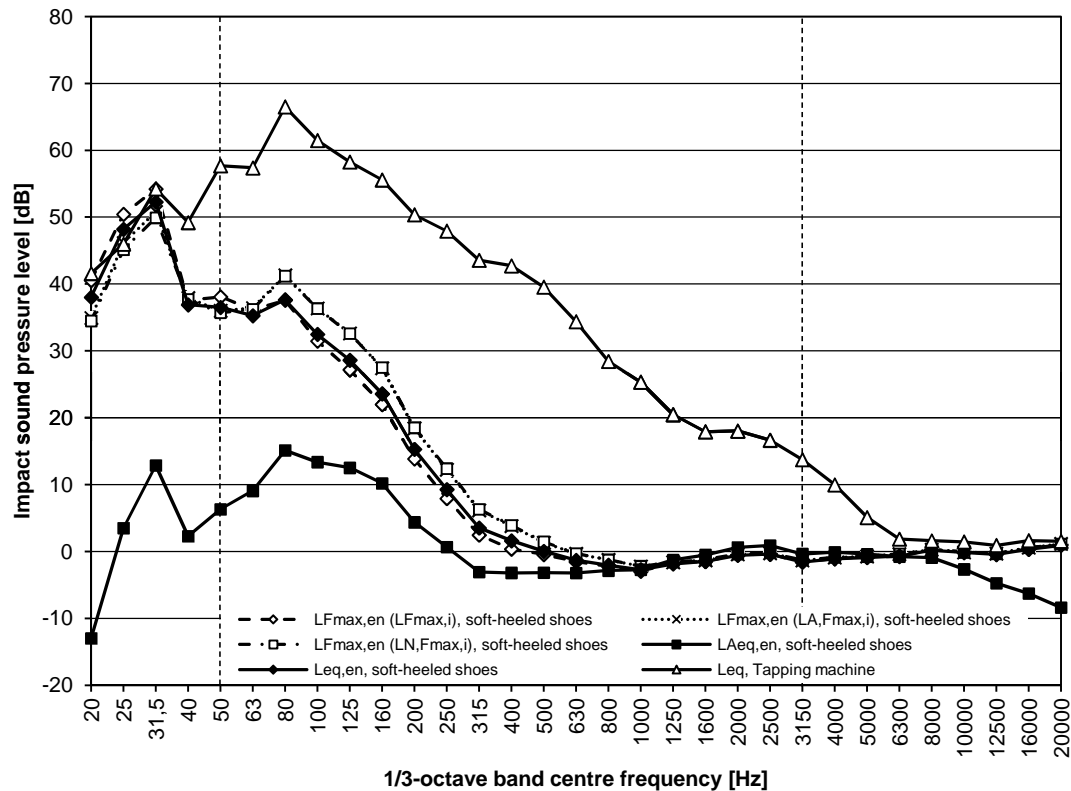
$L_{eq}$	= 69,4 dB	$L_{A,eq}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{\text{impact}}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 54,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 21,3 dB
$N$	= 0,128 sone	$L_N$	= 19,2 phon

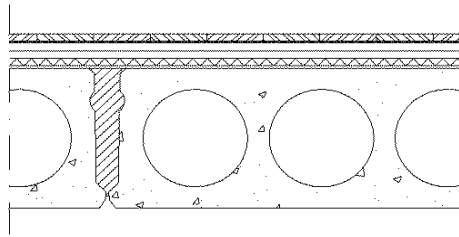
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F\text{max},i}(t)$	$L_{A,F\text{max},i}(t)$	$L_{N,F\text{max},i}(t)$
$L_{F\text{max}} = 56,1$ dB	$L_{F\text{max}} = 53,0$ dB	$L_{F\text{max}} = 52,2$ dB
$L_{A,F\text{max}} = 21,4$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 24,0$ dB	$L_{A,F\text{max}} = 23,9$ dB
$N = 0,112$ sone	$N = 0,222$ sone	$N = 0,222$ sone
$L_N = 18,2$ phon	$L_N = 23,7$ phon	$L_N = 23,8$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 69,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

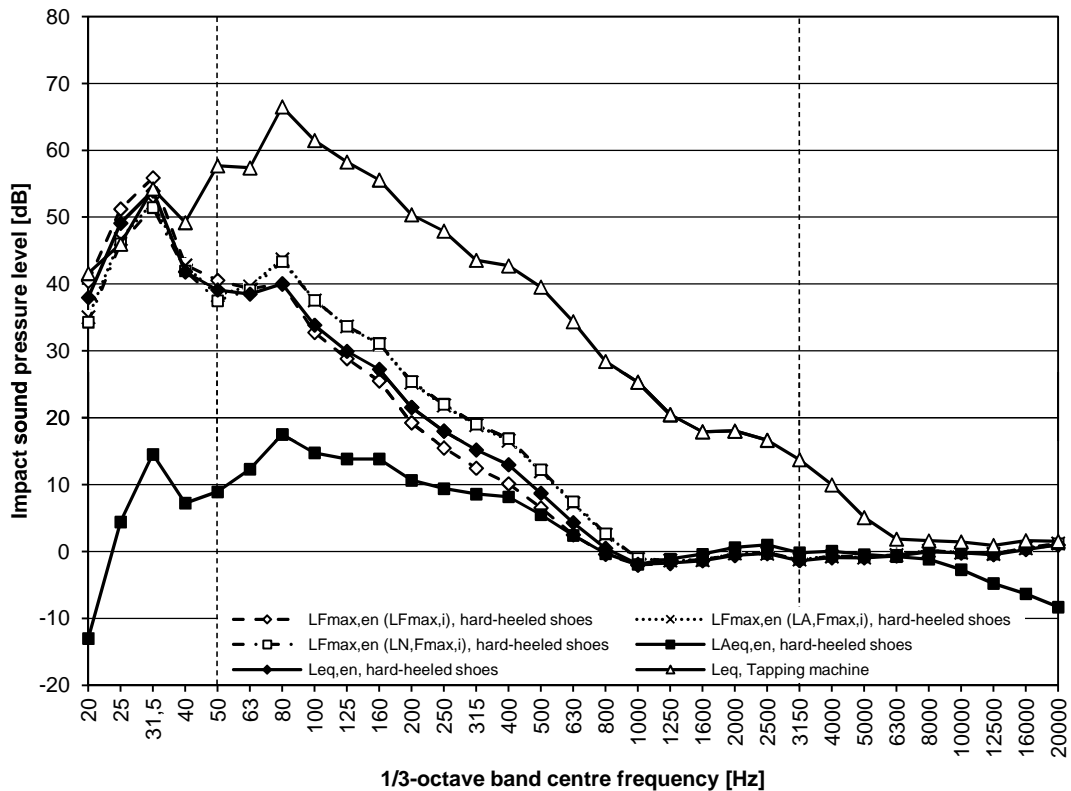


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{impact}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,impact}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 55,8 dB	$L_{A,eq}$	= 23,9 dB
$N$	= 0,285 sone	$L_N$	= 26,0 phon

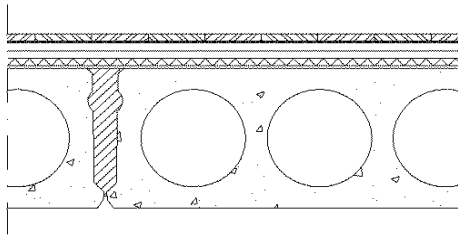
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 57,7 dB	$L_{Fmax}$ = 54,5 dB	$L_{Fmax}$ = 53,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 23,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 26,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 26,7 dB
$N$ = 0,222 sone	$N$ = 0,489 sone	$N$ = 0,495 sone
$L_N$ = 23,8 phon	$L_N$ = 31,6 phon	$L_N$ = 31,7 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

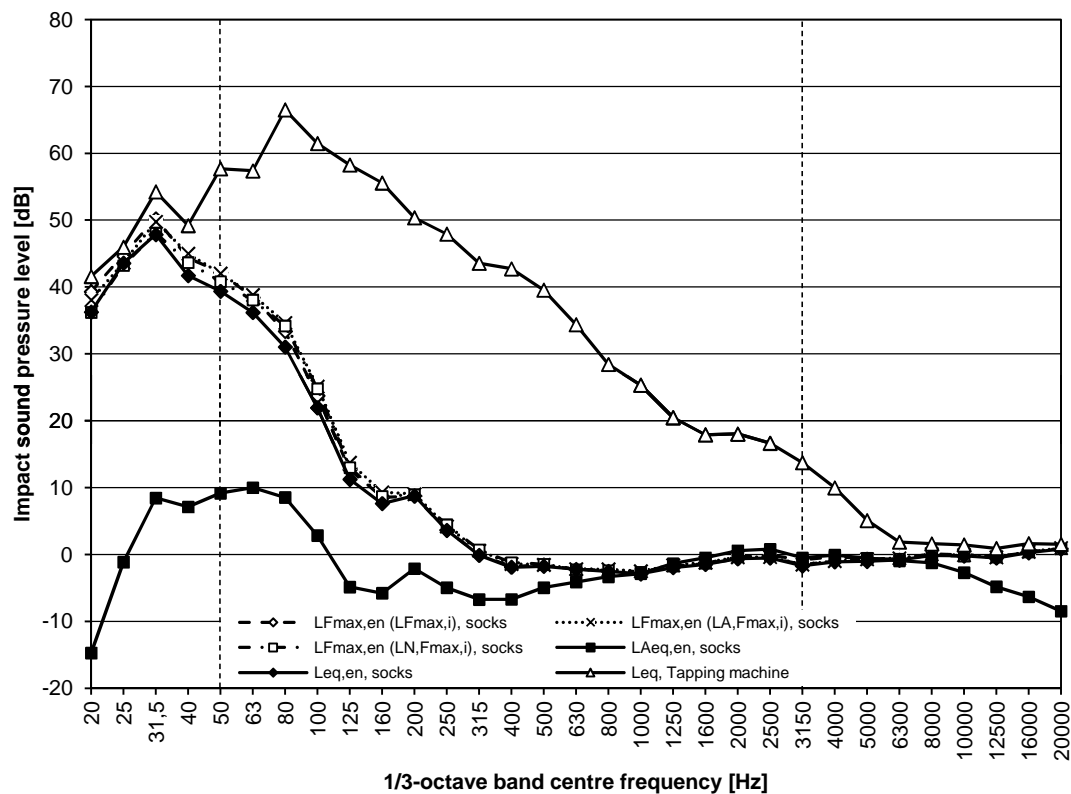
$L_{eq}$	= 69,4 dB	$L_{A,eq}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{\text{impact}}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,0 dB

**Indices: walking**

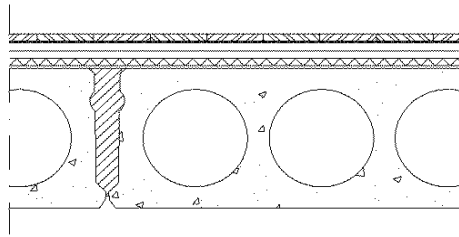
$L_{\text{eq}}$	= 50,7 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 17,3 dB
$N$	= 0,041 sone	$L_N$	= 11,8 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 52,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 52,6$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 51,3$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 18,8$ dB
$N = 0,055$ sone	$N = 0,061$ sone	$N = 0,063$ sone
$L_N = 13,5$ phon	$L_N = 14,1$ phon	$L_N = 14,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 69,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 50,5 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

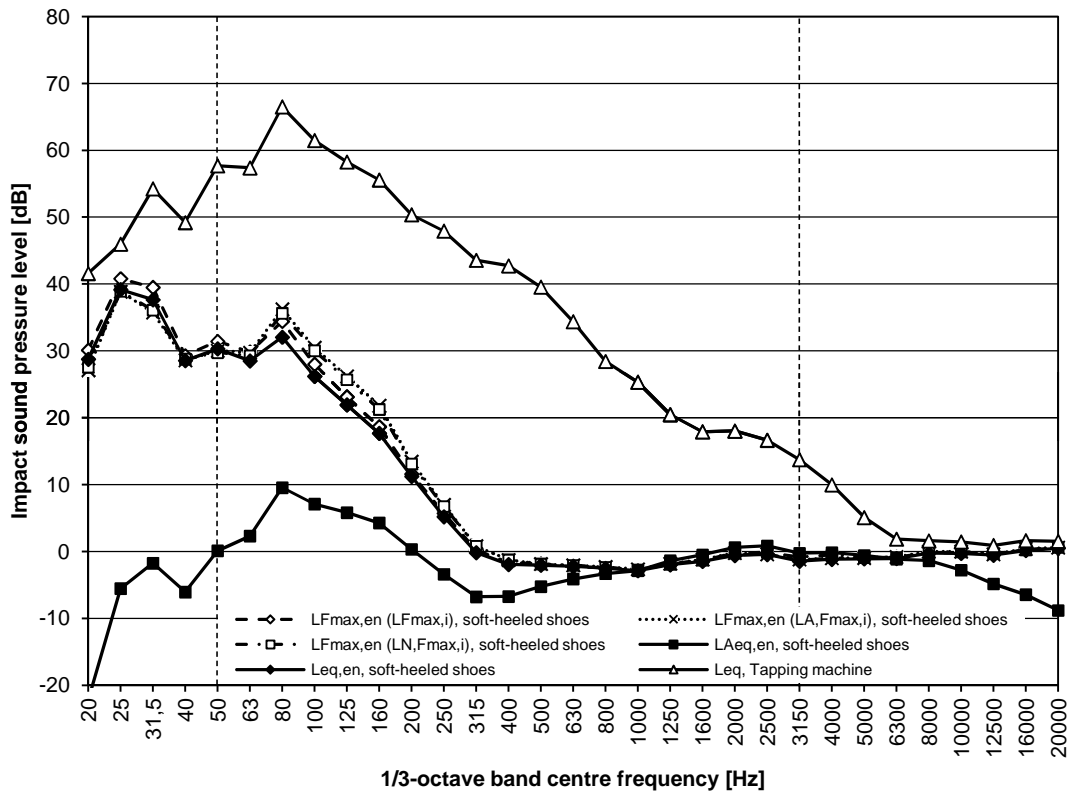


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{impact}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,impact}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	=	42,9 dB	$L_{A,eq}$	=	15,8 dB
$N$	=	0,052 sone	$L_N$	=	13,2 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

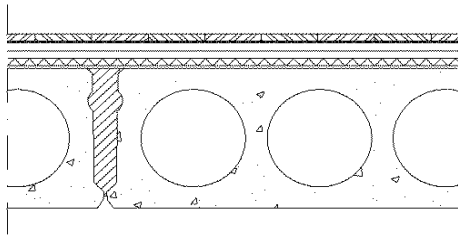
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 44,6 dB	$L_{Fmax}$ = 43,1 dB	$L_{Fmax}$ = 43,1 dB
$L_{A,Fmax}$ = 17,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 18,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 18,2 dB
$N$ = 0,067 sone	$N$ = 0,096 sone	$N$ = 0,094 sone
$L_N$ = 14,8 phon	$L_N$ = 17,2 phon	$L_N$ = 17,0 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	=	69,4 dB	$L_{A,eq}$	=	50,5 dB
$N$	=	6,27 sone	$L_N$	=	66,1 phon

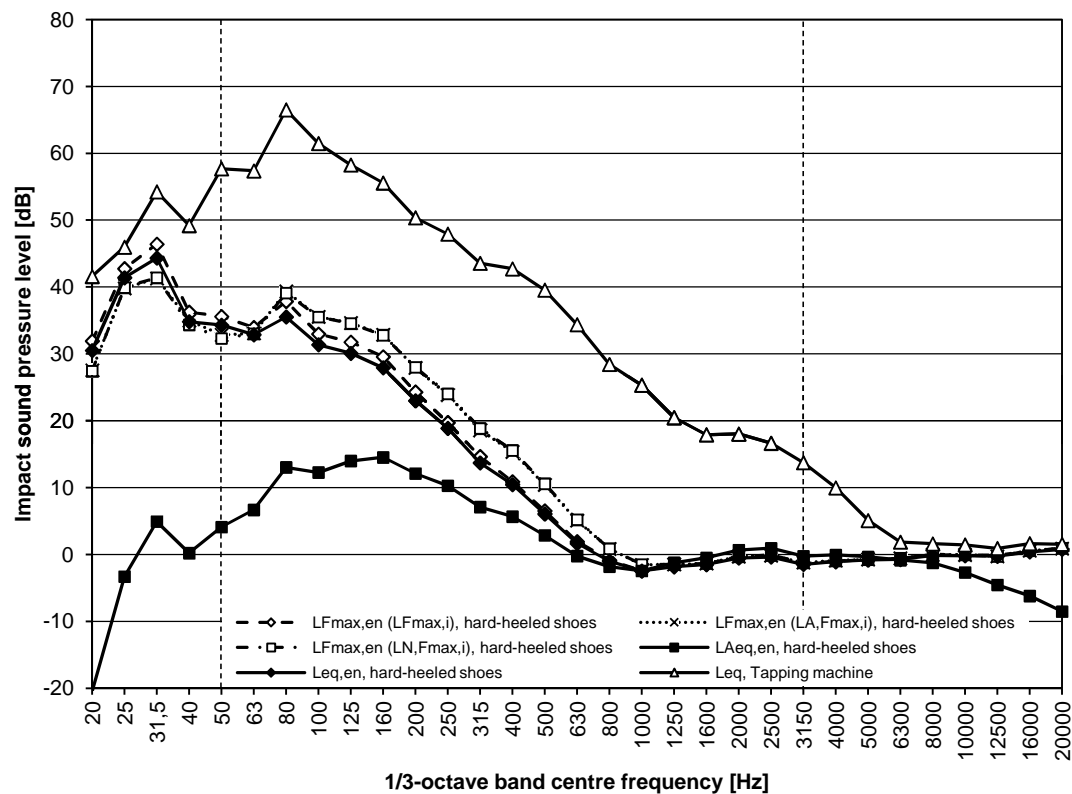


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{\text{impact}}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,0 dB

**Indices: walking**

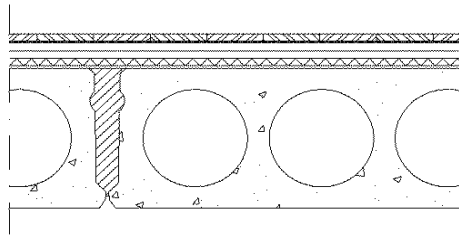
$L_{\text{eq}}$	= 47,5 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 21,8 dB
$N$	= 0,235 sone	$L_N$	= 24,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 49,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 46,9$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 46,8$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,9$ dB
$N = 0,290$ sone	$N = 0,470$ sone	$N = 0,473$ sone
$L_N = 26,2$ phon	$L_N = 31,1$ phon	$L_N = 31,2$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 69,4$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 50,5$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 6,27$ sone	$L_N = 66,1$ phon

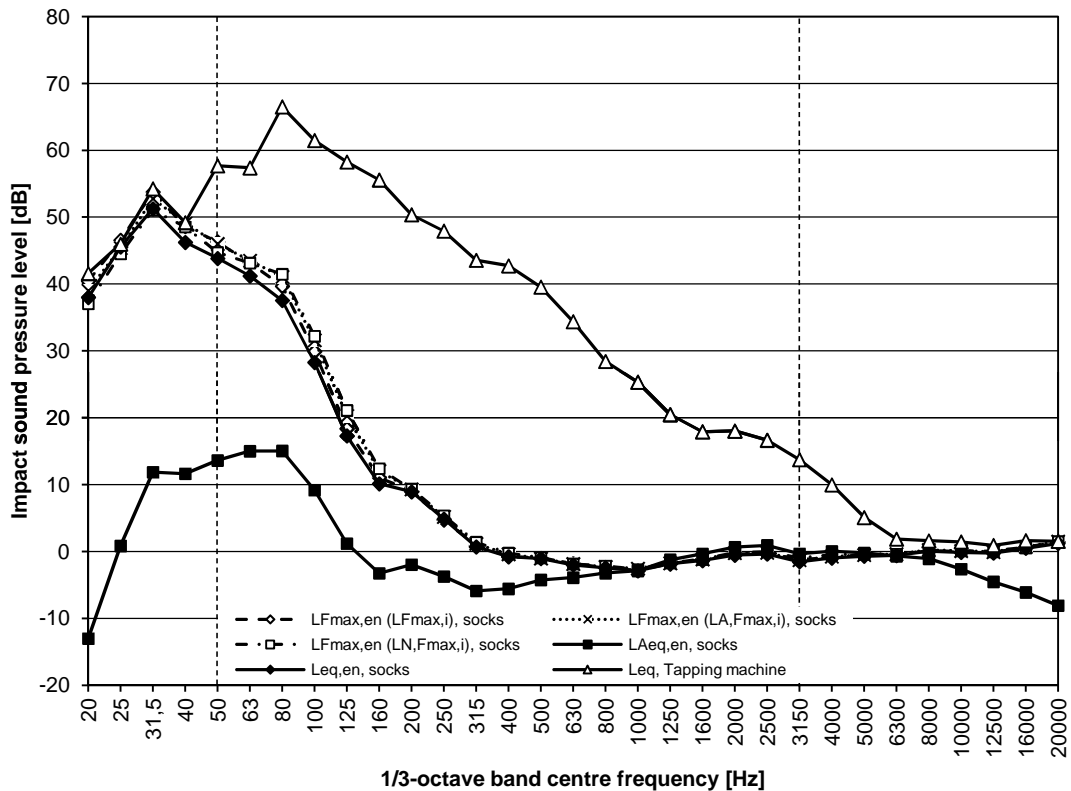


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{impact}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,impact}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	=	54,2 dB	$L_{A,eq}$	=	21,5 dB
$N$	=	0,084 sone	$L_N$	=	16,2 phon

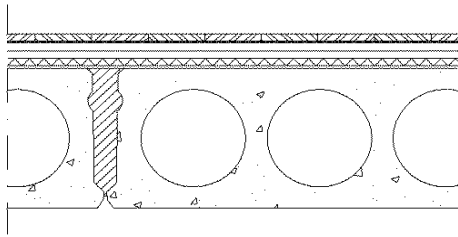
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 56,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 55,9 dB	$L_{Fmax}$ = 54,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 23,5 dB	$L_{A,Fmax}$ = 24,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 23,7 dB
$N$ = 0,113 sone	$N$ = 0,129 sone	$N$ = 0,135 sone
$L_N$ = 18,3 phon	$L_N$ = 19,3 phon	$L_N$ = 19,6 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

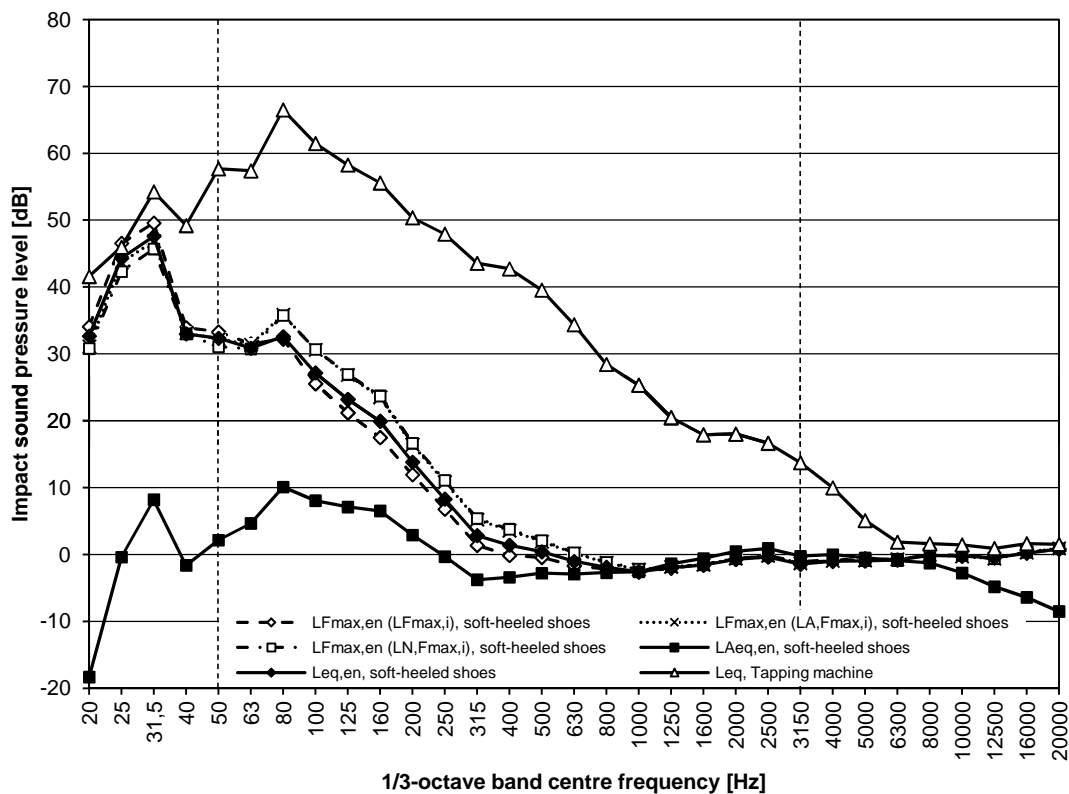
$L_{eq}$	=	69,4 dB	$L_{A,eq}$	=	50,5 dB
$N$	=	6,27 sone	$L_N$	=	66,1 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{\text{impact}}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 49,7 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 17,4 dB
$N$	= 0,068 sone	$L_N$	= 14,8 phon

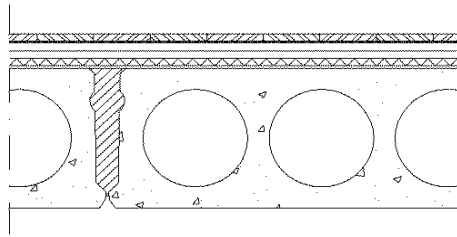
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 51,7$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 49,3$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 48,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 19,4$ dB
$N = 0,054$ sone	$N = 0,115$ sone	$N = 0,118$ sone
$L_N = 13,5$ phon	$L_N = 18,4$ phon	$L_N = 18,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices:  
tapping machine**

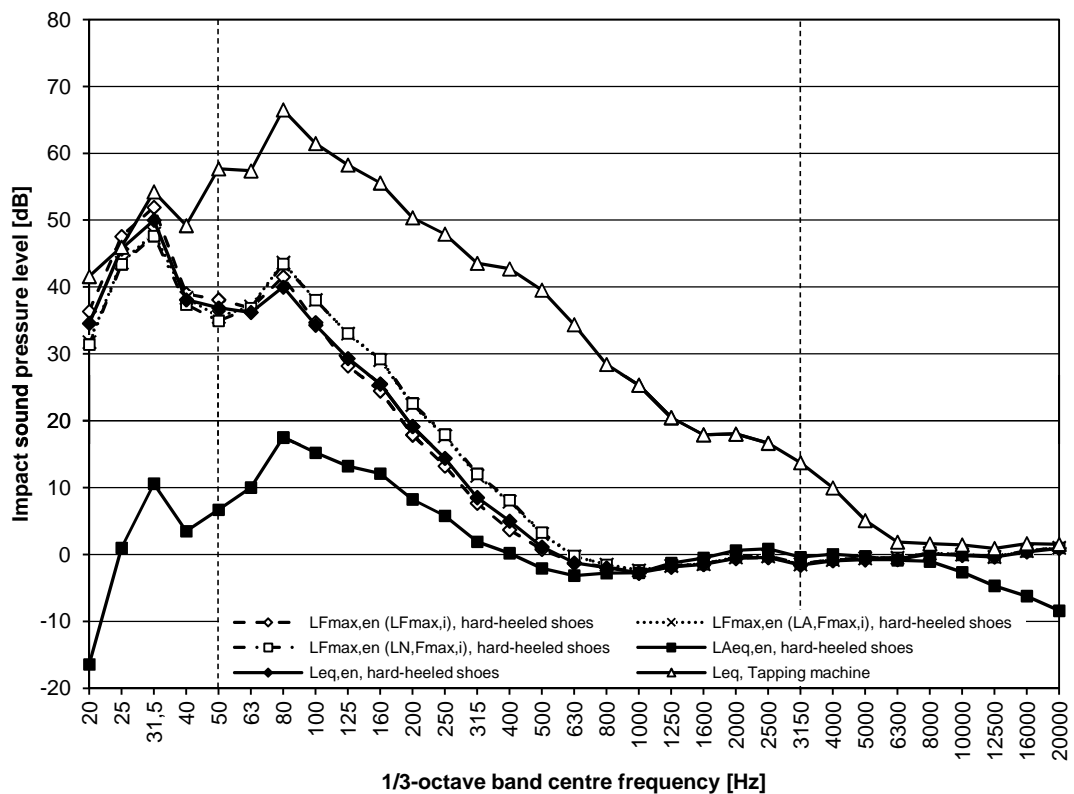
$L_{\text{eq}}$	= 69,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s


**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{\text{impact}}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,0 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 52,3 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 22,6 dB
$N$	= 0,184 sone	$L_N$	= 22,1 phon

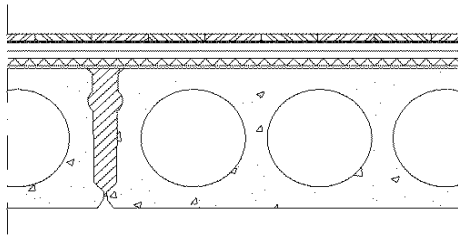
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 54,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 51,3$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 51,0$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,5$ dB
$N = 0,181$ sone	$N = 0,311$ sone	$N = 0,315$ sone
$L_N = 22,0$ phon	$L_N = 26,9$ phon	$L_N = 27,0$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices:  
tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 69,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

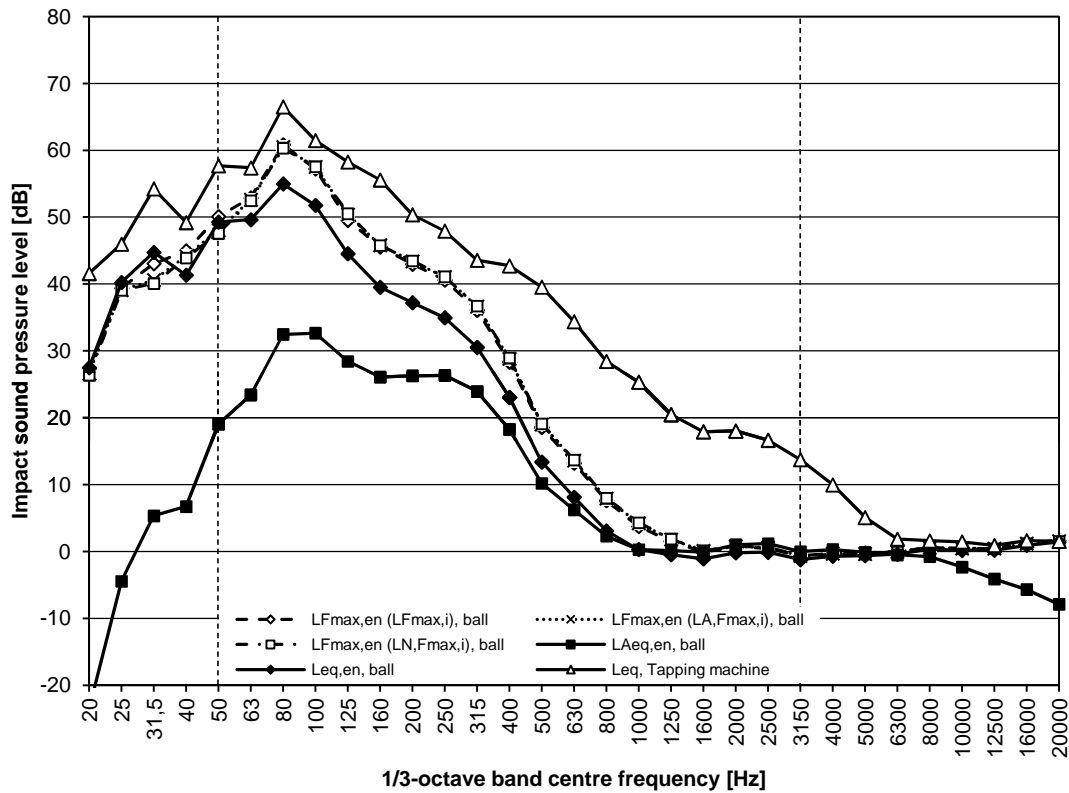


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{\text{impact}}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	49,0 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{\text{eq}}$	= 58,7 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 37,9 dB
$N$	= 1,510 sone	$L_N$	= 45,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

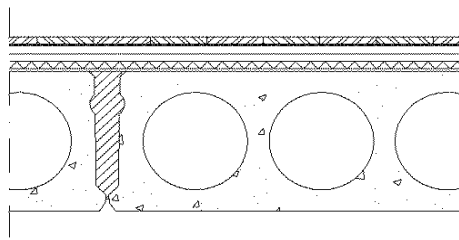
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 63,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 63,4$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 63,3$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 43,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 43,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 43,6$ dB
$N = 2,440$ sone	$N = 2,500$ sone	$N = 2,510$ sone
$L_N = 52,2$ phon	$L_N = 52,5$ phon	$L_N = 52,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 69,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

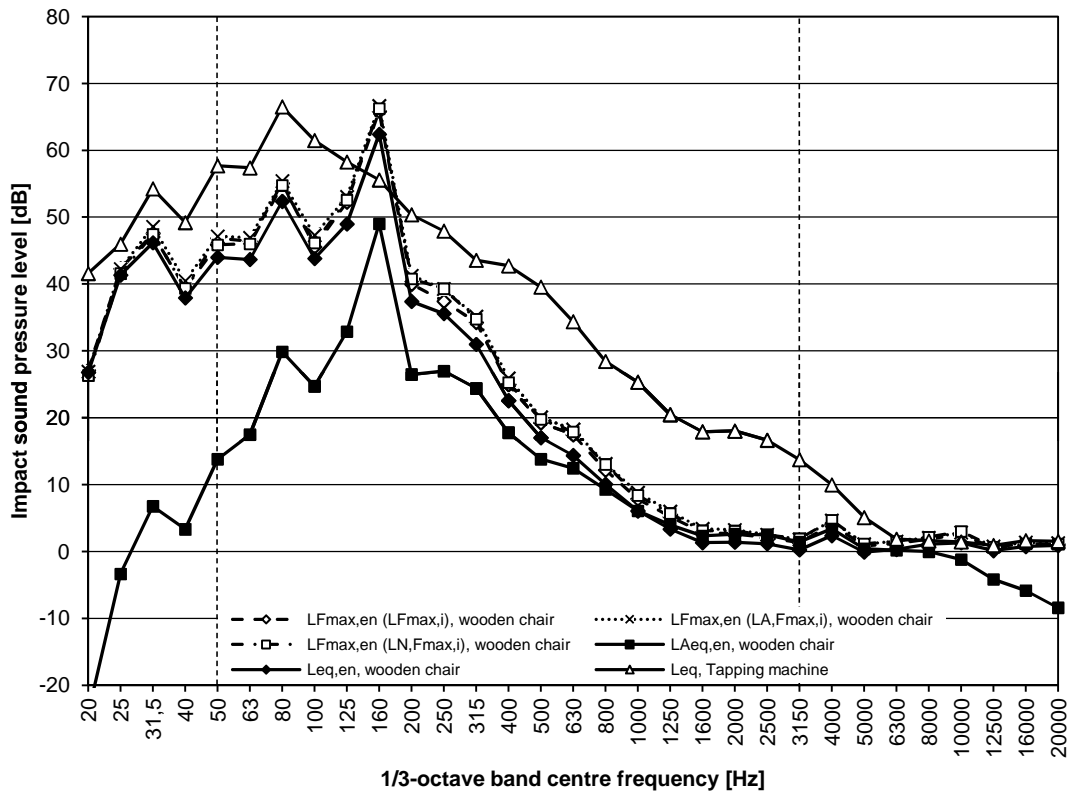


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 13 mm (Isover VKL)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	50,1 dB
$L'_{n,w} + C_1$	53,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	55,9 dB
$R_{impact}$	48,1 dB
$L'_{nT,w}$	45,7 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	48,2 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	55,1 dB
$D_{nT,impact}$	49,0 dB

**Indices:**

**chair moving**

$L_{eq}$	= 63,3 dB	$L_{A,eq}$	= 49,3 dB
$N$	= 2,770 sone	$L_N$	= 54,0 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 66,6 dB	$L_{Fmax}$ = 67,4 dB	$L_{Fmax}$ = 66,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 52,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 53,5 dB	$L_{A,Fmax}$ = 53,1 dB
$N$ = 3,540 sone	$N$ = 3,780 sone	$N$ = 3,670 sone
$L_N$ = 57,6 phon	$L_N$ = 58,6 phon	$L_N$ = 58,1 phon

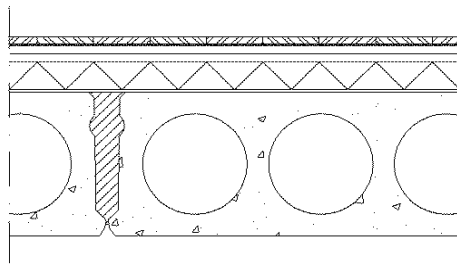
\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 69,4 dB	$L_{A,eq}$	= 50,5 dB
$N$	= 6,27 sone	$L_N$	= 66,1 phon

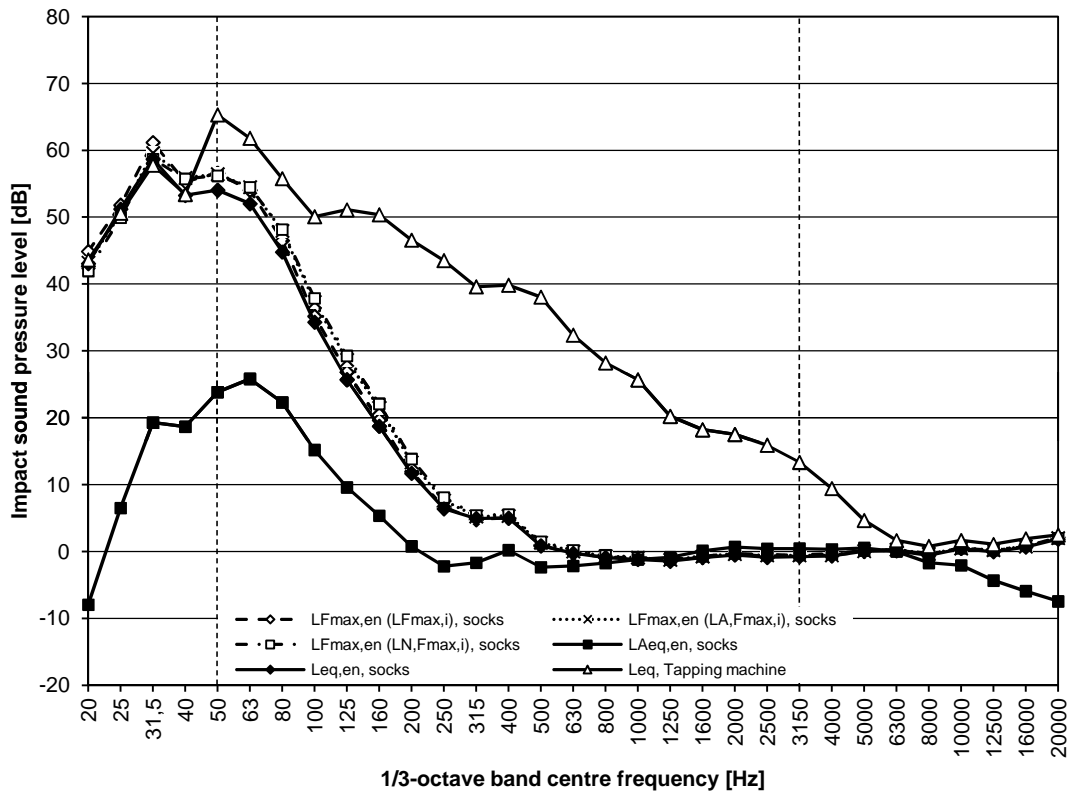




**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{impact}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,impact}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 61,9 dB	$L_{A,eq}$	= 30,1 dB
$N$	= 0,284 sone	$L_N$	= 26,0 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

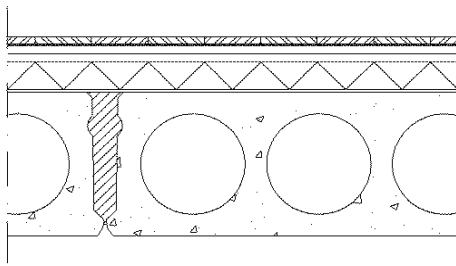
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 64,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 63,5 dB	$L_{Fmax}$ = 63,0 dB
$L_{A,Fmax}$ = 32,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 32,6 dB	$L_{A,Fmax}$ = 32,5 dB
$N$ = 0,355 sone	$N$ = 0,395 sone	$N$ = 0,403 sone
$L_N$ = 28,2 phon	$L_N$ = 29,3 phon	$L_N$ = 29,5 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 68,2 dB	$L_{A,eq}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon

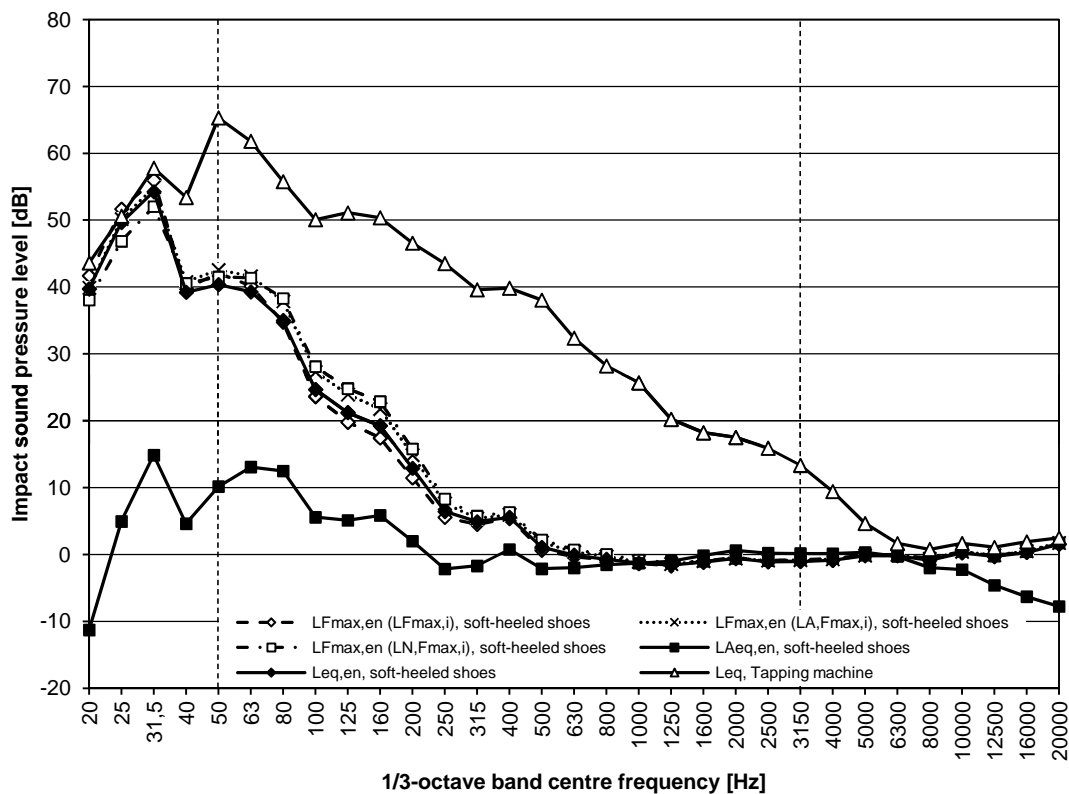


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{\text{impact}}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 56,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 20,5 dB
$N$	= 0,081 sone	$L_N$	= 15,9 phon

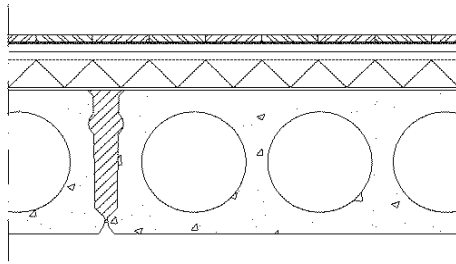
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 57,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 56,8$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 54,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 22,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,8$ dB
$N = 0,076$ sone	$N = 0,121$ sone	$N = 0,132$ sone
$L_N = 15,6$ phon	$L_N = 18,8$ phon	$L_N = 19,5$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 68,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon

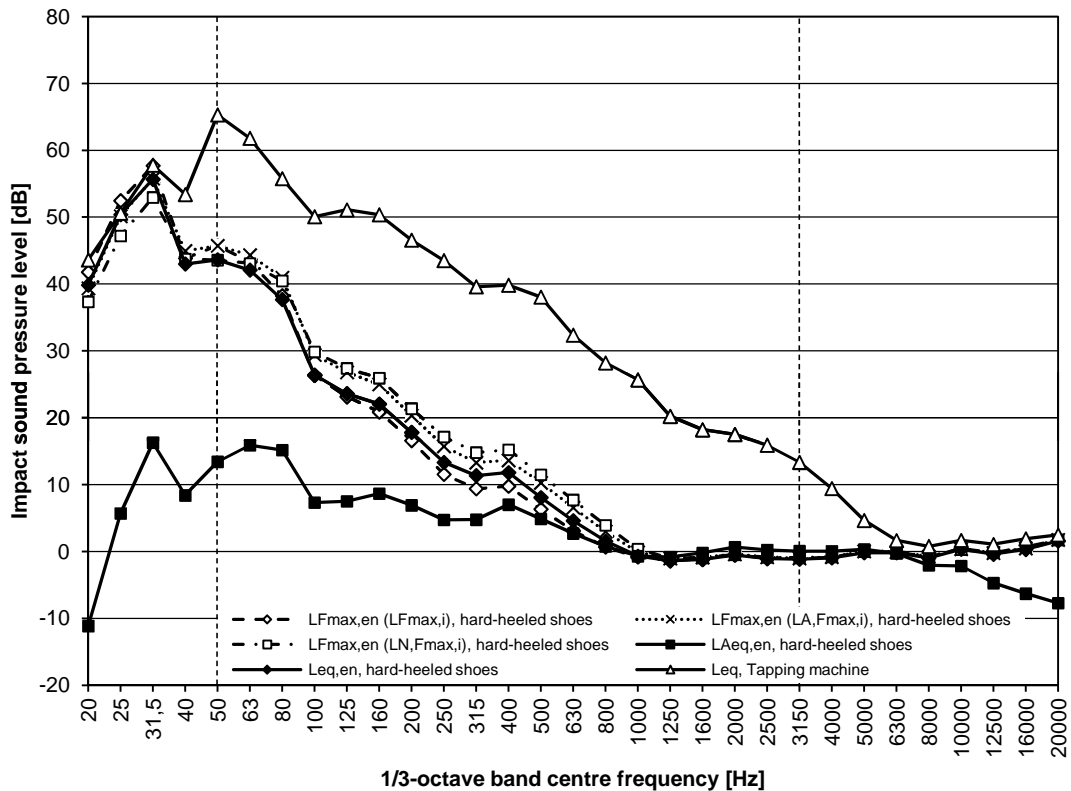


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{impact}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,impact}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 57,4 dB	$L_{A,eq}$	= 23,0 dB
$N$	= 0,182 sone	$L_N$	= 22,0 phon

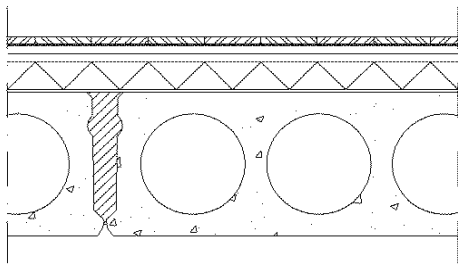
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 59,4 dB	$L_{Fmax}$ = 57,8 dB	$L_{Fmax}$ = 55,3 dB
$L_{A,Fmax}$ = 24,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 25,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 24,3 dB
$N$ = 0,157 sone	$N$ = 0,283 sone	$N$ = 0,316 sone
$L_N$ = 20,8 phon	$L_N$ = 26,0 phon	$L_N$ = 27,0 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

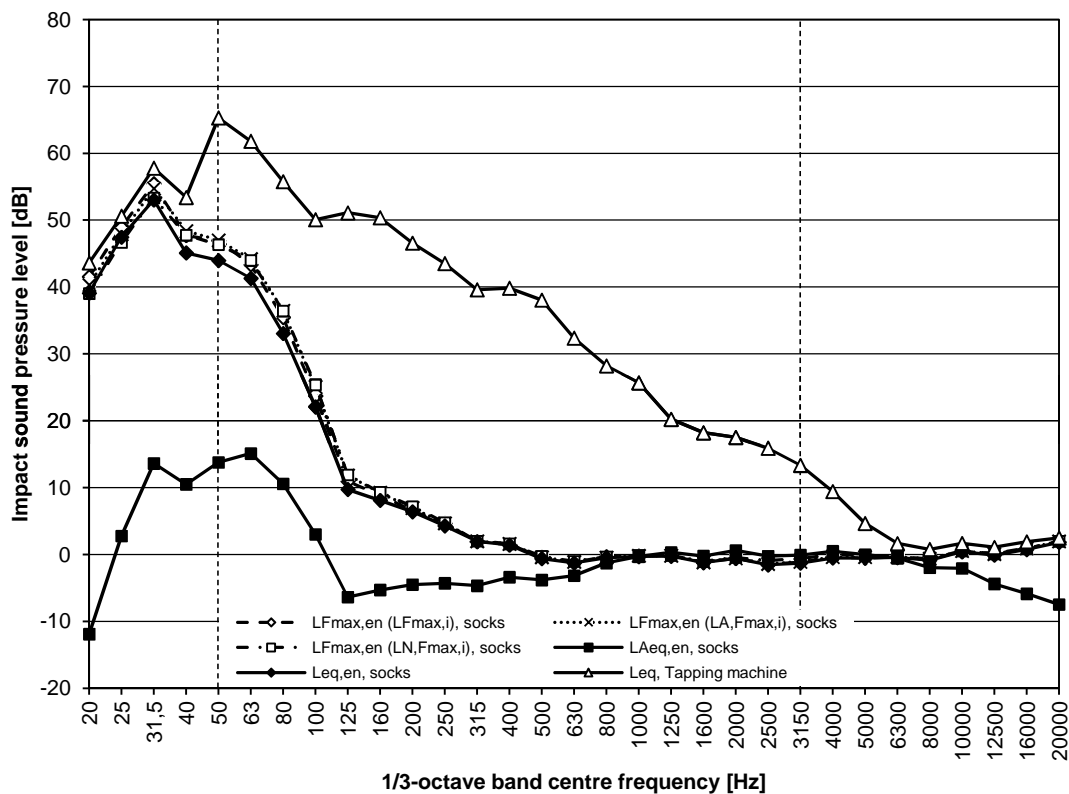
$L_{eq}$	= 68,2 dB	$L_{A,eq}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s


**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{\text{impact}}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	45,0 dB

**Indices: walking**

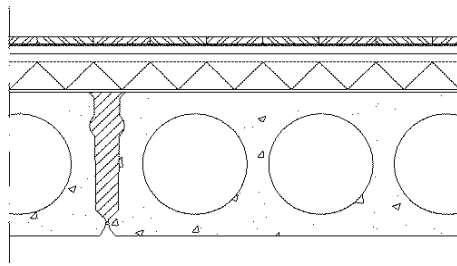
$L_{\text{eq}}$	= 55,3 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 20,8 dB
$N$	= 0,066 sone	$L_N$	= 14,6 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 57,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 57,2$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 56,0$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 23,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 22,9$ dB
$N = 0,088$ sone	$N = 0,098$ sone	$N = 0,101$ sone
$L_N = 16,5$ phon	$L_N = 17,2$ phon	$L_N = 17,5$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}}$	= 68,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 45,6 dB
<b>tapping machine</b>	$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon

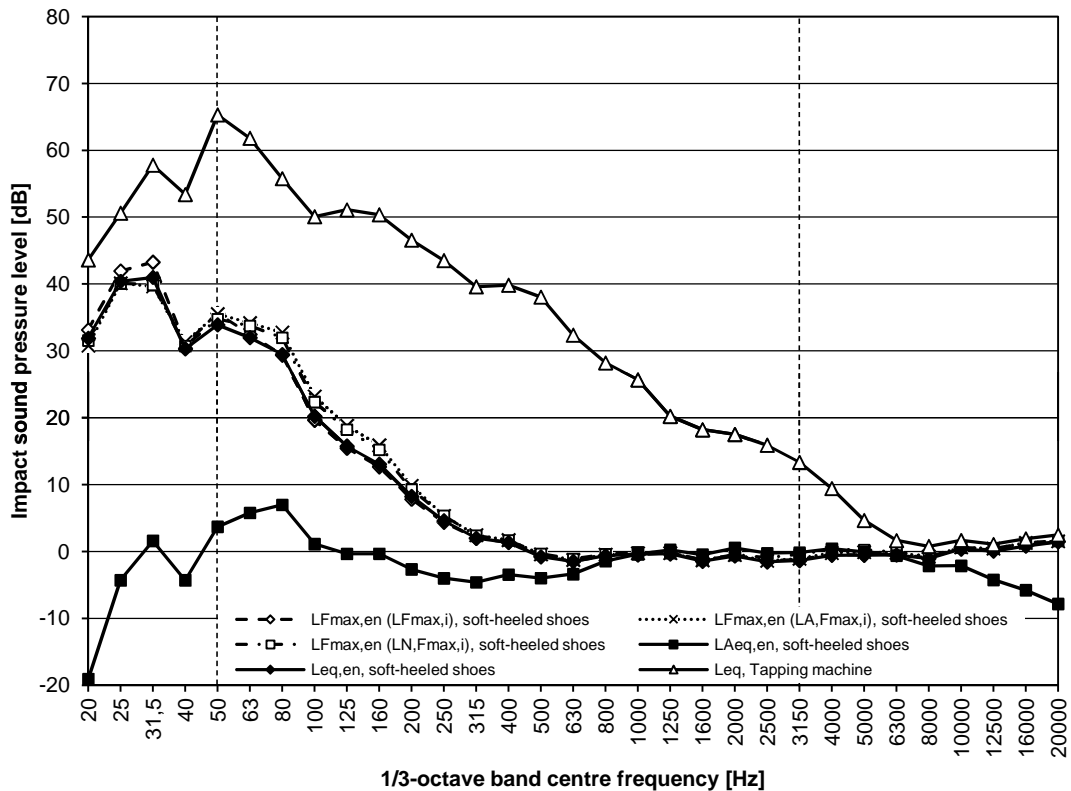


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{impact}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,impact}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	=	45,0 dB	$L_{A,eq}$	=	14,9 dB
$N$	=	0,037 sone	$L_N$	=	11,3 phon

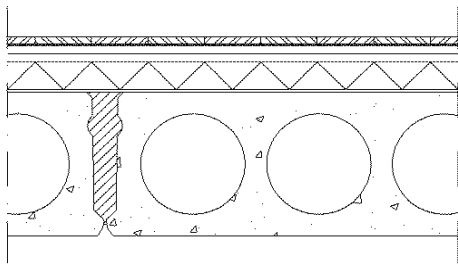
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 46,7 dB	$L_{Fmax}$ = 44,8 dB	$L_{Fmax}$ = 44,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 15,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 16,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 16,1 dB
$N$ = 0,039 sone	$N$ = 0,054 sone	$N$ = 0,058 sone
$L_N$ = 11,5 phon	$L_N$ = 13,4 phon	$L_N$ = 13,8 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

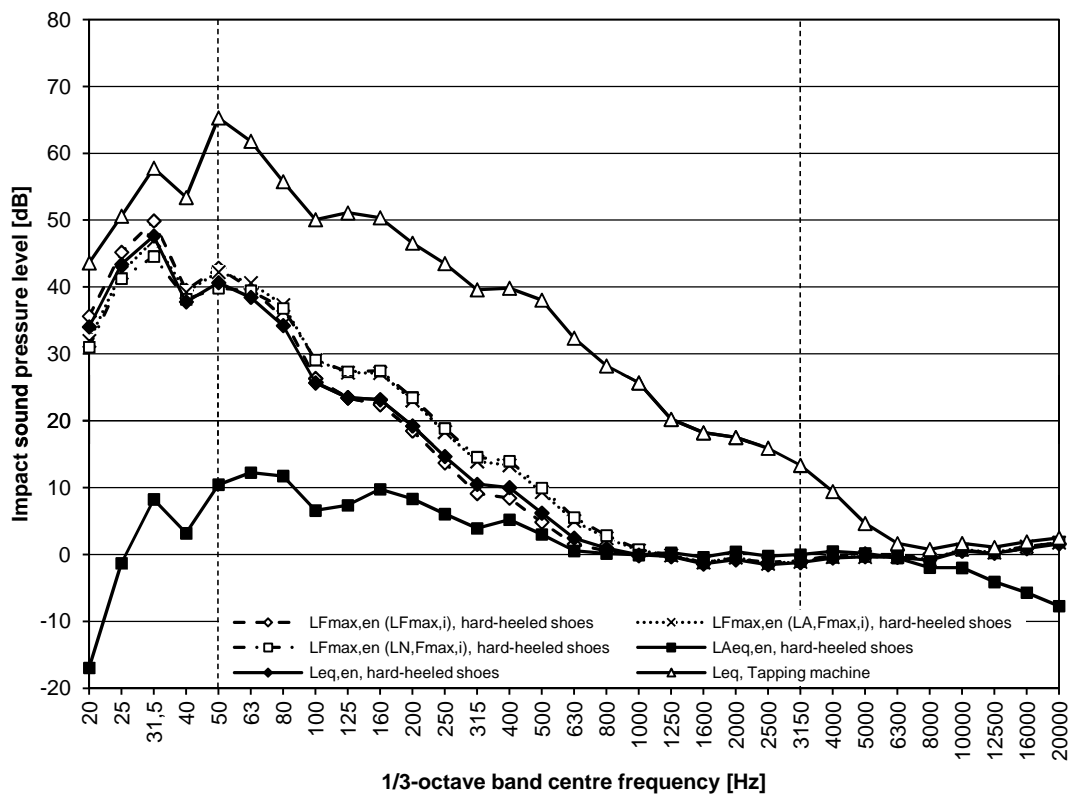
$L_{eq}$	=	68,2 dB	$L_{A,eq}$	=	45,6 dB
$N$	=	5,02 sone	$L_N$	=	62,8 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{\text{impact}}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	45,0 dB

**Indices: walking**

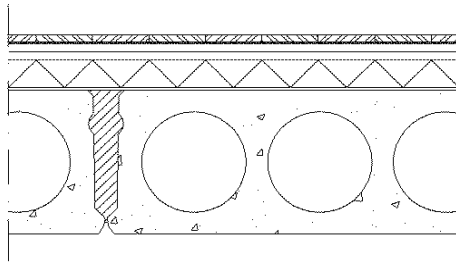
$L_{\text{eq}}$	= 50,4 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 20,2 dB
$N$	= 0,148 sone	$L_N$	= 20,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 52,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 50,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 48,8$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 22,7$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 22,4$ dB
$N = 0,140$ sone	$N = 0,270$ sone	$N = 0,281$ sone
$L_N = 19,9$ phon	$L_N = 25,6$ phon	$L_N = 25,9$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

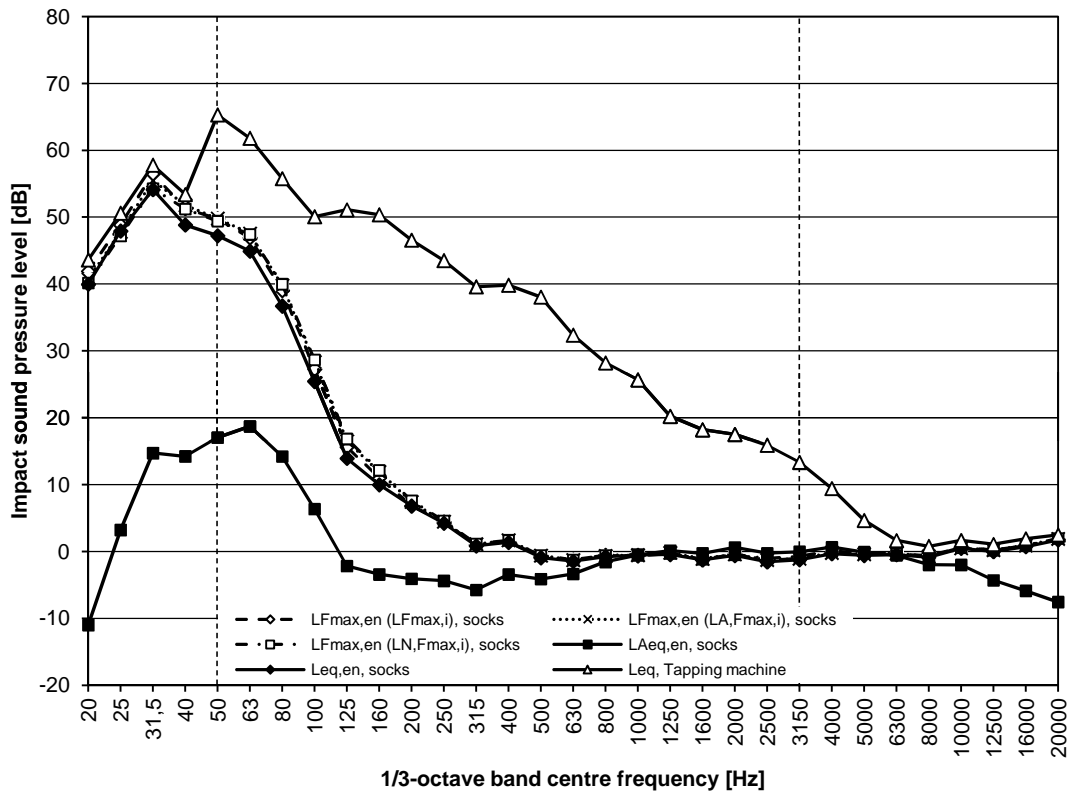
<b>Indices:</b>	$L_{\text{eq}} = 68,2$ dB	$L_{A,\text{eq}} = 45,6$ dB
<b>tapping machine</b>	$N = 5,02$ sone	$L_N = 62,8$ phon



**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{impact}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,impact}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 56,9 dB	$L_{A,eq}$	= 23,6 dB
$N$	= 0,102 sone	$L_N$	= 17,6 phon

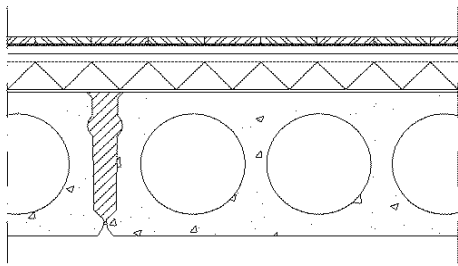
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 59,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 58,7 dB	$L_{Fmax}$ = 57,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 25,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 26,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 25,8 dB
$N$ = 0,138 sone	$N$ = 0,149 sone	$N$ = 0,152 sone
$L_N$ = 19,8 phon	$L_N$ = 20,4 phon	$L_N$ = 20,6 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

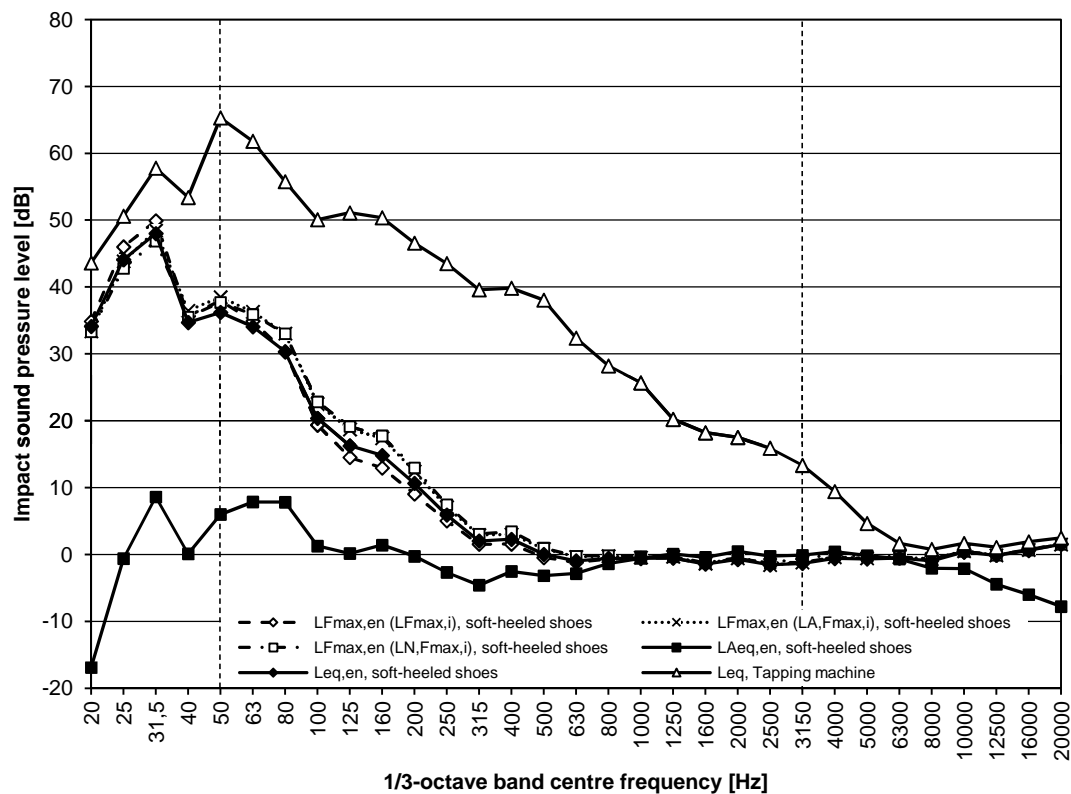
$L_{eq}$	= 68,2 dB	$L_{A,eq}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{\text{impact}}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 50,1 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 16,4 dB
$N$	= 0,041 sone	$L_N$	= 11,9 phon

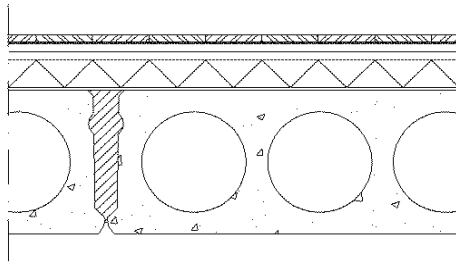
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 51,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 50,6$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 49,3$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,9$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,6$ dB
$N = 0,042$ sone	$N = 0,059$ sone	$N = 0,066$ sone
$L_N = 12,0$ phon	$L_N = 13,9$ phon	$L_N = 14,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

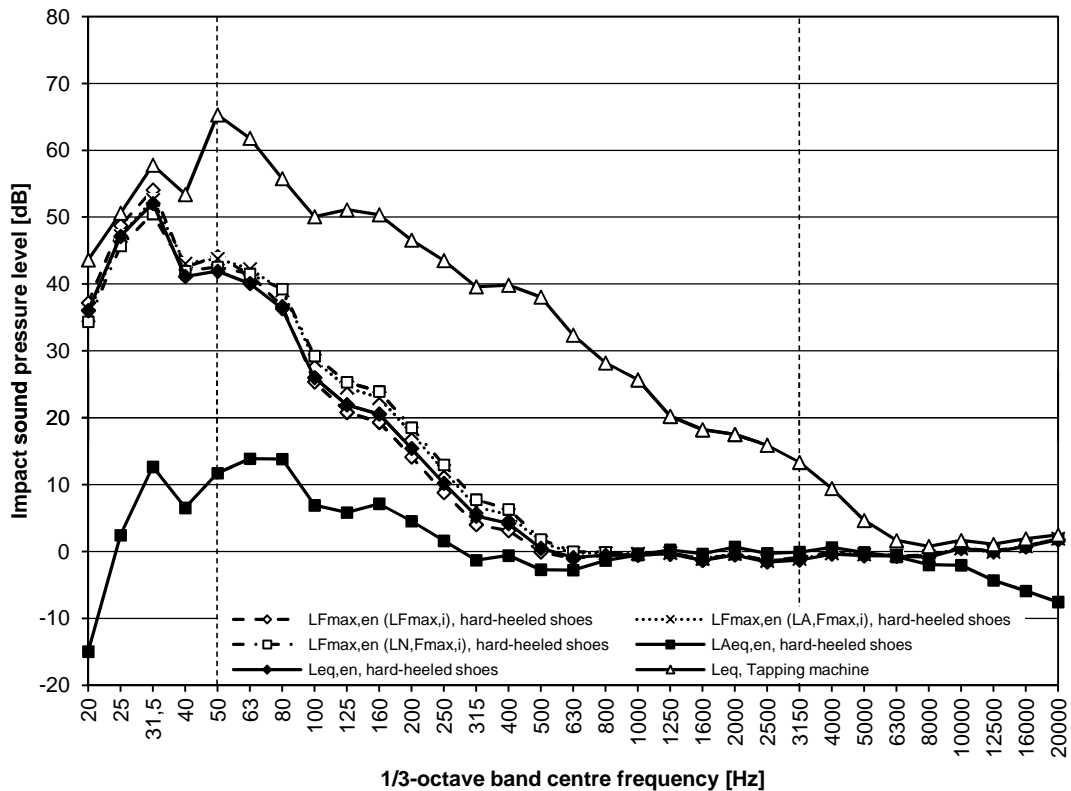
$L_{\text{eq}}$	= 68,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon



**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{impact}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,impact}$	45,0 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 54,2 dB	$L_{A,eq}$	= 20,8 dB
$N$	= 0,100 sone	$L_N$	= 17,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

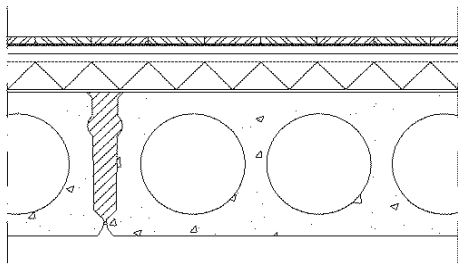
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 56,0 dB	$L_{A,Fmax}$ = 54,9 dB	$L_{Fmax}$ = 53,2 dB
$L_{A,Fmax}$ = 21,8 dB	$L_{A,Fmax}$ = 22,7 dB	$L_{A,Fmax}$ = 22,4 dB
$N$ = 0,098 sone	$N$ = 0,148 sone	$N$ = 0,161 sone
$L_N$ = 17,3 phon	$L_N$ = 20,4 phon	$L_N$ = 21,0 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 68,2 dB	$L_{A,eq}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon



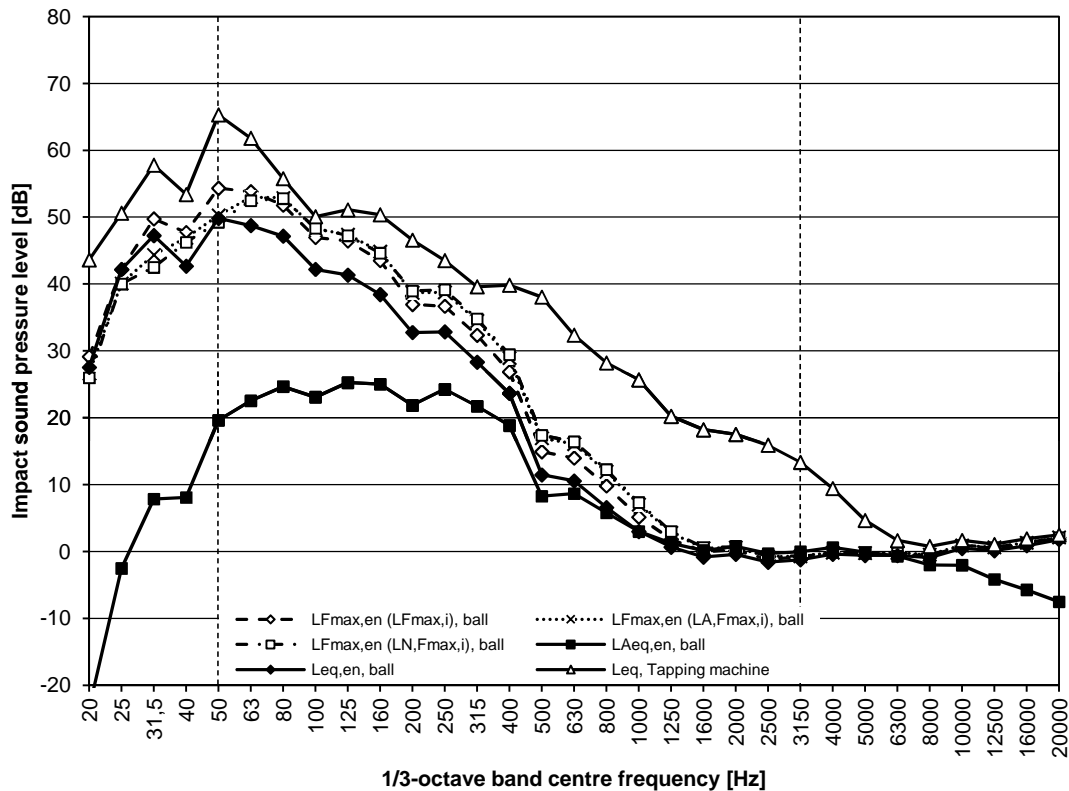


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{\text{impact}}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	45,0 dB

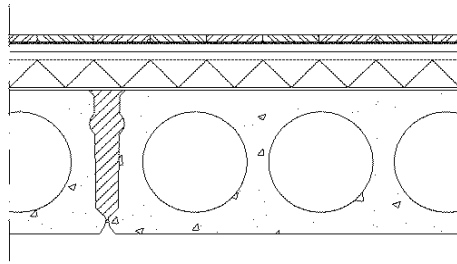
**Indices:**  $L_{\text{eq}} = 55,5$  dB     $L_{A,\text{eq}} = 33,2$  dB  
**ball bouncing**     $N = 1,130$  sone     $L_N = 41,6$  phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 59,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 58,8$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 58,4$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 37,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 39,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 39,0$ dB
$N = 1,720$ sone	$N = 1,970$ sone	$N = 2,000$ sone
$L_N = 47,2$ phon	$L_N = 49,1$ phon	$L_N = 49,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**  $L_{\text{eq}} = 68,2$  dB     $L_{A,\text{eq}} = 45,6$  dB  
**tapping machine**     $N = 5,02$  sone     $L_N = 62,8$  phon

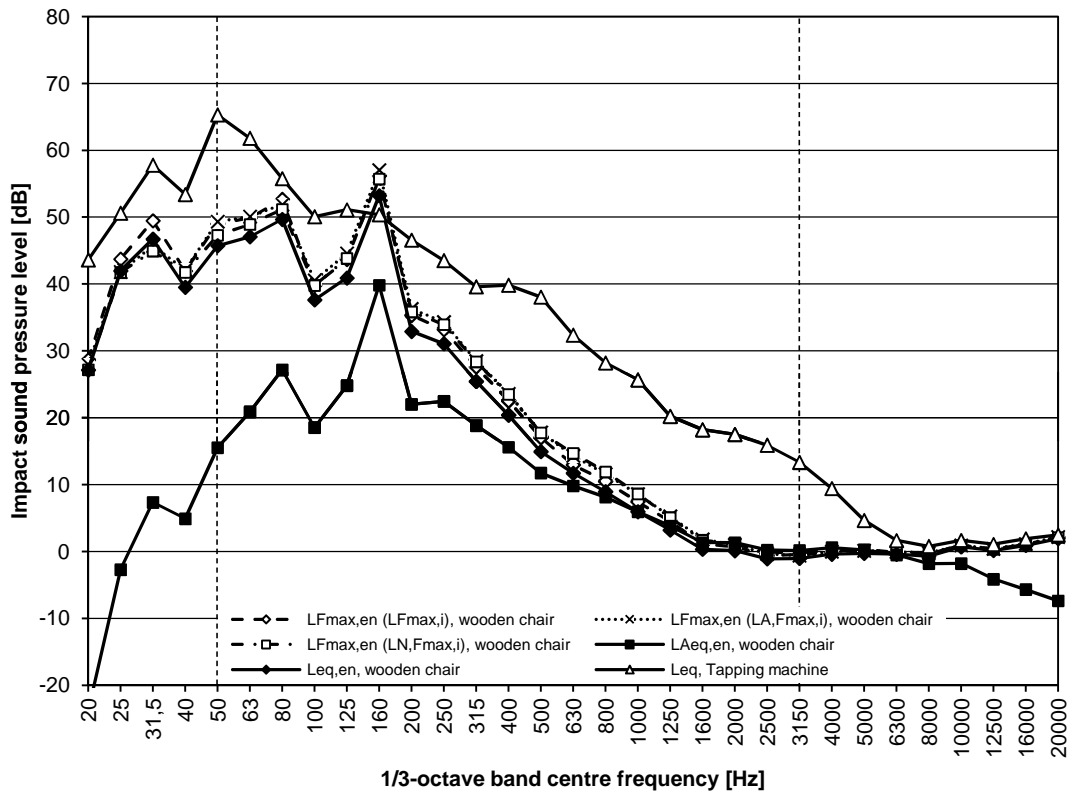


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 2 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	43,2 dB
$L'_{n,w} + C_1$	45,0 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	52,4 dB
$R_{impact}$	51,6 dB
$L'_{nT,w}$	38,8 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	40,4 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	59,0 dB
$D_{nT,impact}$	45,0 dB

**Indices:**

**chair moving**

$L_{eq}$	= 56,9 dB	$L_{A,eq}$	= 40,5 dB
$N$	= 1,600 sone	$L_N$	= 46,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 59,8 dB	$L_{Fmax}$ = 59,9 dB	$L_{Fmax}$ = 58,7 dB
$L_{A,Fmax}$ = 43,4 dB	$L_{A,Fmax}$ = 44,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 42,9 dB
$N$ = 2,03 sone	$N$ = 2,17 sone	$N$ = 2,04 sone
$L_N$ = 49,6 phon	$L_N$ = 50,5 phon	$L_N$ = 49,6 phon

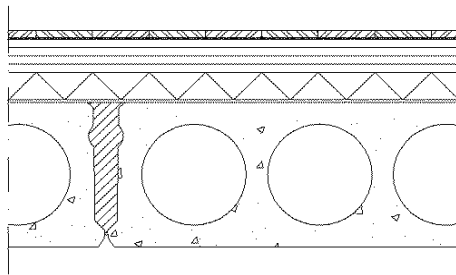
\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

**Indices:**

**tapping machine**

$L_{eq}$	= 68,2 dB	$L_{A,eq}$	= 45,6 dB
$N$	= 5,02 sone	$L_N$	= 62,8 phon



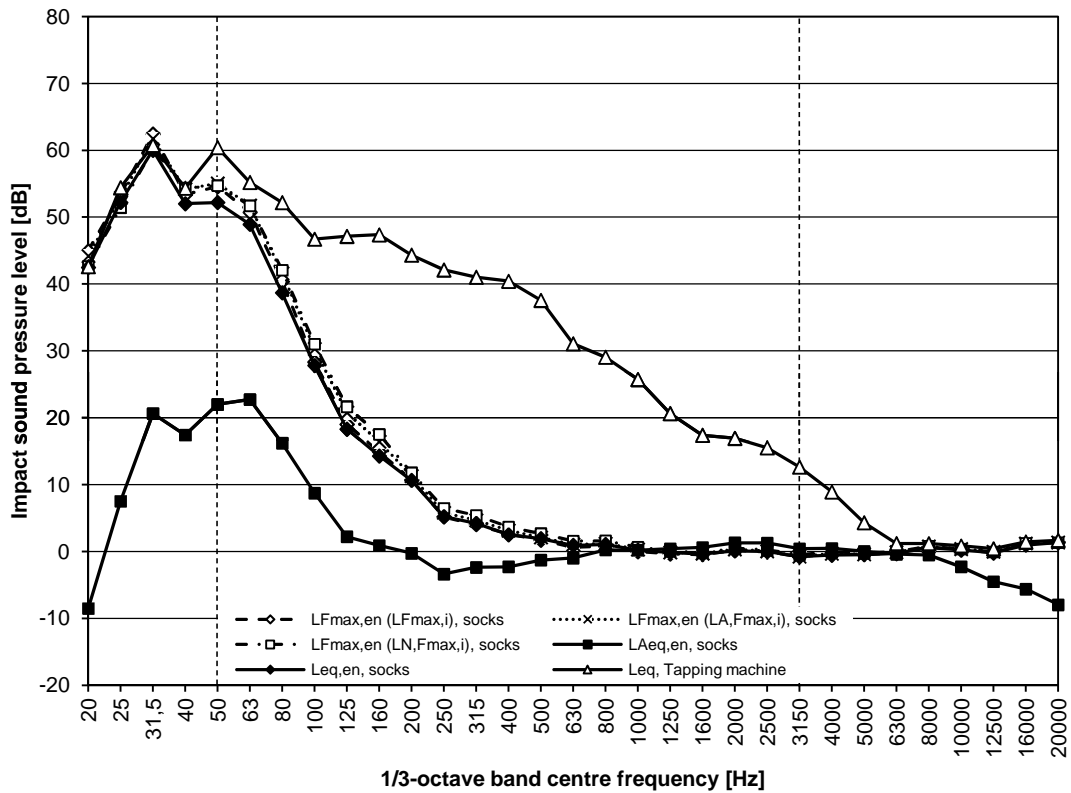


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{impact}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,impact}$	50,8 dB

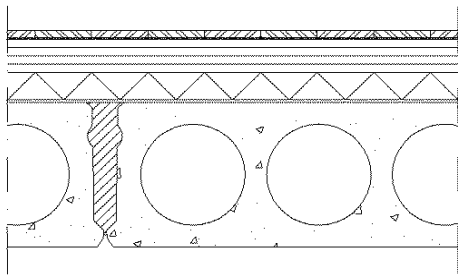
**Indices: walking**  $L_{eq} = 62,0$  dB  $L_{A,eq} = 27,7$  dB  
 $N = 0,177$  sone  $L_N = 21,8$  phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax} = 64,2$ dB	$L_{Fmax} = 63,9$ dB	$L_{Fmax} = 62,9$ dB
$L_{A,Fmax} = 29,7$ dB	$L_{A,Fmax} = 30,2$ dB	$L_{A,Fmax} = 30,0$ dB
$N = 0,222$ sone	$N = 0,253$ sone	$N = 0,262$ sone
$L_N = 23,8$ phon	$L_N = 25,0$ phon	$L_N = 25,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

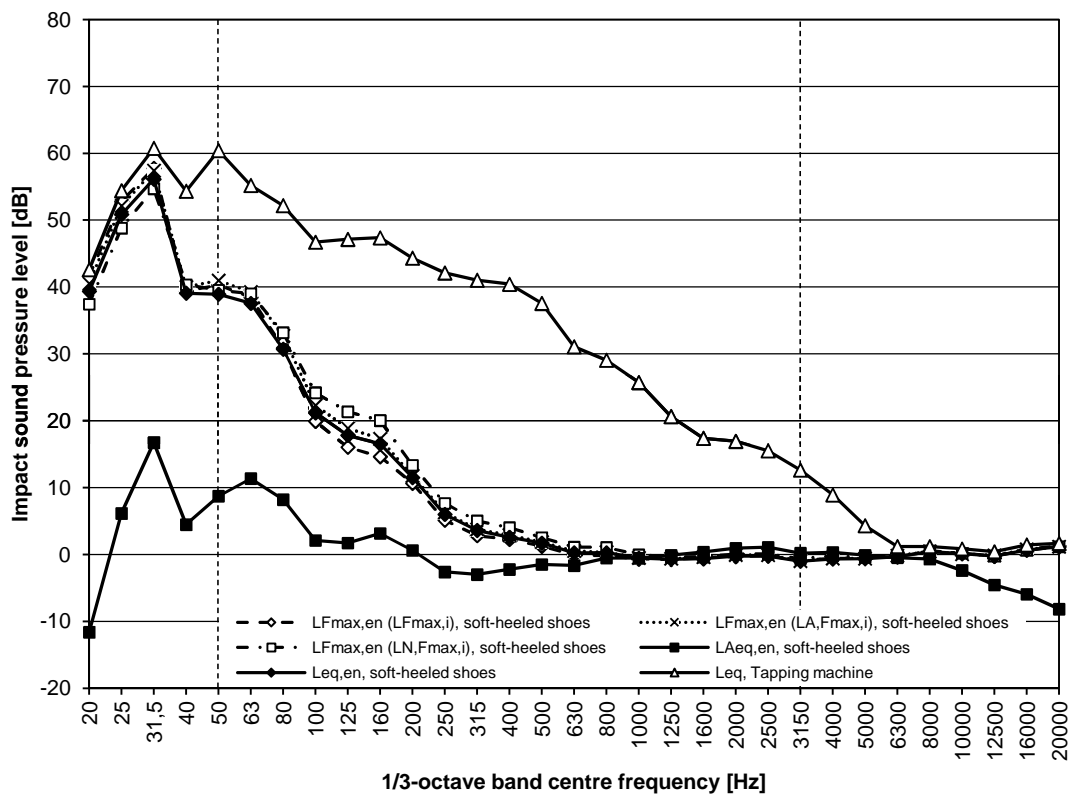
**Indices: tapping machine**  $L_{eq} = 65,6$  dB  $L_{A,eq} = 43,7$  dB  
 $N = 4,56$  sone  $L_N = 61,4$  phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{\text{impact}}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 57,5 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 20,2 dB
$N$	= 0,057 sone	$L_N$	= 13,7 phon

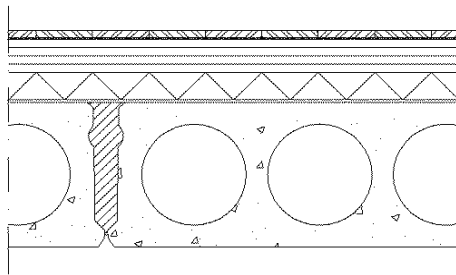
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 59,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 58,8$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 56,1$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,2$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,4$ dB
$N = 0,057$ sone	$N = 0,070$ sone	$N = 0,089$ sone
$L_N = 13,7$ phon	$L_N = 15,0$ phon	$L_N = 16,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices:  
tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 65,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon

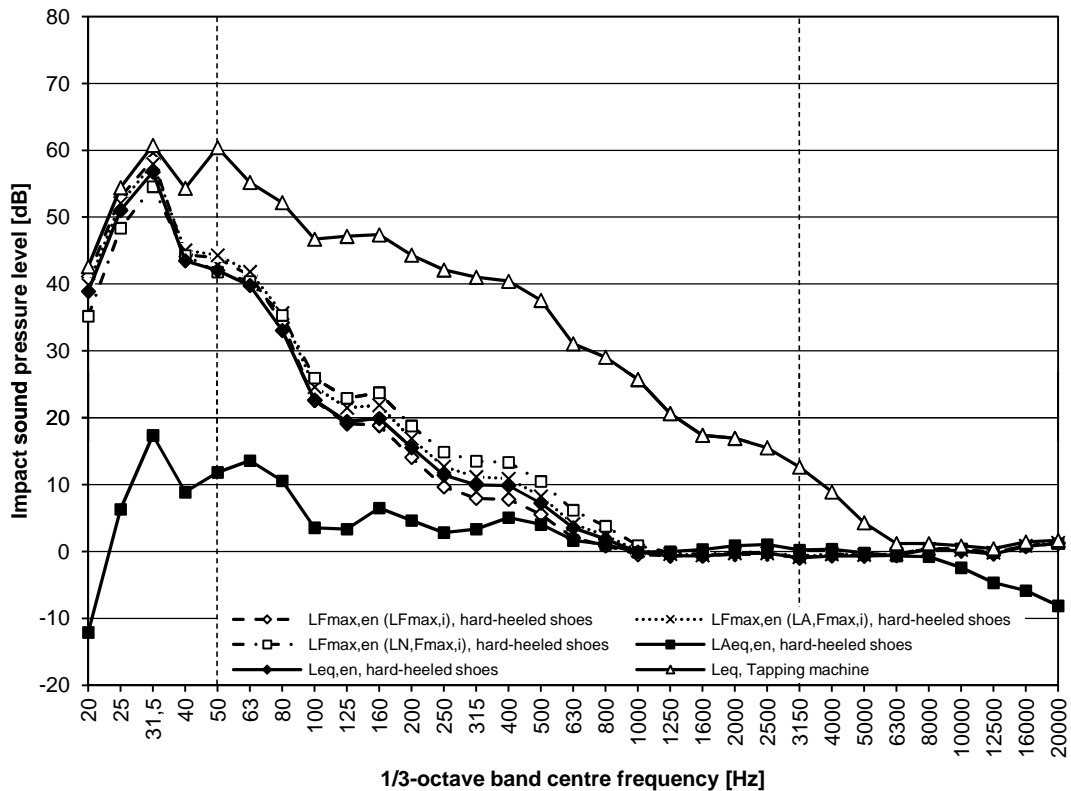


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 1 (male, age 22 years, mass 86 kg, height 188 cm, shoe size 46), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{impact}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT, impact}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq} = 58,2$  dB      $L_{A,eq} = 21,8$  dB  
 $N = 0,118$  sone      $L_N = 18,6$  phon

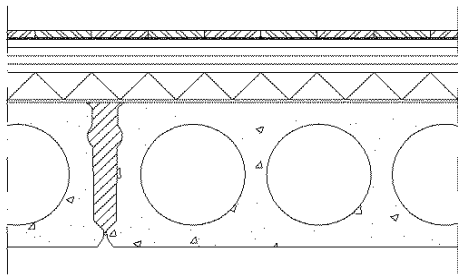
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i}$ (t)	$L_{A,Fmax,i}$ (t)	$L_{N,Fmax,i}$ (t)
$L_{Fmax} = 60,1$ dB	$L_{Fmax} = 59,4$ dB	$L_{Fmax} = 56,2$ dB
$L_{A,Fmax} = 23,0$ dB	$L_{A,Fmax} = 23,4$ dB	$L_{A,Fmax} = 22,3$ dB
$N = 0,101$ sone	$N = 0,168$ sone	$N = 0,219$ sone
$L_N = 17,5$ phon	$L_N = 21,4$ phon	$L_N = 23,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

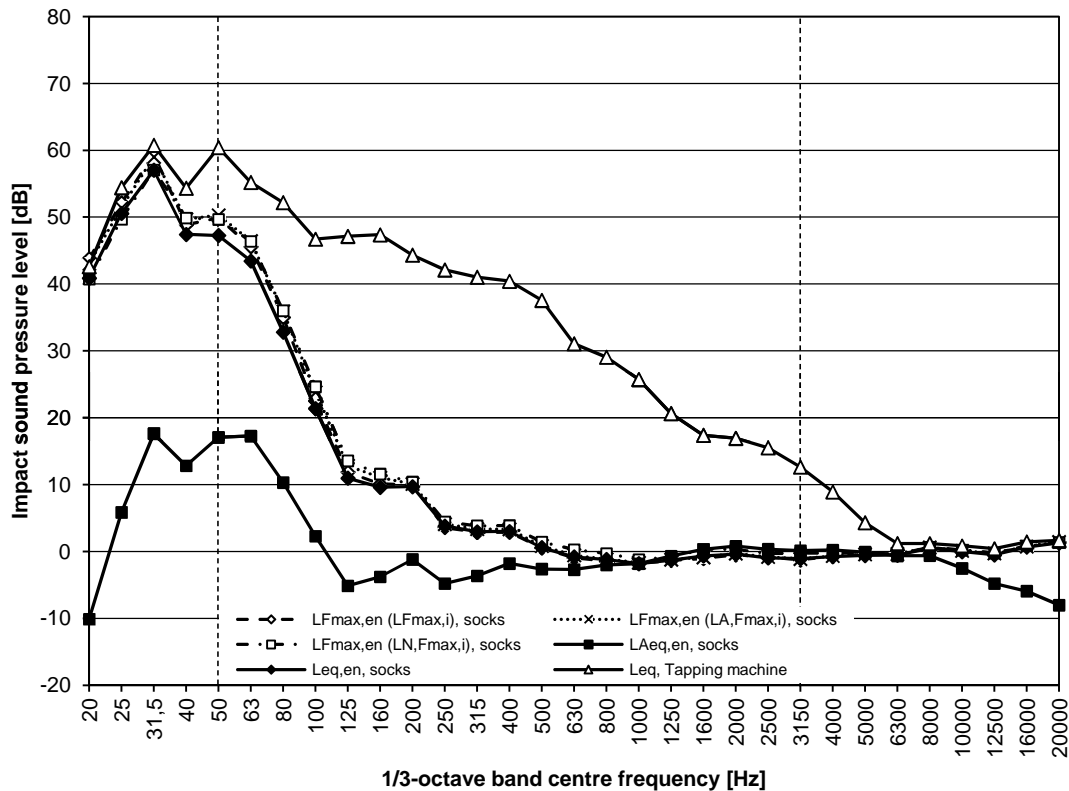
$L_{eq} = 65,6$  dB      $L_{A,eq} = 43,7$  dB  
 $N = 4,56$  sone      $L_N = 61,4$  phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with socks

**Duration of the measurement:** 40 s

**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{\text{impact}}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 58,8 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 23,3 dB
$N$	= 0,083 sone	$L_N$	= 16,1 phon

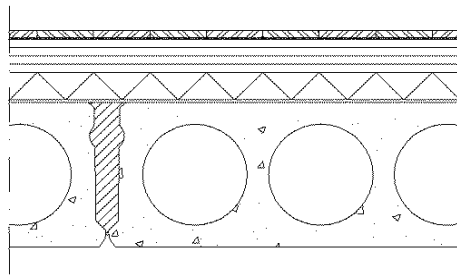
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 61,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 60,8$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 59,3$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,8$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 25,2$ dB
$N = 0,108$ sone	$N = 0,122$ sone	$N = 0,130$ sone
$L_N = 18,0$ phon	$L_N = 18,8$ phon	$L_N = 19,4$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

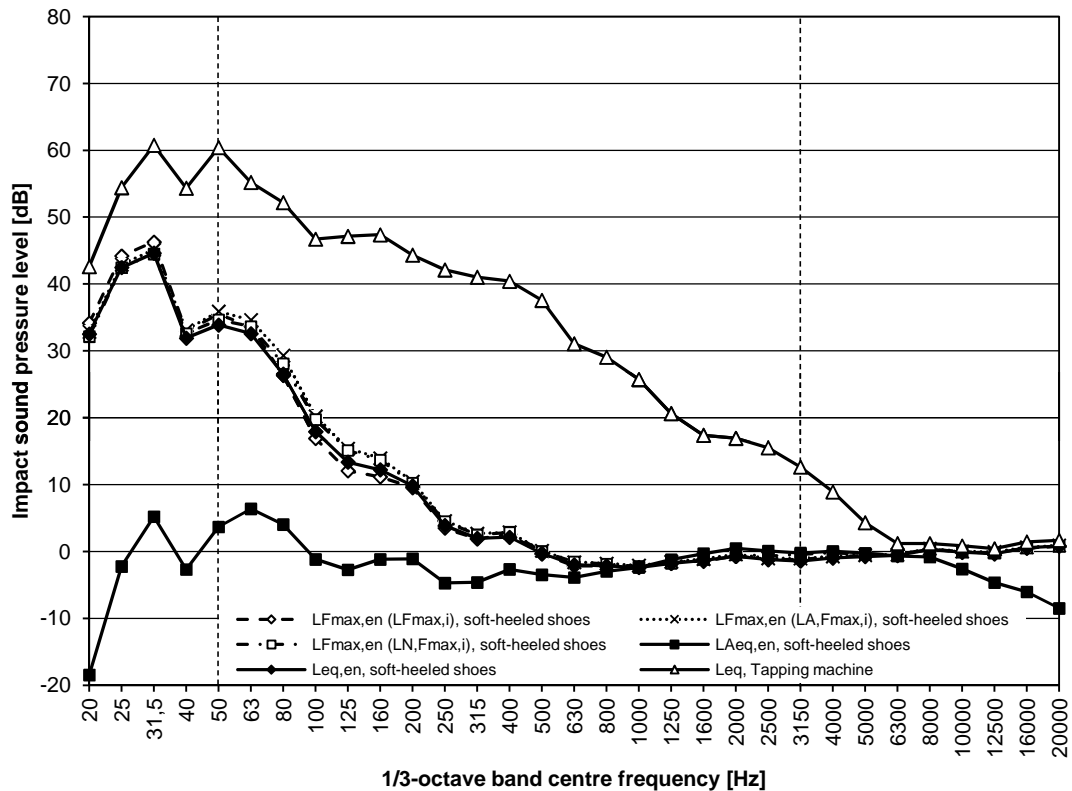
$L_{\text{eq}}$	= 65,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon



**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with soft-heeled shoes  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{impact}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,impact}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 47,4 dB	$L_{A,eq}$	= 14,7 dB
$N$	= 0,032 sone	$L_N$	= 10,5 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

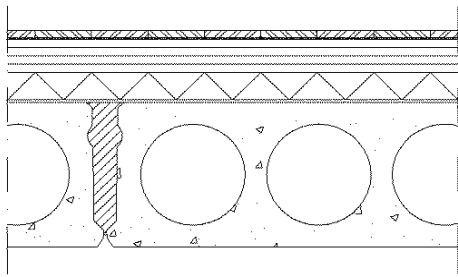
$L_{Fmax,i}(t)$	$L_{A,Fmax,i}(t)$	$L_{N,Fmax,i}(t)$
$L_{Fmax}$ = 49,0 dB	$L_{Fmax}$ = 48,1 dB	$L_{Fmax}$ = 47,4 dB
$L_{A,Fmax}$ = 15,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 15,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 15,4 dB
$N$ = 0,034 sone	$N$ = 0,041 sone	$N$ = 0,045 sone
$L_N$ = 10,9 phon	$L_N$ = 11,8 phon	$L_N$ = 12,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 65,6 dB	$L_{A,eq}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon



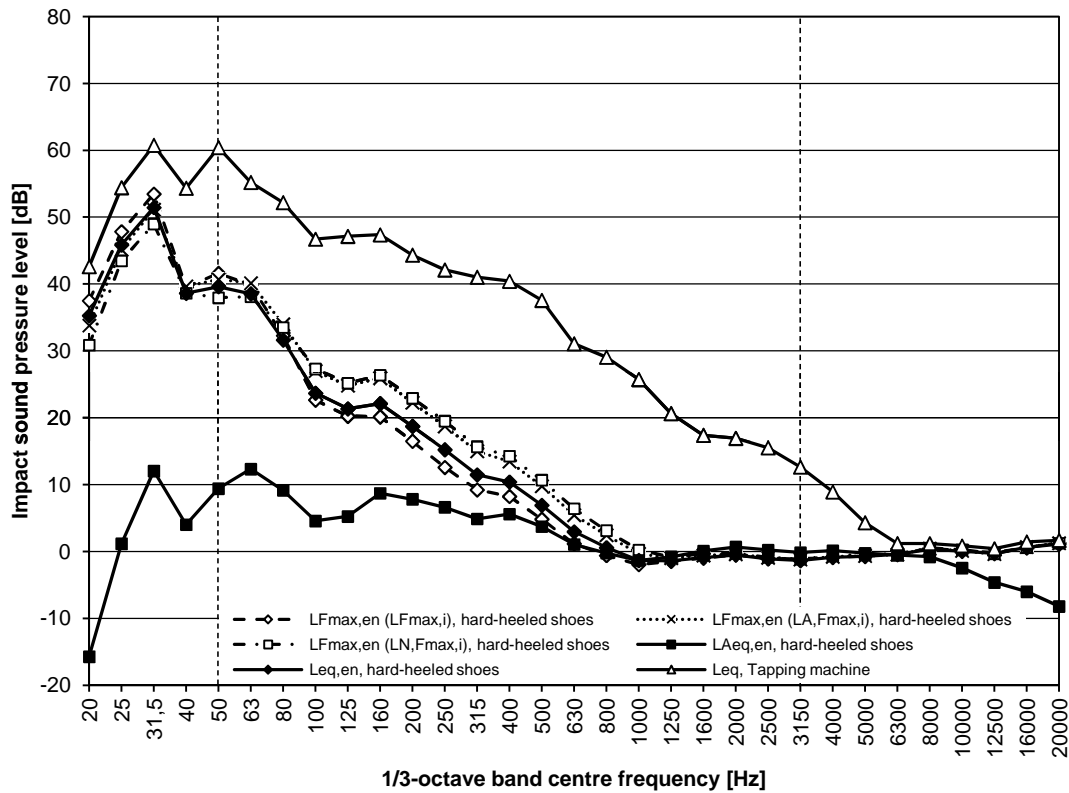


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 2 (male, age 40 years, mass 125 kg, height 191 cm, shoe size 44), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{\text{impact}}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 53,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 20,0 dB
$N$	= 0,138 sone	$L_N$	= 19,8 phon

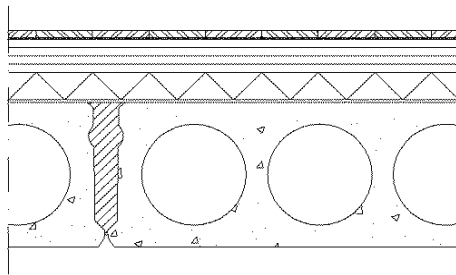
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 55,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 53,0$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 51,0$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 20,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 22,0$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 21,7$ dB
$N = 0,100$ sone	$N = 0,245$ sone	$N = 0,266$ sone
$L_N = 17,4$ phon	$L_N = 24,6$ phon	$L_N = 25,4$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

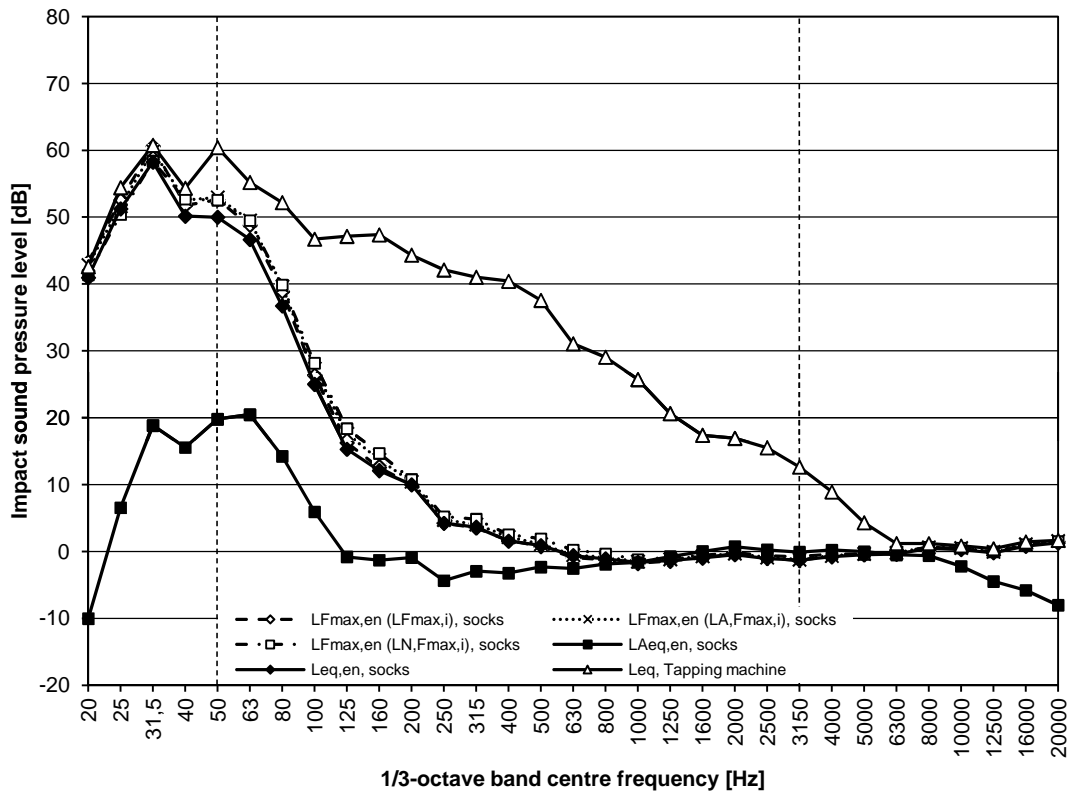
$L_{\text{eq}}$	= 65,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon



**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with socks  
**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{impact}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,impact}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 60,3 dB	$L_{A,eq}$	= 25,7 dB
$N$	= 0,123 sone	$L_N$	= 18,9 phon

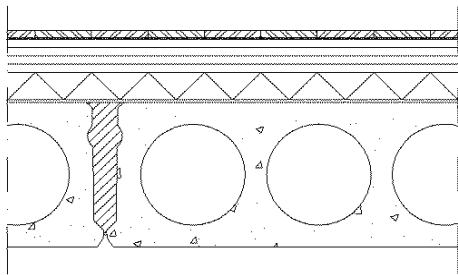
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 62,5 dB	$L_{A,Fmax}$ = 62,1 dB	$L_{Fmax}$ = 61,1 dB
$L_{A,Fmax}$ = 27,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 28,2 dB	$L_{A,Fmax}$ = 27,9 dB
$N$ = 0,165 sone	$N$ = 0,182 sone	$N$ = 0,188 sone
$L_N$ = 21,2 phon	$L_N$ = 22,1 phon	$L_N$ = 22,3 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 65,6 dB	$L_{A,eq}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon

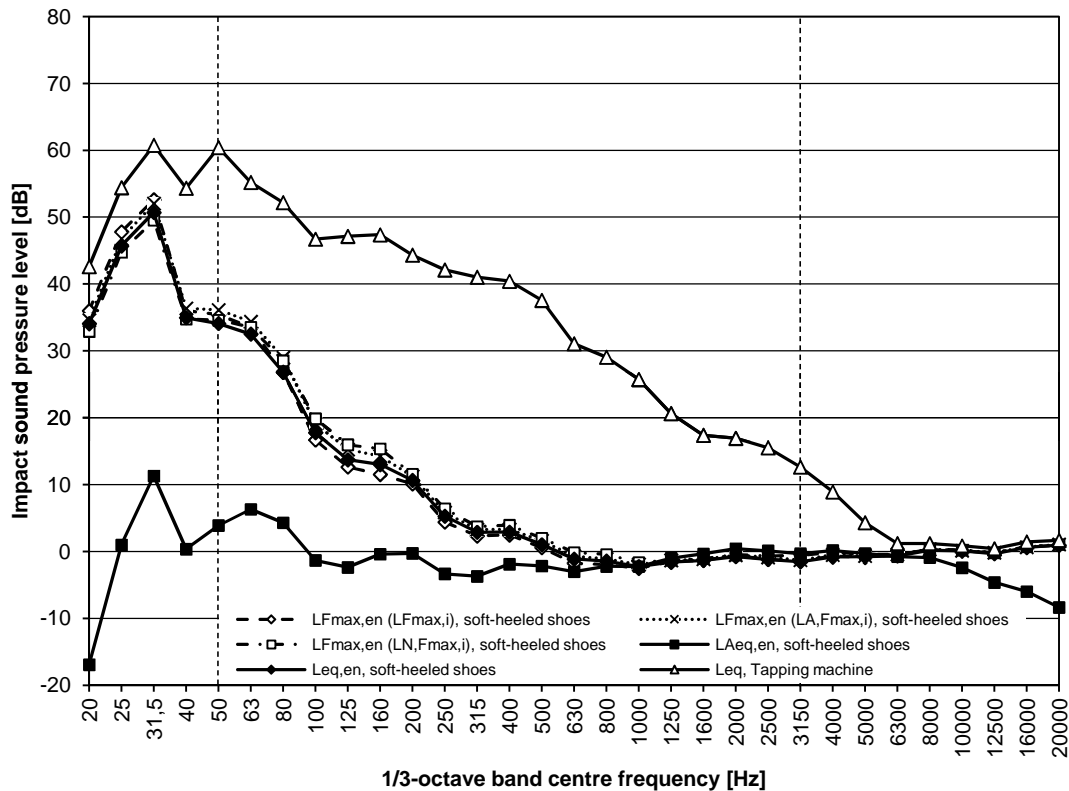


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with soft-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{\text{impact}}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{\text{eq}}$	= 52,2 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 16,2 dB
$N$	= 0,034 sone	$L_N$	= 10,7 phon

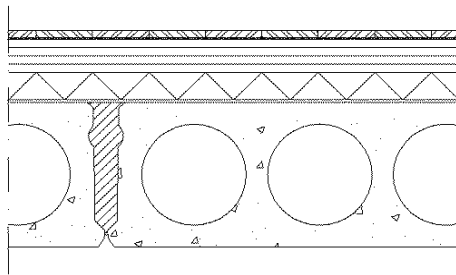
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 54,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 53,5$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 51,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 17,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 16,5$ dB
$N = 0,034$ sone	$N = 0,041$ sone	$N = 0,048$ sone
$L_N = 10,8$ phon	$L_N = 11,9$ phon	$L_N = 12,8$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 65,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon

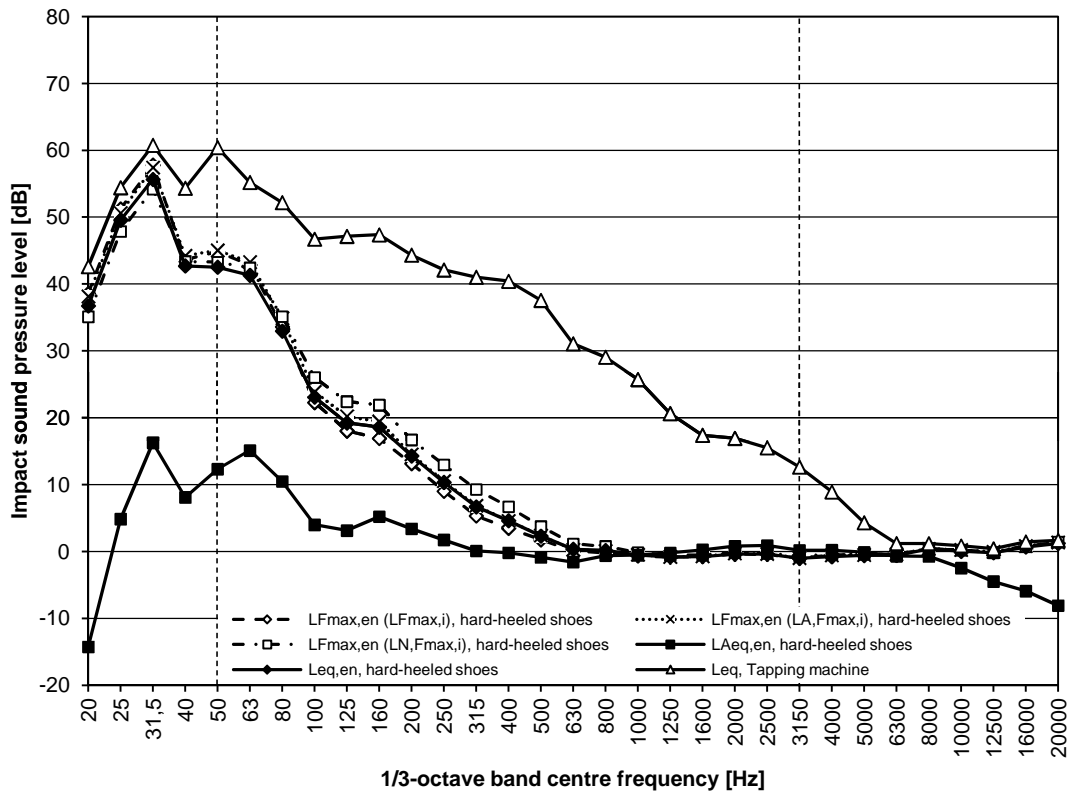


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Walker 3 (male, age 23 years, mass 91 kg, height 183 cm, shoe size 42), walking with hard-heeled shoes

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{impact}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,impact}$	50,8 dB

**Indices: walking**

$L_{eq}$	= 57,1 dB	$L_{A,eq}$	= 21,5 dB
$N$	= 0,085 sone	$L_N$	= 16,3 phon

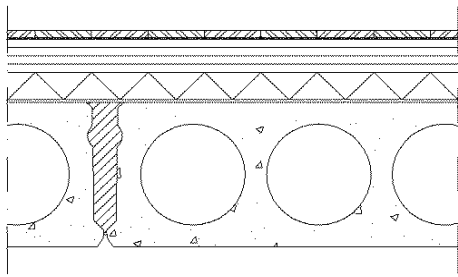
Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all steps during 40 s walk chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{Fmax,i} (t)$	$L_{A,Fmax,i} (t)$	$L_{N,Fmax,i} (t)$
$L_{Fmax}$ = 59,1 dB	$L_{Fmax}$ = 58,8 dB	$L_{Fmax}$ = 55,9 dB
$L_{A,Fmax}$ = 22,9 dB	$L_{A,Fmax}$ = 23,1 dB	$L_{A,Fmax}$ = 22,1 dB
$N$ = 0,089 sone	$N$ = 0,108 sone	$N$ = 0,134 sone
$L_N$ = 16,6 phon	$L_N$ = 18,0 phon	$L_N$ = 19,6 phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all steps

**Indices: tapping machine**

$L_{eq}$	= 65,6 dB	$L_{A,eq}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon

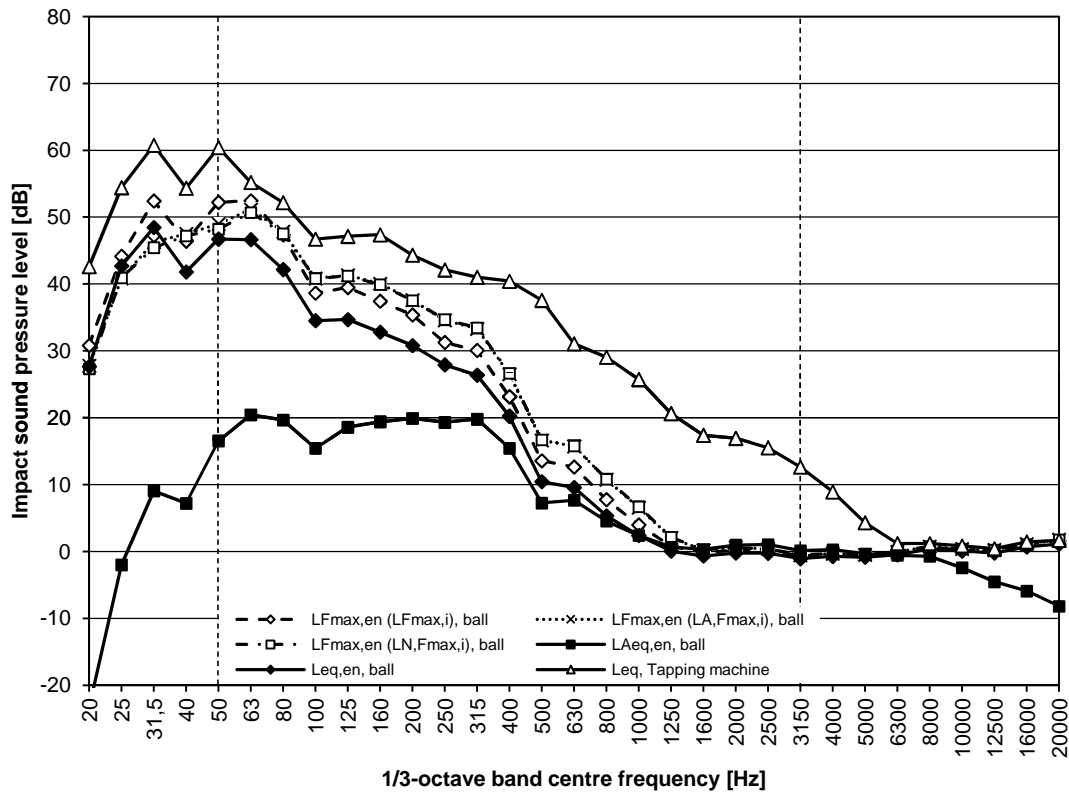


**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm ( $380 \text{ kg/m}^2$ )

**Impact sound excitation:** Superball bouncing (mass 45 g)

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{\text{impact}}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	50,8 dB

**Indices:**

**ball bouncing**

$L_{\text{eq}}$	= 53,5 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 29,0 dB
$N$	= 0,738 sone	$L_N$	= 36,3 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all bounces during 40 s ball bouncing on the basis of the following criteria \*):

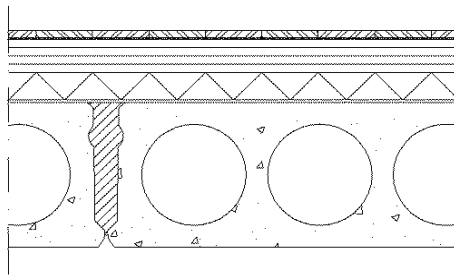
$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 58,3$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 56,3$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 55,9$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 33,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 35,1$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 35,0$ dB
$N = 1,180$ sone	$N = 1,490$ sone	$N = 1,490$ sone
$L_N = 42,2$ phon	$L_N = 45,3$ phon	$L_N = 45,3$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all bounces

**Indices:**

**tapping machine**

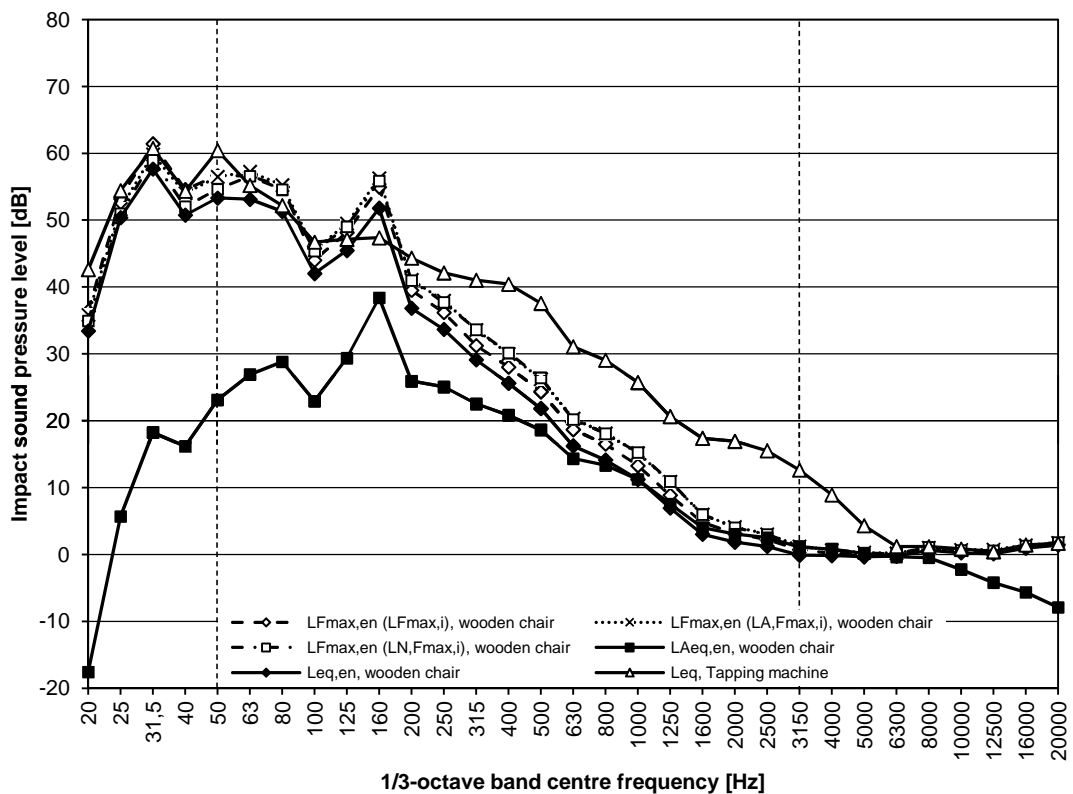
$L_{\text{eq}}$	= 65,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon

**Structure:**

- multilayer parquet 14 mm (Karelia Upofloor)
- underlayment (Tuplex),  $\Delta L_w = 20$  dB
- 4 x plasterboard 15 mm (Gyproc GL 15)
- mineral wool 50 mm (Isover FLO)
- levelling compound
- hollow core slab 265 mm (380 kg/m<sup>2</sup>)

**Impact sound excitation:** Wooden chair moving

**Duration of the measurement:** 40 s



**Single-number quantities  
of the structure**

$L'_{n,w}$	41,3 dB
$L'_{n,w} + C_1$	42,1 dB
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	47,6 dB
$R_{\text{impact}}$	56,4 dB
$L'_{nT,w}$	36,9 dB
$L'_{nT,w} + C_1$	37,6 dB
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	53,2 dB
$D_{nT,\text{impact}}$	50,8 dB

**Indices:****chair moving**

$L_{\text{eq}}$	= 62,0 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 40,3 dB
$N$	= 2,010 sone	$L_N$	= 49,4 phon

Single-number quantities based on the maximum sound spectra of all stages during 40 s chair moving chosen on the basis of the following criteria \*):

$L_{F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{A,F_{\text{max},i}}(t)$	$L_{N,F_{\text{max},i}}(t)$
$L_{F_{\text{max}}} = 65,5$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 65,1$ dB	$L_{F_{\text{max}}} = 64,2$ dB
$L_{A,F_{\text{max}}} = 43,4$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 44,6$ dB	$L_{A,F_{\text{max}}} = 44,2$ dB
$N = 2,59$ sone	$N = 2,94$ sone	$N = 2,88$ sone
$L_N = 53,0$ phon	$L_N = 54,9$ phon	$L_N = 54,6$ phon

\*) values are based on energetic averages of maximum sound spectra of all stages of chair moving

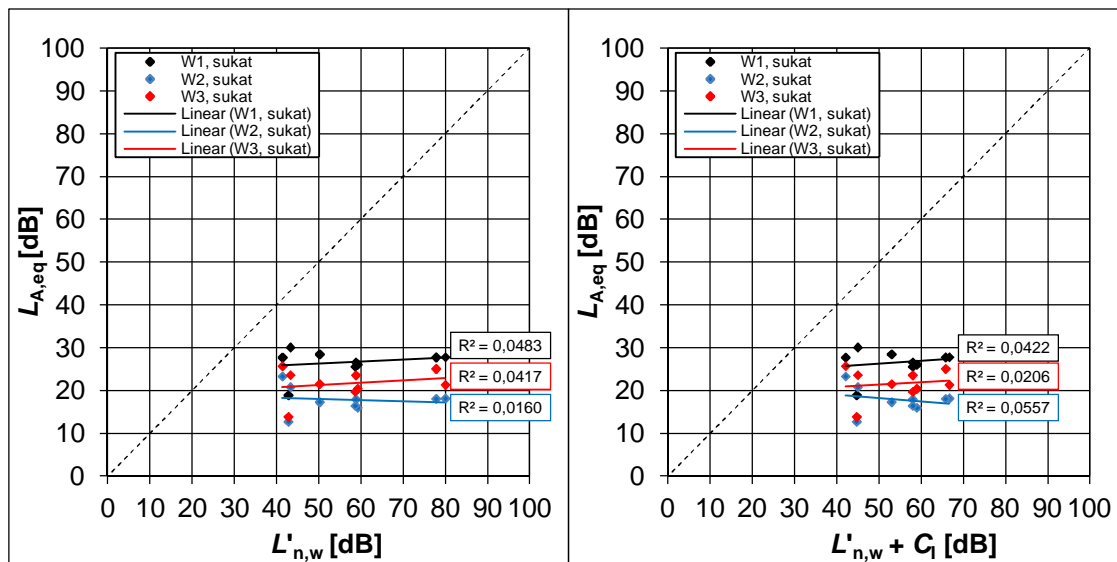
**Indices:****tapping machine**

$L_{\text{eq}}$	= 65,6 dB	$L_{A,\text{eq}}$	= 43,7 dB
$N$	= 4,56 sone	$L_N$	= 61,4 phon



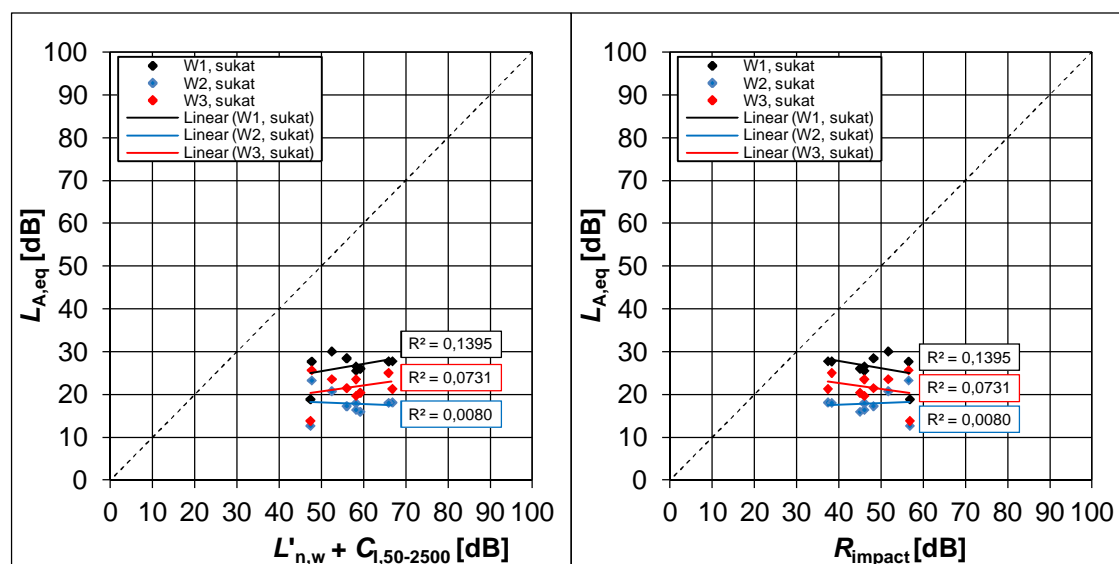
## Liite 11: Mittalukujen korrelaatio

Kuvassa L11.1 on esitetty sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_I$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



**Kuva L11.1.** Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_I$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

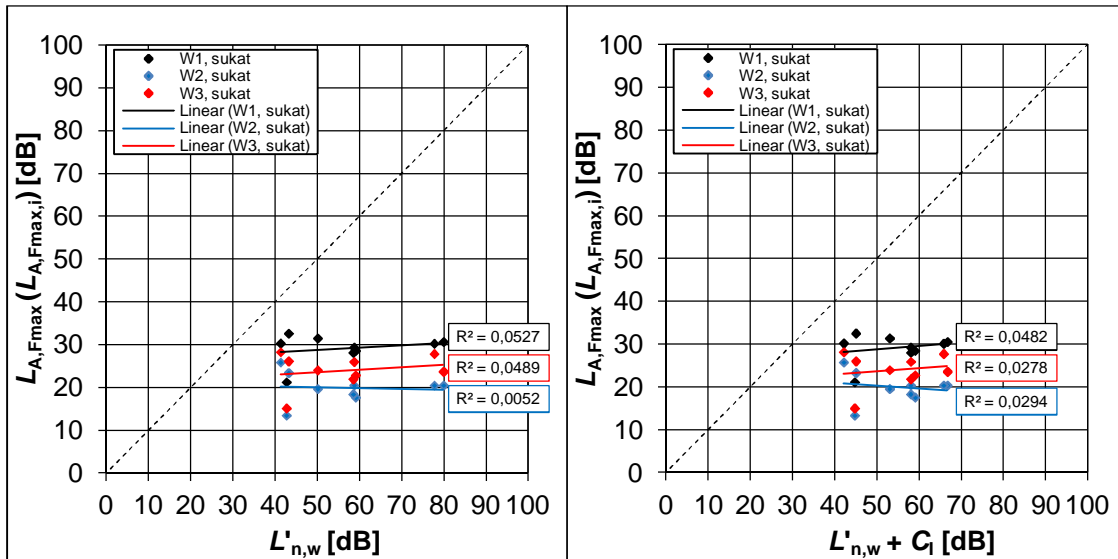
Kuvassa L11.2 on esitetty sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



**Kuva L11.2.** Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

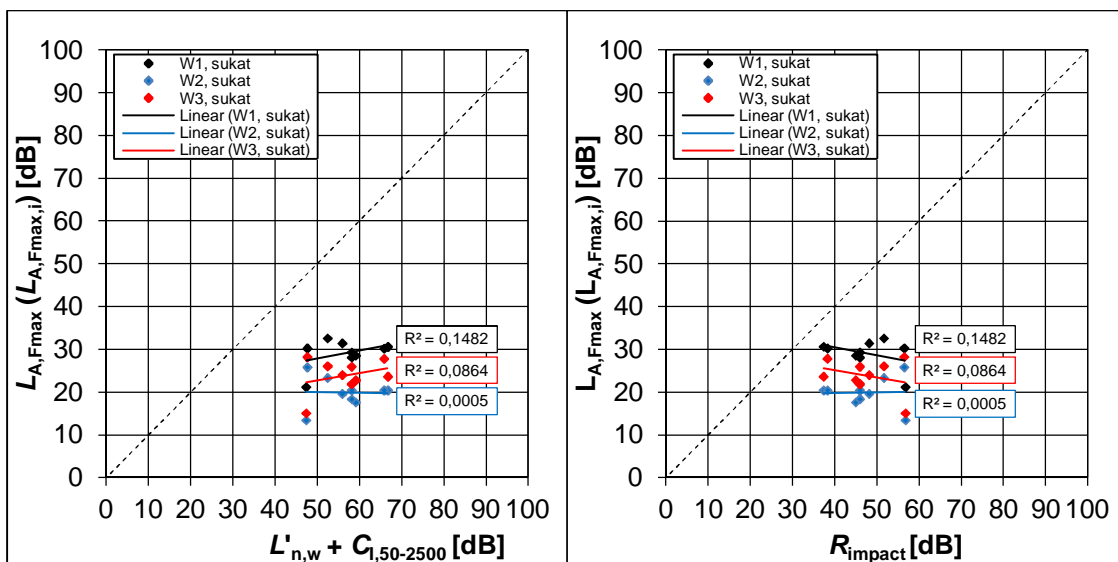


Kuvassa L11.3 on esitetty sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



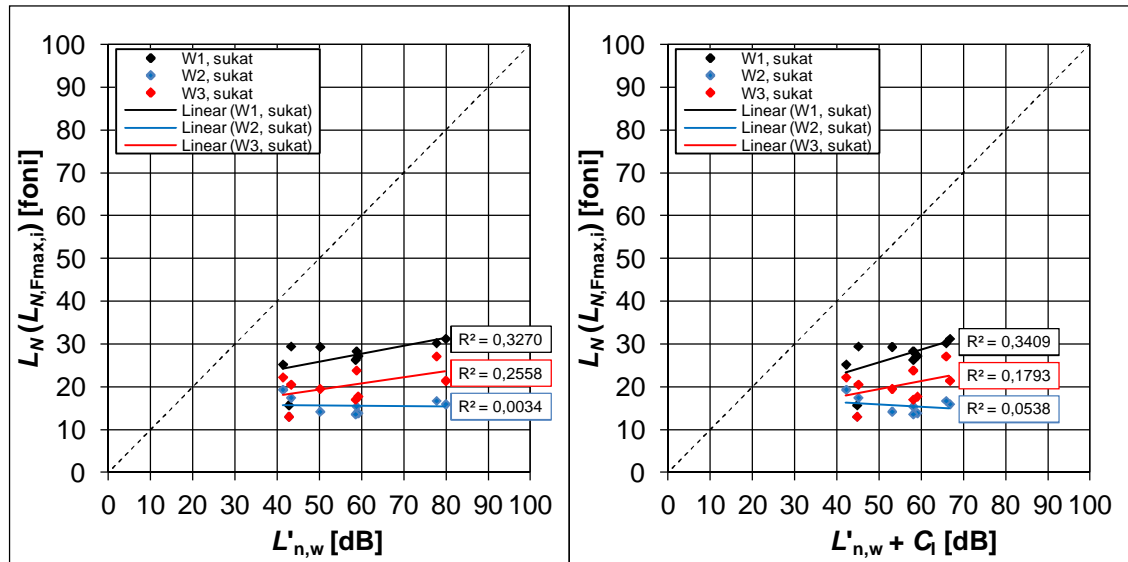
**Kuva L11.3.** Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.4 on esitetty sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



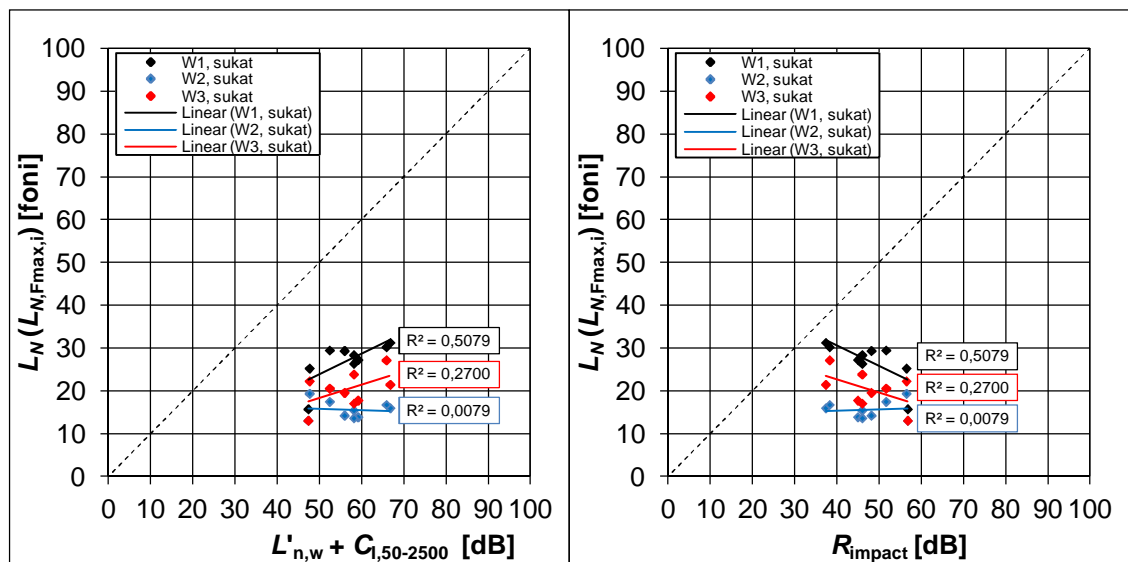
**Kuva L11.4.** Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.5 on esitetty sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



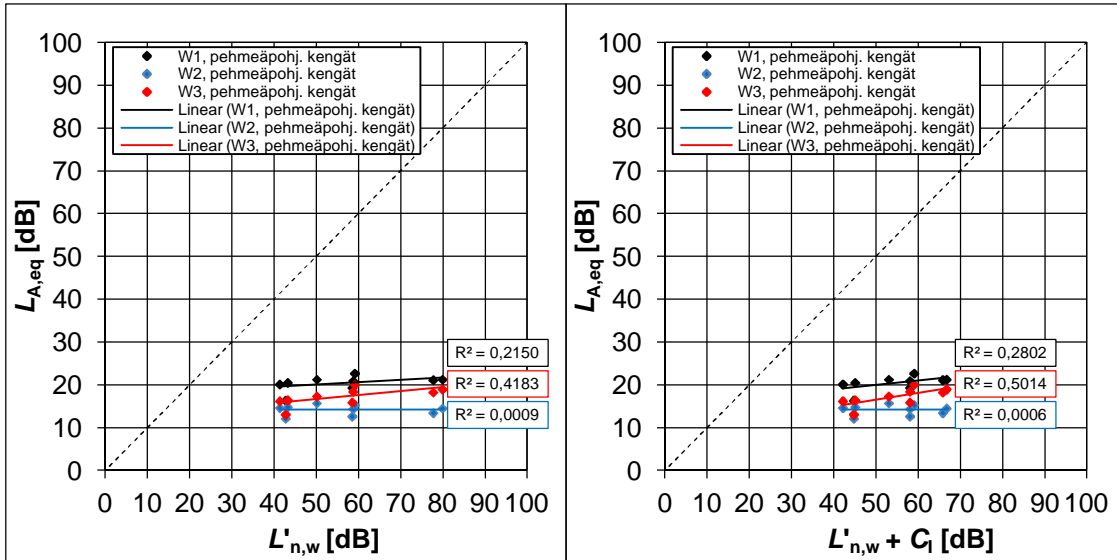
**Kuva L11.5.** Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.6 on esitetty sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



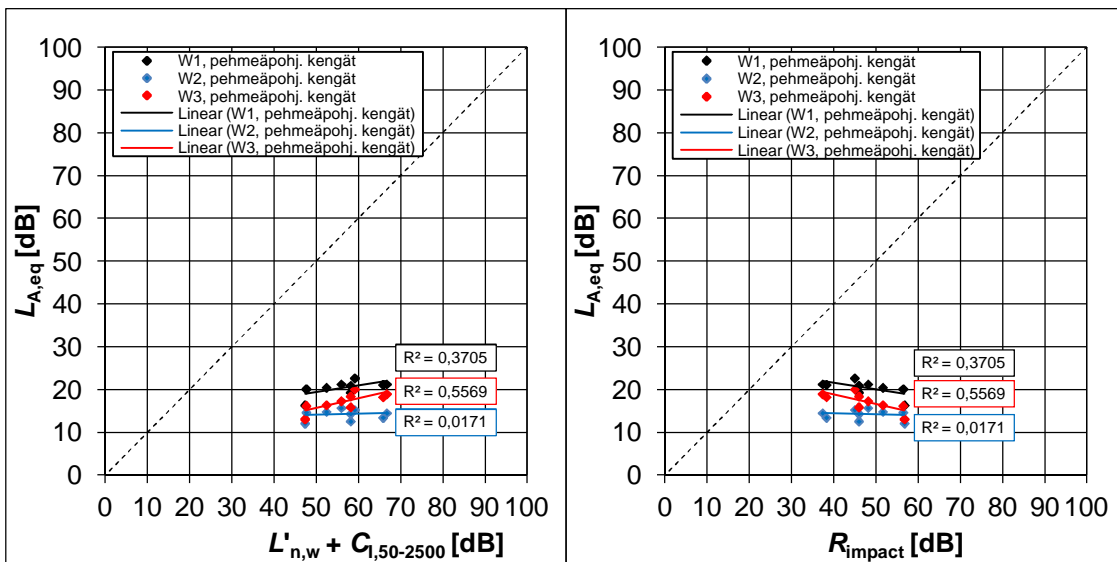
**Kuva L11.6.** Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.7 on esitetty pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



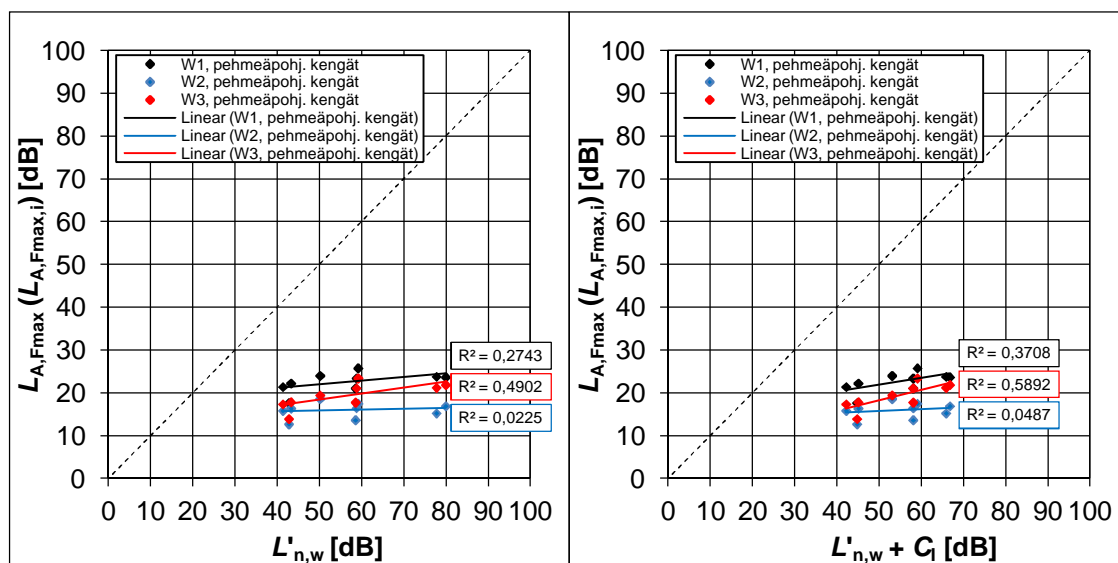
**Kuva L11.7.** Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.8 on esitetty pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



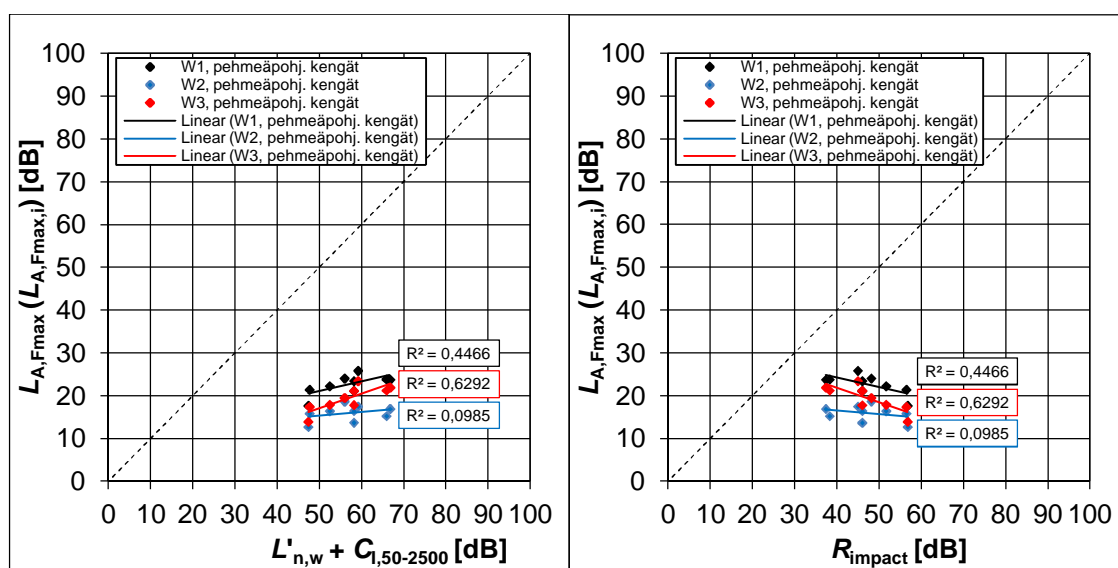
**Kuva L11.8.** Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.9 on esitetty pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



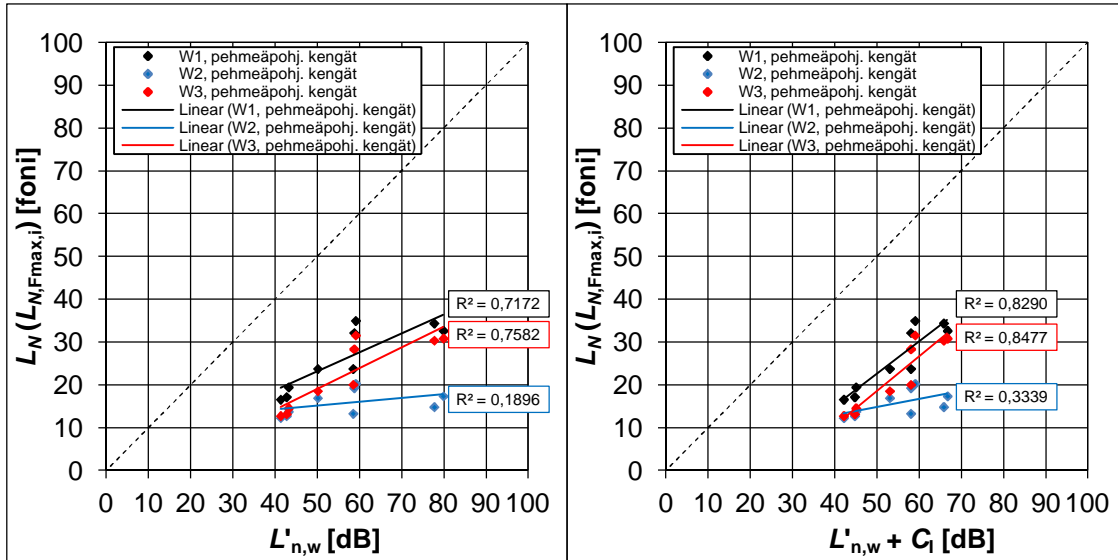
**Kuva L11.9.** Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.10 on esitetty pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



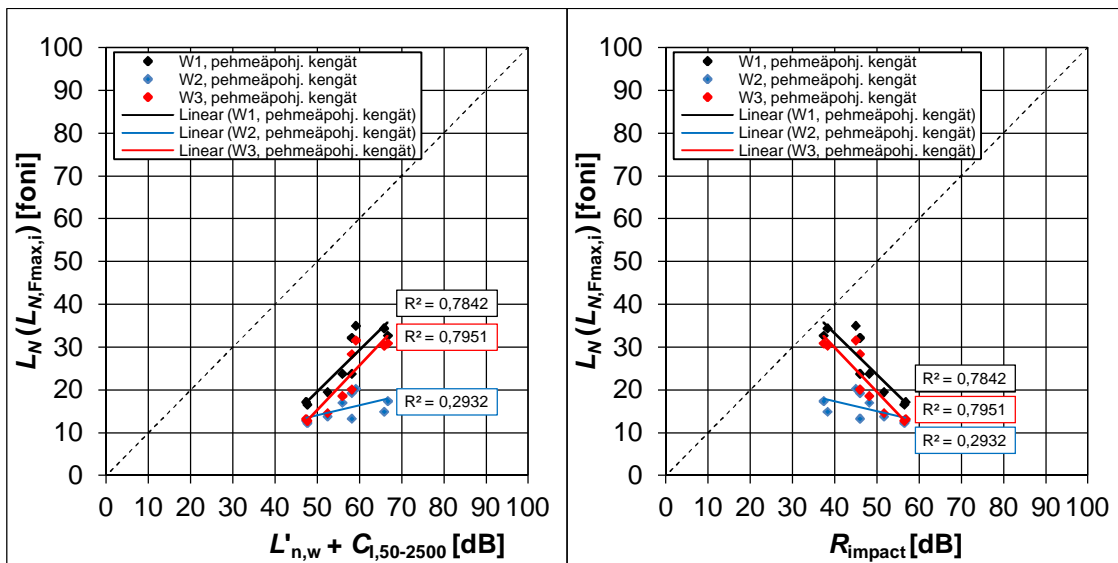
**Kuva L11.10.** Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.11 on esitetty pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N(L_{N,Fmax,i})$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



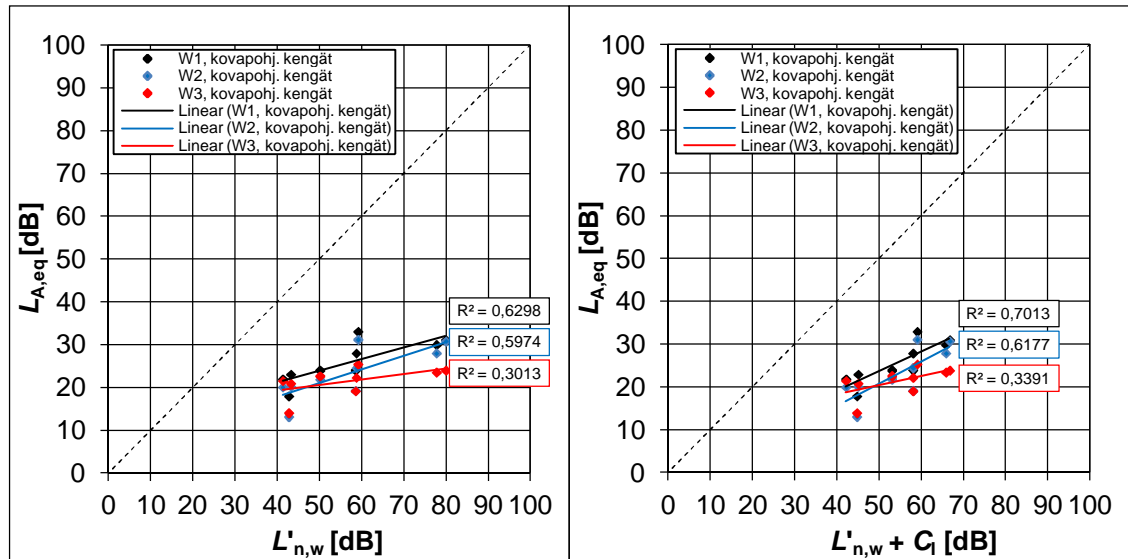
**Kuva L11.11.** Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N(L_{N,Fmax,i})$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.12 on esitetty pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N(L_{N,Fmax,i})$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



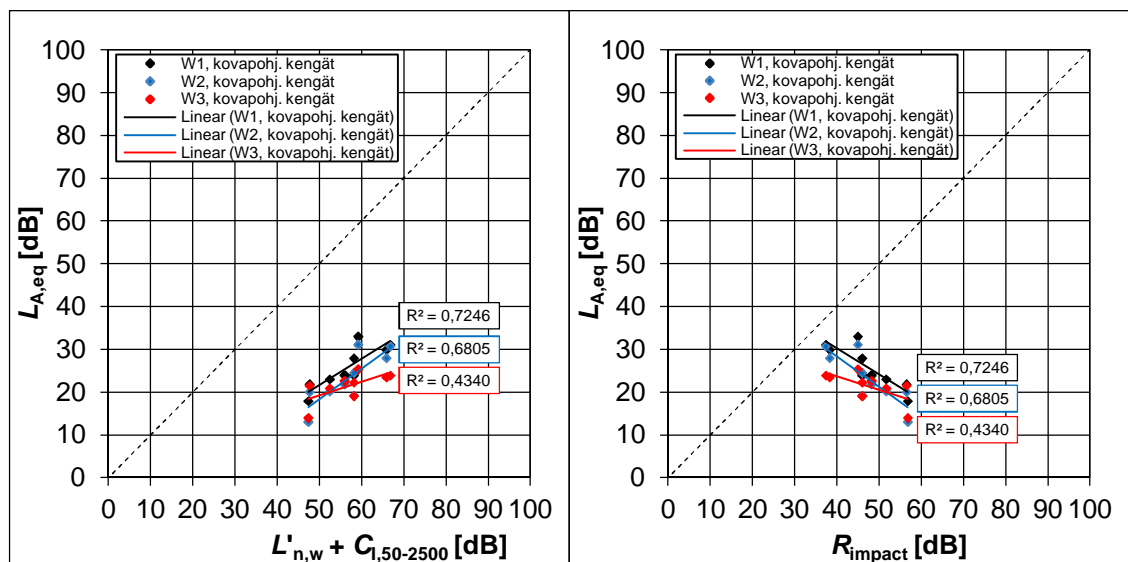
**Kuva L11.12.** Pehmeäpohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N(L_{N,Fmax,i})$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.13 on esitetty kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



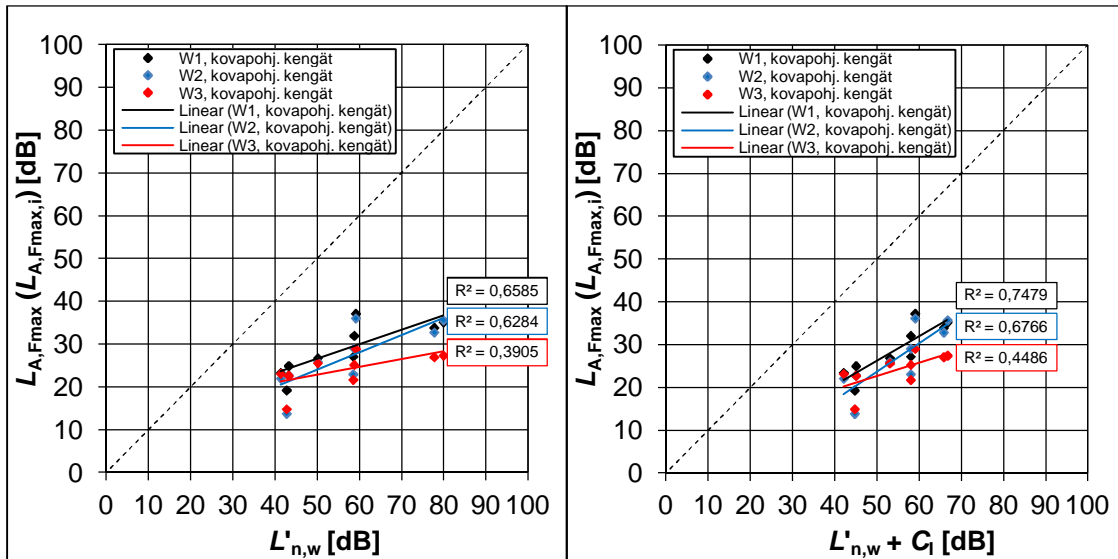
**Kuva L11.13.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.14 on esitetty kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



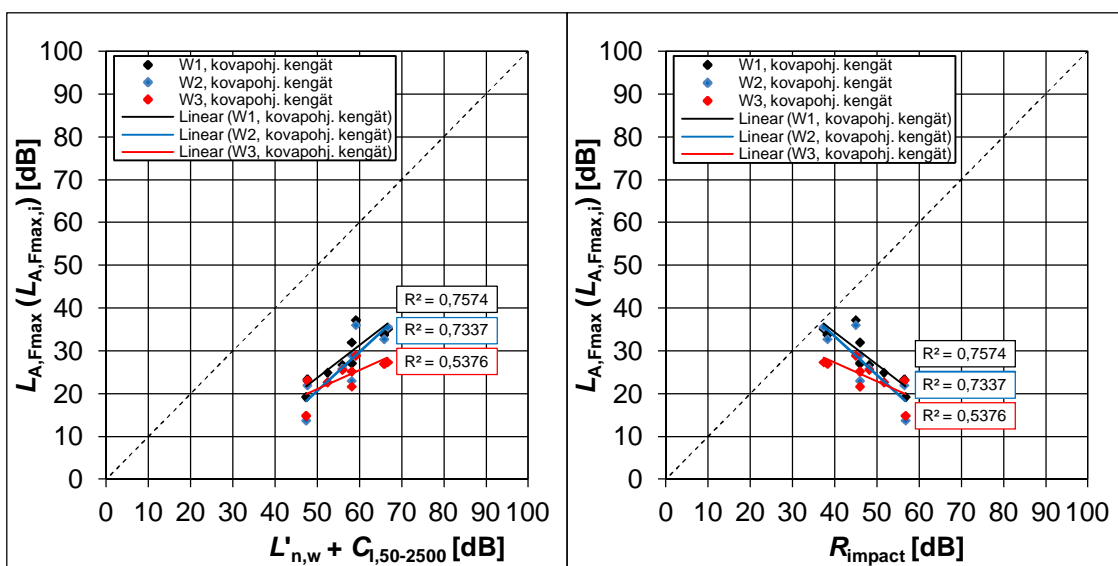
**Kuva L11.14.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.15 on esitetty kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



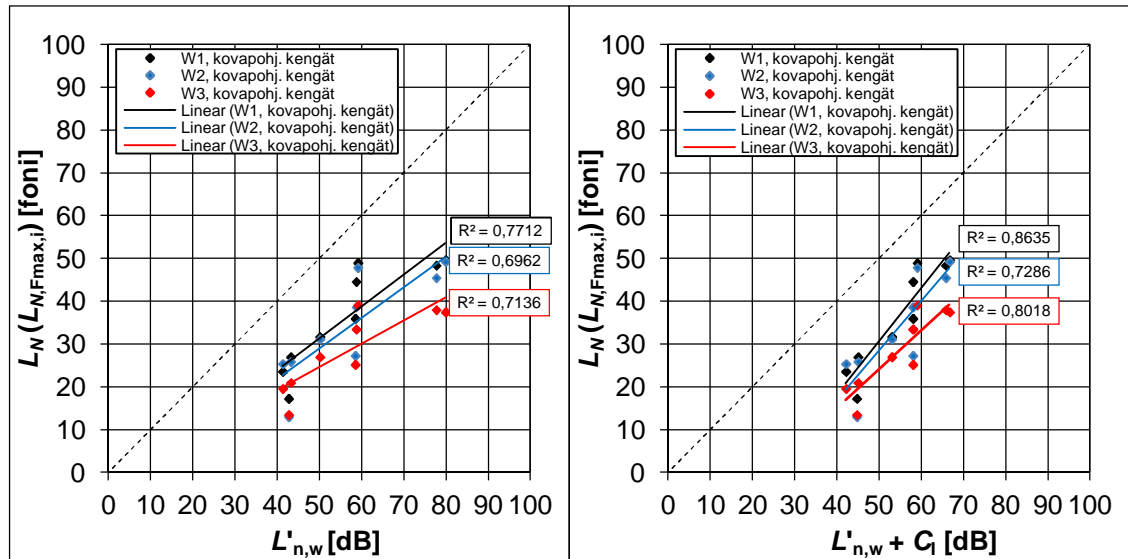
**Kuva L11.15.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.16 on esitetty kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



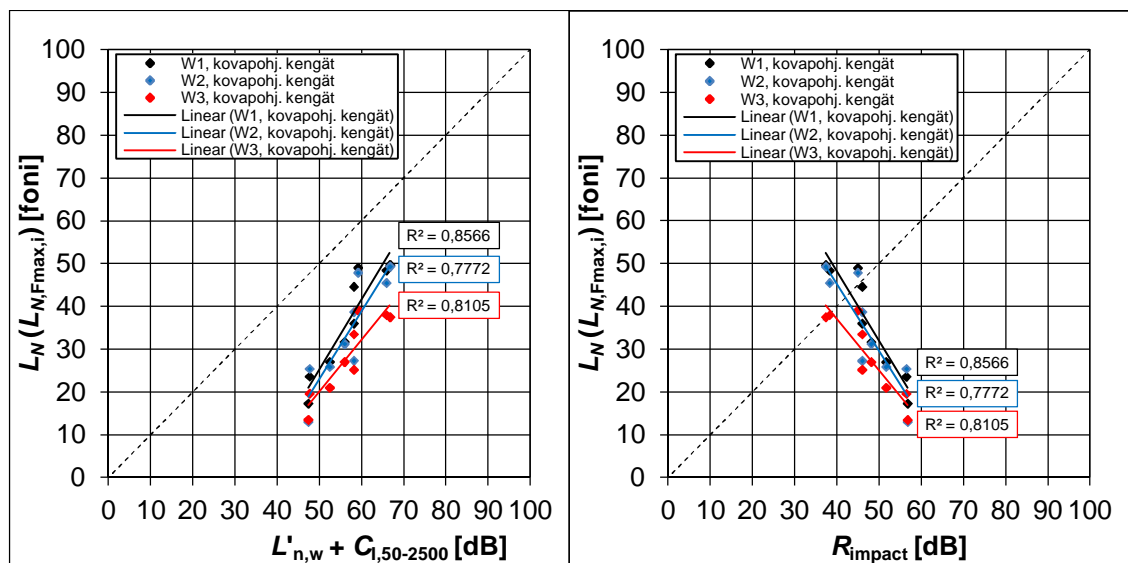
**Kuva L11.16.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

Kuvassa L11.17 on esitetty kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



**Kuva L11.17.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

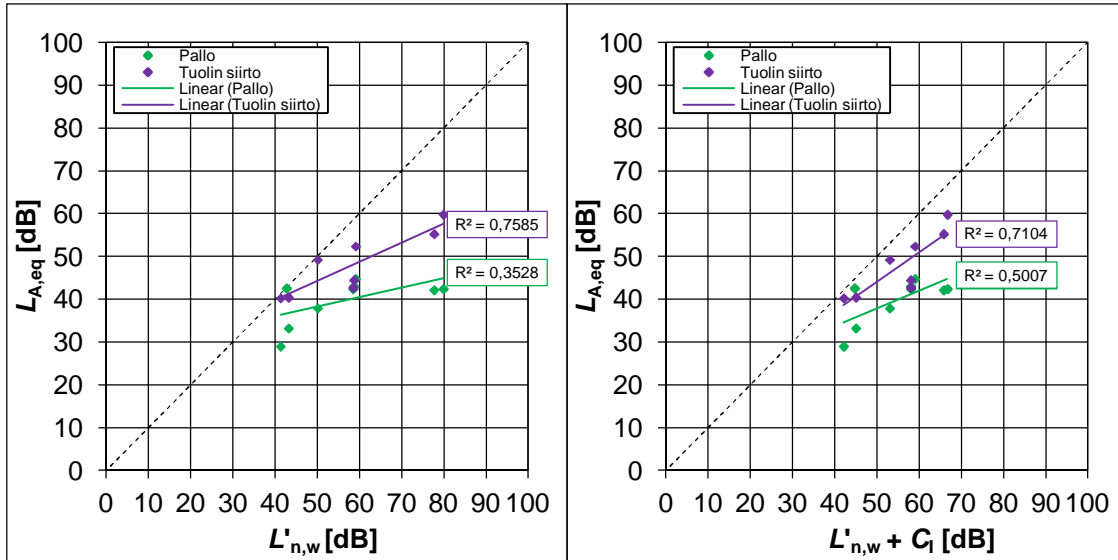
Kuvassa L11.18 on esitetty kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ) eri kävelijöillä.



**Kuva L11.18.** Kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio eri kävelijöillä.

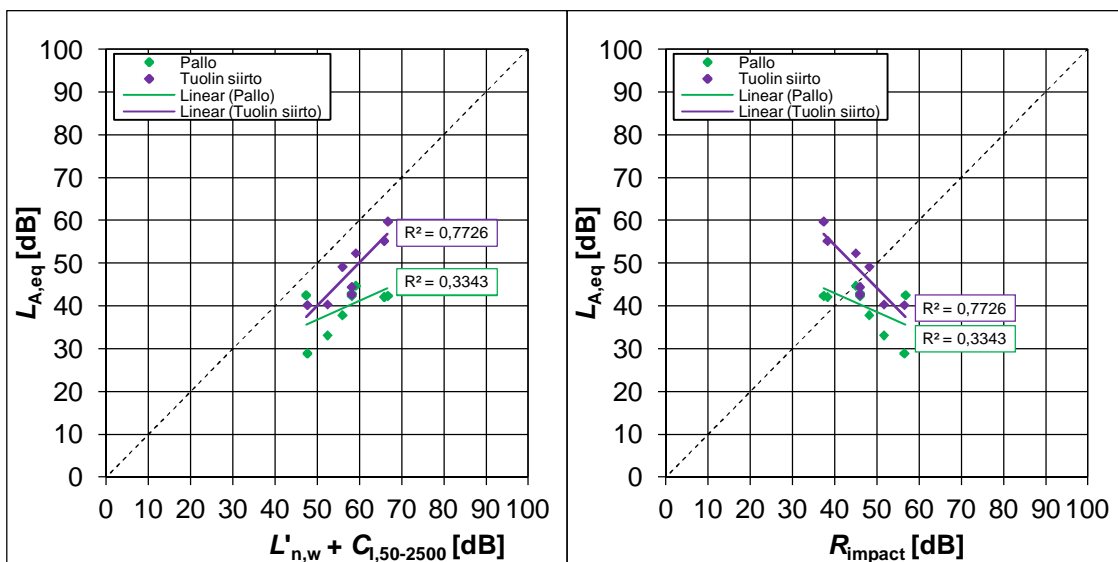


Kuvassa L11.19 on esitetty pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ).



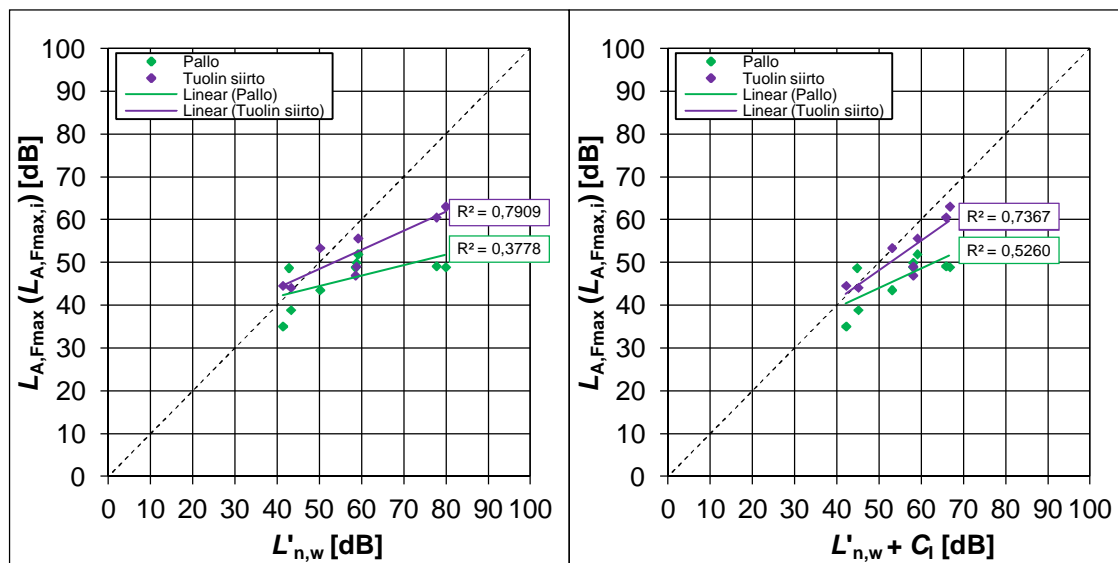
**Kuva L11.19.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio.

Kuvassa L11.20 on esitetty pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ).



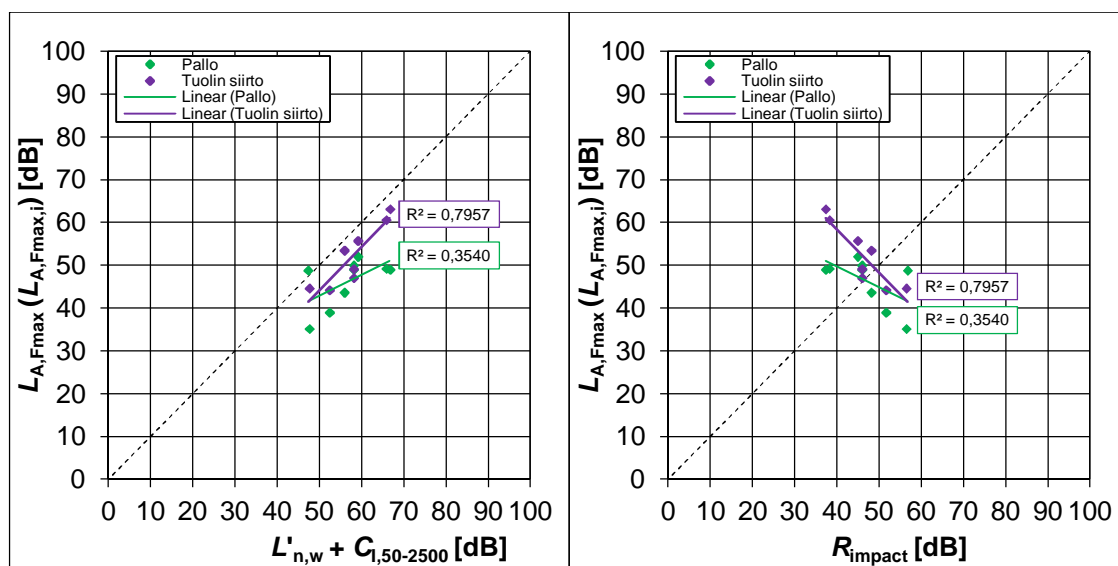
**Kuva L11.20.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,eq}$  ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio.

Kuvassa L11.21 on esitetty pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ).



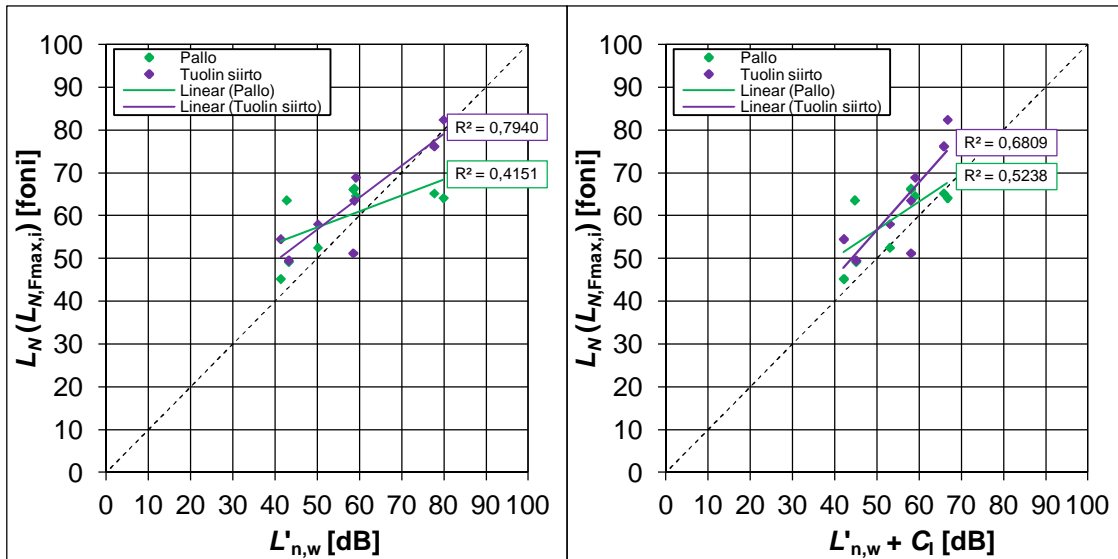
**Kuva L11.21.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio.

Kuvassa L11.22 on esitetty pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ).



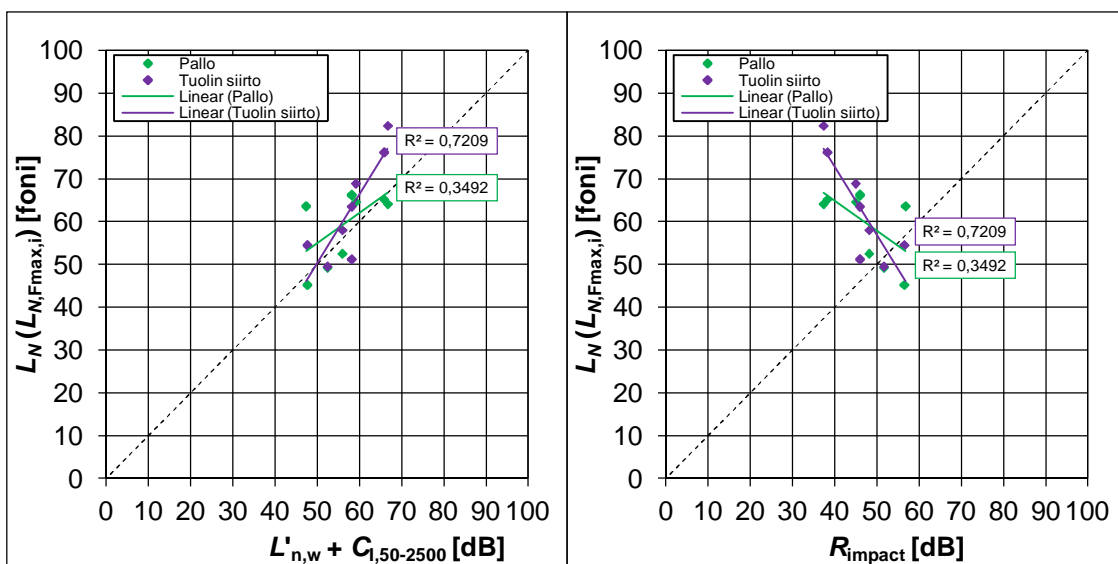
**Kuva L11.22.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_{A,Fmax}$  ( $L_{A,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio.

Kuvassa L11.23 on esitetty pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ).



**Kuva L11.23.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisten rakennusakustisten mittalukujen  $L'_{n,w}$  ja  $L'_{n,w} + C_1$  välinen lineaarinen korrelaatio.

Kuvassa L11.24 on esitetty pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio (lineaarinen regressiosuora ja selitysaste  $R^2$ ).



**Kuva L11.24.** Pallon pompottamisen ja tuolin siirron tuottaman askeläänen perusteella saadun psykoakustisen mittaluvun  $L_N$  ( $L_{N,Fmax,i}$ ) ja nykystandardin mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukaisen rakennusakustisen mittaluvun  $R_{impact}$  välinen lineaarinen korrelaatio.