

# VÄLIPOHJIEN ASKELÄÄNENERISTYKSEN ARVIOINTI ASKELÄÄNIKOJEEN JA KÄVELYN PERUSTEELLA

Jesse Lietzén<sup>1</sup>, Mikko Kylliäinen<sup>1</sup>, Ville Kovalainen<sup>1</sup> ja Valtteri Hongisto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tampereen teknillinen yliopisto  
Rakennustekniikan laitos  
PL 600  
33101 Tampere  
[etunimi.sukunimi@tut.fi](mailto:etunimi.sukunimi@tut.fi)

<sup>2</sup> Työterveyslaitos  
Sisäympäristölaboratorio  
Lemminkäisenkatu 14–18 B  
20520 Turku  
[valtteri.hongisto@ttl.fi](mailto:valtteri.hongisto@ttl.fi)

## Tiivistelmä

Välipohjarakenteiden askelääneneristävyyttä mitataan standardien mukaan käyttämällä askeläänikojetta. Ihmiset arvioivat rakenteen askelääneneristystä kuitenkin sen perusteella, kuinka hyvin kävelyn ääni kuuluu. Askeläänikojeeseen perustuvia mittalukuja on pitkään kritisoitu, koska ihmisten kokemus askelääneneristyksestä ei vastaa mittalukuja. Tavoitteena oli selvittää, miten standardoidut mittaluvut  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_1$  ja  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  sekä ehdotettu mittaluku  $R_{\text{impact}}$  vastaavat kävelyn tuottamaa askelääntä. Askelääneneristysmittauksia tehtiin käyttäen askelääniherätteinä sekä askeläänikojetta että kävelyä. Mittaukset tehtiin yhdeksällä lattianpäällysteellä kantavan rakenteen ollessa 265 mm paksu ontelolaatasto. Kävelyn tuottamista askeläänistä määritettiin tunnusluvut, joiden arvioidaan kuvaavan askeläänestä syntyvää ääniaistimusta paremmin kuin rakenteen standardin mukaiset mittaluvut: äänekkyytaso  $L_N$ , A-painotettu ekvivalentti äänitaso  $L_{A,eq}$  ja A-painotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,max}$ . Askeläänikojeella saadut standardoidut mittaluvut eivät tuottaneet välipohjille samanlaista paremmuusjärjestystä kuin kävelyn tuottamista askeläänistä määritetyt tunnusluvut. Jälkimmäisten mukaan rakenteiden väliset erot olivat pienemmät kuin askeläänikojeen kanssa. Sukilla kävelyn tuottaman äänen ja rakennusakustisten mittalukujen välillä ei vallinnut lineaarista riippuvuutta. Parhaiten standardoitujen mittalukujen kanssa korreloi kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamasta äänestä määritetyt tunnusluvut.

## 1 JOHDANTO

Välipohjarakenteiden askelääneneristävyys rakennuksessa määritetään mittauksin standardien ISO 140-7 ja ISO 717-2 mukaisesti käyttämällä äänilähteenä standardoitua askeläänikojetta. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan mittalukuja, jotka on normalisoitu 10 m<sup>2</sup> absorptioalaan: askeläänitasolukua  $L'_{n,w}$  sekä sen ja eri taajuualueilla määriteltyjen

spektripainotusermien summia  $L'_{n,w} + C_1$  ja  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ . Spektripainotusermin  $C_1$  avulla voidaan ottaa huomioon normalisoidun askeläänispektrin suuret poikkeamat vertailukäyrästä. Spektripainotusermiin  $C_{1,50-2500}$  sisältyvät lisäksi keskitaajuudet 50, 63 ja 80 Hz. Valmisteilla olevan standardiehdotuksen ISO CD 16717-2 [1] mukainen uusi askelääneneristysluku  $R_{\text{impact}}$  vastaa mittalukua  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ . Mittalukujen tarkoitus on kuvata, kuinka hyvin rakenne eristää siihen kohdistuvista iskuista, kuten kävelystä, huonekalujen siirtelystä, esineiden putoamisesta ja lasten leikkimisestä aiheutuvaa askelääntä.

Askelääneneristykseen arviointimenetelmää on kritisoitu 1960-luvulta lähtien. [2–6] Arvostelu johtuu siitä, että kävely tuottaa erilaisen äänispektrin kuin askeläänikoje ja todellisuudessa rakennusten käyttäjät arvioivat askelääneneristystä subjektiivisesti kävelyn tuottaman askeläänien perusteella. Lisäksi askeläänien häiritsevyys riippuu äänispektrin muodosta, koska korvan herkkyys on taajuusriippuvainen. Nykystandardin mukaan mitattava taajuusalue on 100–3150 Hz, vaikka sekä kojeen että kävelyn tuottaman äänen tiedetään usein painottuvan alle 100 Hz taajuusalueelle. [2–3] Siksi askelääneneristävyyden arviointi askeläänikojeen ja kävelyn perusteella voivat tuottaa erilaisen tuloksen.

Askeläänikojeen ja kävelyn tuottamien vasteiden ero ei ole vakio, vaan se riippuu kantavasta rakenteesta ja pintarakenteesta. [7] Siten askeläänikojeen aiheuttaman äänen perusteella ei voida suoraan arvioida välipohjan alapuoliseen tilaan esimerkiksi kävelystä aiheutuvaa ääntä. Tämän takia on mahdollista, että arviointimenetelmällä saatava rakenteiden paremmuusjärjestys voi olla ihmisten kokemusten kannalta väärä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaiset mittaluvut vastaavat kävelyn tuottamaa askeläänitasoa eri välipohjilla. Tutkimuksessa suoritettiin välipohjien askelääneneristysmittauksia sekä standardin mukaan että käyttäen herätteenä koekävelijöitä. Mittaukset tehtiin Upofloorin askeläänilaboratoriossa Nokialla. [8]

## 2 TUTKITUT RAKENTEET

Tutkimuksessa askeläänikokeet suoritettiin yhteensä yhdeksällä eri välipohjarakenteella VP1...VP9 kantavan rakenteen ollessa sama 265 mm paksu ontelolaatasto, jonka päällä oli tasoite. Pintarakenteet asennettiin lähetyshuoneeseen aina samaan kohtaan ja rakenteen leveys oli 3,00 m ja pituus 4,00 m. [8] Tutkittujen rakenteiden rakennekerrokset kantavan rakenteen päällä olivat:

- VP1: päällystämätön raakavälipohja
- VP2: julkisissa tiloissa käytettävä muovimatto: Upofloor Estrad
- VP3: asuinhuoneistoissa käytettävä muovimatto: Upofloor Upostep
- VP4: lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm ja arketinalusmateriaali Tuplex
- VP5: tekstiilimatto toimistokäyttöön: Orient Occident Oy Epoca Compact
- VP6: tekstiilimatto asuntokäyttöön: Orient Occident Oy Milliken
- VP7: lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm, parketinalusmateriaali Tuplex, 2 x lattiakipsilevy Gyproc GL 15 mm, askeläänieristelevy Isover VKL 13 mm
- VP8: lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm, parketinalusmateriaali Tuplex, 2 x lattiakipsilevy Gyproc GL 15 mm, askeläänieristelevy Isover FLO 50 mm
- VP9: lautaparketti Upofloor Karelia 14 mm, parketinalusmateriaali Tuplex, 4 x lattiakipsilevy Gyproc GL 15 mm, askeläänieristelevy Isover FLO 50 mm

### 3 ASKELÄÄNIMITTAUKSET

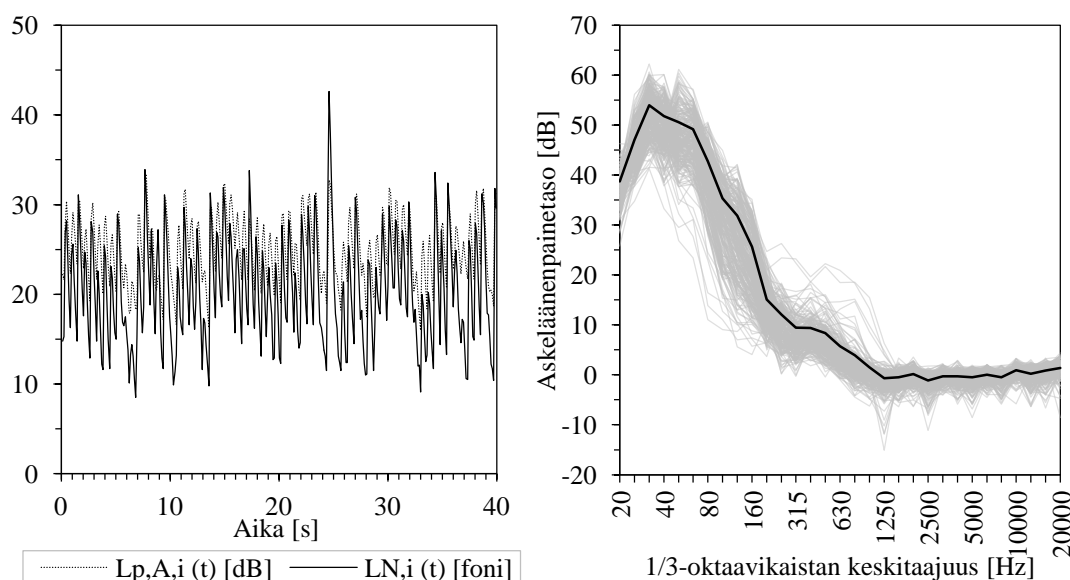
#### 3.1 Standardin mukaiset mittaukset ja mittaluvut

Tutkimuksessa selvitettiin kunkin tutkitun välipohjarakenteen standardin ISO 717-2 ja standardiehdotuksen ISO CD 16717-2 [1] mukaiset mittaluvut. Mittaukset tehtiin standardin ISO 140-7 mukaisesti käyttäen askelääninäytteenä standardoitua askeläänikojetta. Askeläänikojeen tuottaman äänenpainetaso, taustäänenpainetaso ja vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan perusteella laskettiin standardin mukaiset mittaluvut  $L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_1$  ja  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja standardiehdotuksen mukainen mittaluku  $R_{\text{impact}}$ . Kaikki mittaluvut laskettiin 0,1 dB tarkkuudella. [8]

#### 3.2 Kävelyn tuottama ääni

Kävelyn tuottamaa askelääntä mitattiin kullakin välipohjarakenteella. Koekävelijöinä tutkimuksessa toimi kolme mieskävelijää W1, W2 ja W3, jotka kävelivät sukilla, pehmeäpohjaisilla kengillä ja kovapohjaisilla kengillä. Kävelijöiden massat olivat 86 kg, 125 kg ja 91 kg, tässä järjestyksessä. Mittausten aikana kävelijät kävelivät pintarakenteen päällä vuorotellen suorakaiteen ja tiimalasin muotoista rataa pitkin. Kävelyn tuottamaa ääntä mitattiin ekvivalenttitasoina ja ajan funktiona F-aikapainotuksella. [8]

Kävelyn tuottamista askeläänistä määritettiin tunnusluvut, joiden arvioidaan kuvaavan askeläänestä syntyvää ääniäistimusta paremmin kuin rakenteen askeläänitasoluku askeläänikojeella mitattuna. Tunnuslukuina käytettiin äänekkyyystasoa  $L_N$  [9–10], A-painotettua ekvivalenttia äänitasoa  $L_{A,eq}$  ja A-painotettua enimmäisäänitasoa  $L_{A,max}$ . Kävelyn tuottama enimmäisäänienpainetaso laskettiin siten, että taustäänikorjatuista ja ajan funktiona mitatuista äänispektreistä määritettiin hetkelliset maksimikohdat. Hakuperusteina käytettiin A-painotettua kokonaisäänitasoa ja äänekkyyystasoa, jotka määritettiin kullekin ajan hetkelle. Tämän jälkeen poimittiin näiden tunnuslukujen maksimikohtia vastaavat hetkelliset äänispektrit, joista laskettiin energettinen keskiarvo. Näin pyrittiin hakemaan tyypillinen kävelyaskelen äänispektri. Vasta näin saaduille spektreille määritettiin äänekkyyystaso  $L_N$  ja A-painotettu enimmäisäänitaso  $L_{A,max}$  (kuva 1). [8]



Kuva 1: Kävelyn tuottama ääni ajan funktiona ja kaikkien askelten äänispektri.

## 4 TULOKSET

### 4.1 Välipohjarakenteiden paremmuusjärjestys

Välipohjarakenteet VP1...VP9 asetettiin paremmuusjärjestykseen niille määritettyjen standardin ISO 717-2 ja standardiehdotuksen [1] mukaisten mittalukujen perusteella (taulukko 1). Lisäksi paremmuusjärjestys muodostettiin kävelijöiden W1...W3 sukilla, pehmeäpohjaisilla ja kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottamasta äänestä muodostettujen tunnuslukujen perusteella (esimerkiksi taulukko 2). Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty välipohjien paremmuusjärjestys parhaimmasta huonoimpaan ja rakenteille määritettyjen mittalukujen arvot. Taulukoissa samat mittaluvut tuottavat rakenteet on kursivoitu.

Taulukko 1: *Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys standardin mukaisten mittalukujen perusteella. [8]*

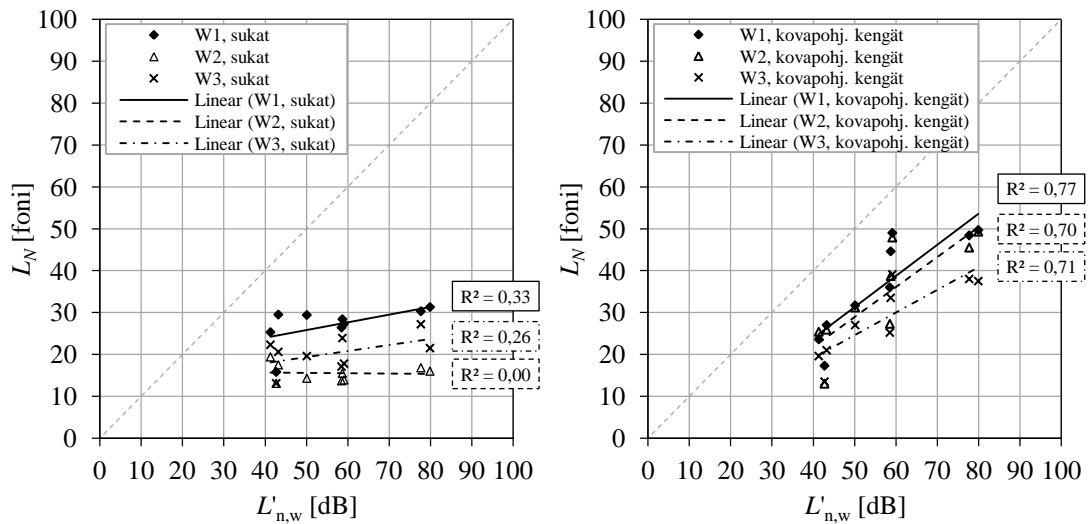
Mittaluku	$L'_{n,w}$		$L'_{n,w} + C_I$		$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$		$R_{\text{impact}}$	
	Järjestys	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [dB]
1.	41,3	VP9	42,1	VP9	47,3	VP6	56,7	VP6
2.	42,7	VP6	44,7	VP6	47,6	VP9	56,4	VP9
3.	43,2	VP8	45,0	VP8	52,4	VP8	51,6	VP8
4.	50,1	VP7	53,0	VP7	55,9	VP7	48,1	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 2: *Välipohjarakenteiden VP1...VP9 paremmuusjärjestys kävelijän W1 sukilla ja kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman askelääneneristys perusteella. [8]*

Arviointiperuste	Kävelijä W1, sukilla kävely				Kävelijä W3, kovapohjaisilla kengillä kävely			
	$L_{A,max}$		$L_N$		$L_{A,max}$		$L_N$	
Mittaluku	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP	arvo [dB]	VP	arvo [foni]	VP
1.	21,1	VP6	15,8	VP6	14,9	VP6	13,5	VP6
2.	28,1	VP5	25,3	VP9	21,7	VP5	19,6	VP9
3.	28,5	VP4	26,4	VP5	22,7	VP8	21,0	VP8
4.	29,3	VP3	27,3	VP4	23,1	VP9	25,2	VP5
5.	30,2	VP2	28,4	VP3	25,2	VP3	27,0	VP7
6.	30,2	VP9	29,4	VP7	25,6	VP7	33,5	VP3
7.	30,6	VP1	29,5	VP8	27,0	VP2	37,5	VP1
8.	31,4	VP7	30,3	VP2	27,4	VP1	38,0	VP2
9.	32,6	VP8	31,3	VP1	28,9	VP4	39,1	VP4

### 4.2 Standardinmukaisten mittalukujen ja kävelyn korrelaatio

Kävelyn tuottamasta askeläänestä määritettyjen tunnuslukujen ja nykystandardin ja standardiehdotuksen [1] mukaisten mittalukujen välistä korrelaatiota selvitettiin lineaarisella regressioanalyysillä. Analyysin perusteella määritettiin kävelyn ja standardien mukaisten mittalukujen välinen selitysaste  $R^2$  (taulukko 3). Koska mittaluvut  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  ja  $R_{\text{impact}}$  ovat käytännössä samat, mutta vastakkaisuuntaiset, on nämä esitetty taulukon samassa sarakkeessa. Esimerkki korrelaation määrittämisestä on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Sukilla ja kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänekkyyden  $L_N$  ja askeläänitasoluvun  $L'_{n,w}$  välinen lineaarinen regressiomalli eri kävelijöillä. [8]

Taulukko 3: Nykystandardin ja standardiehdotuksen mukaisten mittalukujen ja kävelyn tuottaman askeläänin perusteella määritettyjen tunnuslukujen välinen selitysaste  $R^2$ . [8]

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
	$L_{A,max}$	0,05	0,05	0,15
	$L_N$	0,33	0,34	0,51
Kävelijän W2 sukilla kävely	$L_{A,eq}$	0,02	0,06	0,01
	$L_{A,max}$	0,01	0,03	0,00
	$L_N$	0,00	0,05	0,01
Kävelijän W3 sukilla kävely	$L_{A,eq}$	0,04	0,02	0,07
	$L_{A,max}$	0,05	0,03	0,09
	$L_N$	0,26	0,18	0,27
Kävelijän W1 pehmeäpohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,22	0,28	0,37
	$L_{A,max}$	0,27	0,37	0,45
	$L_N$	0,72	0,83	0,78
Kävelijän W2 pehmeäpohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,00	0,00	0,02
	$L_{A,max}$	0,02	0,05	0,10
	$L_N$	0,19	0,33	0,29
Kävelijän W3 pehmeäpohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,42	0,50	0,56
	$L_{A,max}$	0,49	0,59	0,63
	$L_N$	0,76	0,85	0,80
Kävelijän W1 kovapohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,63	0,70	0,72
	$L_{A,max}$	0,66	0,75	0,76
	$L_N$	0,77	0,86	0,86
Kävelijän W2 kovapohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,60	0,62	0,68
	$L_{A,max}$	0,63	0,68	0,73
	$L_N$	0,70	0,73	0,78
Kävelijän W3 kovapohjaisilla kengillä kävely	$L_{A,eq}$	0,30	0,34	0,43
	$L_{A,max}$	0,39	0,45	0,54
	$L_N$	0,71	0,80	0,81

## 5 TULOSTEN TULKINTA

Kävelyn tuottaman äänen perusteella välipohjat asettuivat erilaiseen paremmuusjärjestykseen kuin rakennusakustisten mittalukujen mukaan. Järjestys riippui kävelijän lisäksi siitä, käveltiinkö sukilla, pehmeäpohjaisiin tai kovapohjaisiin kengin. Sukilla kävelyn tuottaman askeläänen ja standardin mukaisten mittalukujen välillä ei vallinnut lineaarista riippuvuutta. Selitysaste  $R^2$  sukilla kävelyn tuottaman äänen ja standardin mukaisten mittalukujen välillä oli 0,00–0,51. Suurin selitysaste, 0,70–0,86, saatiin kovapohjaisilla kengillä kävelyn tuottaman äänen ja standardin mukaisten mittalukujen välille.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että standardin mukainen askelääneneristyksen mittausmenetelmä ei sovellu suomalaisten asuntojen askelääneneristyksen arviointiin, koska Suomessa asunnoissa kävellään yleensä sukat jalassa.

### KIITOKSET

Tämä artikkeli on osa tutkimushanketta ”Rakennusten ääniolosuhteiden käyttäjälähtöinen kehittäminen ÄKK”, jota rahoittavat Tekes ja kymmenen yritystä.

### VIITTEET

- [1] Scholl W, Revision of ISO 717: Why not use impact sound reduction indices instead of impact sound pressure levels? *Acta Acustica united with Acustica*, **97**(2011), 503–508.
- [2] Fasold W, Untersuchungen über den Verlauf der Sollkurve für den Trittschallschutz im Wohnungsbau, *Acustica*, **15**(1965), 271–284.
- [3] Mariner T, Technical problems in impact noise testing, *Building Research* **1**(1964), 52–60.
- [4] Olynyk D, Northwood T D, Subjective judgments of footstep-noise transmission through floors, *The Journal of the Acoustical Society of America*, **38**(1965), 1035–1039.
- [5] Bodlund K, Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings, *Journal of Sound and Vibration*, **102**(1985), 381–402.
- [6] Gerretsen E, A new system for rating impact sound insulation, *Applied Acoustics*, **9**(1976), 247–263.
- [7] Kylliäinen M, Askelääneneristyksen mittausmenetelmän ongelmien tausta, *Rakenteiden Mekaniikka*, **41**(2008), 58–65.
- [8] Lietzén J, *Välipohjien askelääneneristyksen arviointi eri askelääniherätteiden perusteella*, Diplomityö, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos, 2012.
- [9] ANSI S3.4-2007, *Procedure for the computation of loudness for steady sounds*, New York, American National Standards Institute, Inc., 33 p.
- [10] Moore B C J, Glasberg B R, Baer T, A model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness, *The Journal of the Audio Engineering Society*, **45**(1997), 224–240.