

# ASUINHUONEISTOJEN BETONIVÄLIPOHJIEN ASKELÄÄNENERISTYKSEN SUBJEKTIIVINEN JA OBJEKTIIVINEN ARVIOINTI

Mikko Kylliäinen<sup>1</sup>, David Oliva<sup>2</sup>, Laura Rekola<sup>2</sup>, Valtteri Hongisto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tampereen teknillinen yliopisto  
Rakennustekniikan laitos  
PL 600  
33101 TAMPERE  
[mikko.kylliainen@tut.fi](mailto:mikko.kylliainen@tut.fi)

<sup>2</sup> Työterveyslaitos  
Sisäympäristölaboratorio  
Lemminkäisenkatu 14–18 B  
20520 TURKU  
[etunimi.sukunimi@ttl.fi](mailto:etunimi.sukunimi@ttl.fi)

## Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mikä standardin ISO 717-2 mukaisista ja tutkimuskirjallisuudessa esitetyistä askelääneneristävyyden mittaluvuista on parhaiten yhteydessä todellisesta kävelystä koetun häiritsevyyden kanssa. Kuuntelukokeeseen osallistui 55 koehenkilöä. Kokeessa simuloitiin tilannetta, jossa kuunnellaan ylemmästä asuinhuoneistosta alempaan asuinhuoneistoon kuuluvia askelääniä. Jokainen koehenkilö arvioi 45 ääntä, jotka olivat yhdistelmiä viidestä askeläänityypistä ja yhdeksästä betonivälipohjarakenteesta. Tulosten perusteella kaikki mittaluvut sopivat arvioimaan askelääneneristävyyttä, kun äänilähteenä on kävely kova- tai pehmeäpohjaisiin kengin tai tuolin siirto. Tällöin standardin ISO 717-2 mittaluvuista parhaat korrelaatiokertoimet tuottivat  $L'_{n,w} + C_1$  ja  $L'_{n,w} + C_{L,50-2500}$ . Mikään mittaluku ei vastannut subjektiivisia arvioita kävelystä sukin. Koska Pohjoismaissa usein oleskellaan kotona sukin, uusia askelääneneristävyyden mittalukuja kehitettäessä kävely sukin tulisi ottaa paremmin huomioon.

## 1 JOHDANTO

Askelääneneristävyyden mittalukuja koskeva kritiikki on kohdistunut erityisesti siihen, että erilaisten rakenteiden askeläänitasoluvut ja ihmisten subjektiivinen kokemus rakenteiden askelääneneristävyydestä eivät kaikissa tapauksissa vastaa toisiaan [1]. Kylliäinen ym. [2] ovat aiemmin arvioineet erilaisin lattianpäällystein pinnoitetuilla betonivälipohjilla laboratorioissa kävelleiden koehenkilöiden kävelyn äänitasoja ja äänekkyystasoja ja todenneet, että nämä mittaluvut eivät joissakin tapauksissa korreloi standardoitujen askelääneneristävyyden mittalukujen kanssa. Johtopäätöksenä Kylliäinen ym. esittivät, että betonivälipohjien askelääneneristävyyttä tulisi tutkia kuuntelukokein.

Hongiston ym. [3] aiemmin tekemien, ilmaääneneristävyyttä koskevien löydösten johdosta päätettiin soveltaa samaa tutkimusmenetelmää myös betonivälipohjien askelääneneristävyyden tutkimiseen. Tavoitteena oli selvittää psykoakustisen tutkimuksen keinoin, mitkä standardin ISO 717-2 mukaisista [4] askelääneneristävyyden mittaluvuista

$L'_{n,w}$ ,  $L'_{n,w} + C_I$  ja  $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  tai tutkimuskirjallisuudessa esitetyistä askelääneneristävyyden mittaluvuista ovat parhaiten yhteydessä ihmisten askeläänistä kokeman häiritsevyyden kanssa. Tutkimuskirjallisuudessa vaihtoehtoisia mittalukuja ovat esittäneet Fasold [5], Gerretsen [6], Bodlund [7] ja Hagberg [8]. Näistä mittaluvuista käytetään kehittäjänsä mukaan tässä artikkelissa merkintöjä  $L'_{n,Fas,50}$  ja  $L'_{n,Fas,100}$ ,  $L'_{n,Ger}$ ,  $L'_{n,Bod}$  ja  $L'_{n,Hag}$ . Fasoldin mittaluvuissa numero ilmaisee mitattavan taajuusalueen alarajan.

## 2 AINEISTON KERUU

Kuuntelukoe toteutettiin marras- ja joulukuussa 2013 Työterveyslaitoksen sisäympäristölaboratorion kuunteluhuoneessa. Äänilähteinä oli kova- ja pehmeöpohjaisien kengin sekä sukin kävellyt koekävelijä sekä lisäksi tuolin siirto lattialla ja superpallon pompotus. Nämä äänet oli nauhoitettu kesällä 2012 Nokialla Upofloorin askeläänilaboratoriossa. Nauhoitetut äänet toistettiin kuunteluhuoneessa kattoon näkymättömiin sijoitetuilla kaiuttimilla. Kokeessa simuloitiin tilannetta, jossa kuunnellaan alempaan asuinhuoneistoon yleimmästä asuinhuoneistosta kuuluvia askelääniä.

Koehenkilöitä kuuntelukokeissa oli 55. Jokainen koehenkilö kuunteli 45 erilaista ääntä, jotka olivat yhdistelmiä viidestä äänilajista S1–S5 ja yhdeksästä välipohjarakenteesta F1–F9 (kuva 1 ja taulukko 1). Kokeeseen valitut äänilajit olivat:

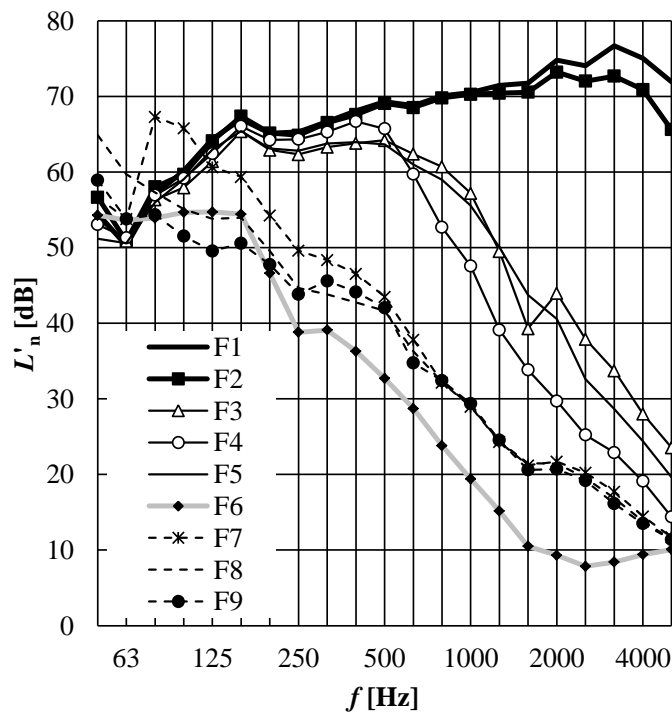
- S1 – mieskävelijän (86 kg) kävely kovapohjaisilla kengillä
- S2 – mieskävelijän (86 kg) kävely sukat jalassa
- S3 – mieskävelijän (86 kg) kävely pehmeöpohjaisilla kengillä
- S4 – superpallon pompotus 1 m korkeudelta
- S5 – tuolin siirto

Kuuntelutasojen keskiäänitasot  $L_{A,eq}$  kuuntelijan pään kohdalla olivat välillä 15–38 dB. Äänitasoalue vastaa todellisten askeläänien vaihteluväliä erilaisissa asuinhuoneistoissa.

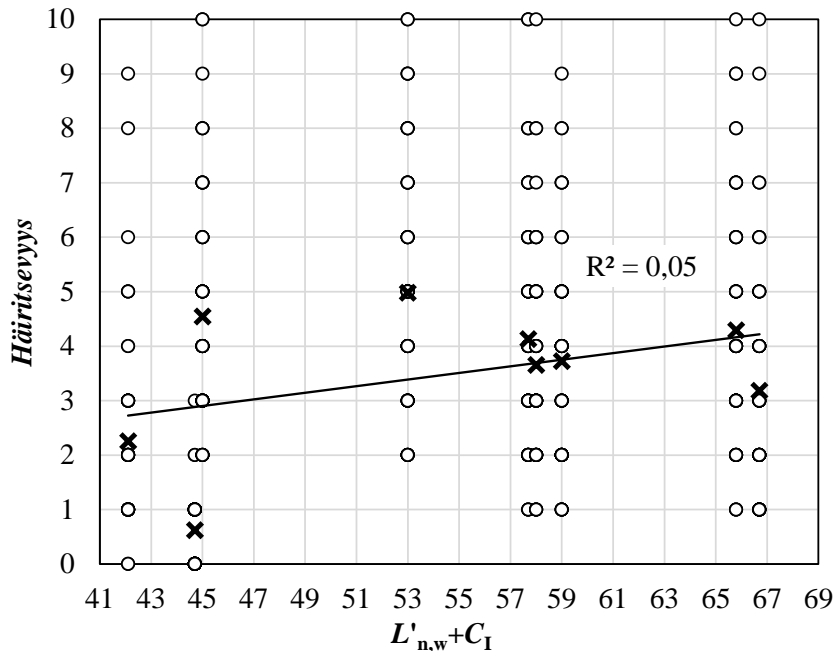
Kutakin ääntä kuunneltiin ensin 20 sekuntia, minkä jälkeen äänen arviointi oli mahdollista äänen jatkuessa taustalla. Koehenkilöitä pyydettiin arvioimaan *äänekkyys* ja *häiritsevyys* asteikolla 0–10 sekä *hyväksyttävyys* asteikolla 0–3. Tässä paperissa raportoidaan vain häiritsevyyden tulokset. Kunkin äänilajin kohdalla määritettiin lineaarinen korrelaatio (kuva 2) objektiivisten mittalukujen ja koehenkilöiden antamien vastausten välillä.

Taulukko 1. *Standardissa ISO 717-2 sekä tutkimuskirjallisuudessa esitettyjen askelääneneristävyyden mittalukujen arvot välipohjille F1–F9.*

Mittaluku	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
$L'_{n,w}$	79,9	77,7	58,7	59,1	58,5	42,7	50,1	43,2	41,3
$L'_{n,w} + C_I$	66,7	65,8	58,0	59,0	58,0	44,7	53,0	45,0	42,1
$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$	66,7	65,8	58,1	59,1	58,1	47,3	55,9	52,4	47,6
$L'_{n,Fas,100}$	68,4	67,3	59,4	60,4	59,4	44,7	52,1	45,2	43,0
$L'_{n,Fas,50}$	68,4	67,3	59,4	60,4	59,4	49,0	55,6	52,2	47,8
$L'_{n,Ger}$	66,4	65,6	58,4	59,8	58,6	41,9	50,3	43,6	41,5
$L'_{n,Bod}$	66,0	65,9	62,6	63,9	62,8	56,5	62,8	59,8	55,3
$L'_{n,Hag}$	68,7	67,8	60,7	61,8	60,5	54,5	61,2	61,0	56,1



Kuva 1. Välipohjarakenteiden F1–F9 askeläänikojeella mitatut normalisoidun askelääni-tason  $L'_n$  spektrit.



Kuva 2. Esimerkki korrelaatioanalyysistä yhdellä äänilajilla ja mittaluvulla ( $S_2$ ,  $L'_{n,w} + C_1$ ). Rasti kertoo hämirtsevyydsarvioiden keskiarvon kullekin välipohjalle. Ympyrät kuvaavat yksittäisiä vastauksia (päällekkäiset arvot eivät erotu).

### 3 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulokset kuuntelijoiden tekemien arvioiden ja askelääneneristävyyden objektiivisten mittalukujen välisestä korrelaatiosta on esitetty taulukossa 2. Kaikki objektiiviset mittaluvut

sopivat arvioimaan askelääneneristävyyttä, kun äänilähteenä on kävely kova- tai pehmeäpohjaisin kengin tai tuolin siirto (S1, S3, S5). Tässä tapauksessa standardin ISO 717-2 mukaisista mittaluvuista parhaat korrelaatiokertoimet tuottivat  $L'_{n,w} + C_1$  ja  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ .

Mikään objektiivinen mittaluku ei vastannut erityisen hyvin subjektiivisia arvioita kävelystä sukin tai pallon pompotuksesta. Koska Pohjoismaissa usein oleskellaan kotona sukin, tulisi uusia askelääneneristävyyden mittalukuja kehitettäessä kävely sukin ottaa paremmin huomioon.

Taulukko 2. Häiritsevyyden ja askelääneneristävyyden mittalukujen välisen Pearsonin lineaarisen korrelaatiokertoimen neliö ( $R^2$ ) äänilähteillä S1–S5. Suuri arvo tarkoittaa voimakasta yhteyttä. Lihavointi:  $p < 0,01$ .

Mittaluku	S1	S2	S3	S4	S5
$L'_{n,w}$	<b>0,41</b>	0,03	<b>0,26</b>	0,09	<b>0,52</b>
$L'_{n,w} + C_1$	<b>0,50</b>	0,05	<b>0,32</b>	<b>0,13</b>	<b>0,47</b>
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	<b>0,49</b>	0,08	<b>0,31</b>	0,08	<b>0,51</b>
$L'_{n,Fas,100}$	<b>0,49</b>	0,04	<b>0,31</b>	<b>0,12</b>	<b>0,47</b>
$L'_{n,Fas,50}$	<b>0,48</b>	0,06	<b>0,31</b>	0,10	<b>0,51</b>
$L'_{n,Ger}$	<b>0,51</b>	0,05	<b>0,32</b>	<b>0,12</b>	<b>0,45</b>
$L'_{n,Bod}$	<b>0,53</b>	<b>0,12</b>	<b>0,35</b>	0,11	<b>0,43</b>
$L'_{n,Hag}$	<b>0,40</b>	0,09	<b>0,25</b>	0,04	<b>0,51</b>

## KIITOKSET

Tutkimus oli osa Tekesin, ympäristöministeriön ja kahdeksan yrityksen rahoittamaa hanketta ”Ääneneristävyyden käyttäjälähtöinen kehittäminen ÄKK”.

## VIITTEET

- [1] Kylliäinen M, Miksi askelääneneristyksen arviointi on niin vaikeaa? Akustiikkapäivät 2007, Espoo, 27.-28.9., Akustinen Seura ry, 130–135.
- [2] Kylliäinen M, Lietzén J, Kovalainen V & Hongisto V, Correlation between single number-quantities of impact sound insulation and noise ratings of walking on concrete floors, submitted to Acta Acustica united with Acustica on December 8, 2014.
- [3] Hongisto V, Oliva D & Keränen J, Subjective and objective rating of airborne sound insulation – Living sounds, Acta Acustica united with Acustica 100(2014), 848–863.
- [4] ISO 717-2:1996, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation.
- [5] Fasold W, Untersuchungen über den Verlauf der Sollkurve für den Trittschallschutz im Wohnungsbau, Acustica 15(1965), 271–284.
- [6] Gerretsen E, A new system for rating impact sound insulation, Applied Acoustics 9(1976), 247–263.
- [7] Bodlund K, Alternative reference curves for evaluation of the impact sound insulation between dwellings, Journal of Sound and Vibration 102(1985), 381–402.
- [8] Hagberg K, Evaluating field measurements of impact sound, Building Acoustics 17(2010), 105–128.