

## PUUVÄLIPOHJIEN ASKELÄÄNENERISTÄVYYTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

**Pekka Latvanne<sup>1</sup>, Mikko Kylliäinen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Bertel Jungin Aukio 9  
02600 ESPOO  
pekka.latvanne@ains.fi

<sup>2</sup> A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Puutarhakatu 10  
33210 TAMPERE  
mikko.kylliainen@ains.fi

### Tiivistelmä

Askelääneneristävyys on yksi merkittävimmistä monikerroksisen puurakennuksen ääniolosuhteisiin vaikuttavista tekijöistä. Puuvälipohja on puukerrostalon rakennusosista se, johon kohdistuu eniten erilaisia vaatimuksia: rakentamismääräykset koskevat puuvälipohjan kantavuutta, taipumaa, värähtelyä, palonkestoa ja tiiveyttä sekä ilma- ja askelääneneristävyyttä. Käytännössä välipohjarakenteesta suureksi osaksi riippuu puukerrostalojen kilpailukyky esimerkiksi betonirakenteisiin kerrostaloihin nähden. Tämän kirjallisuustutkimuksen perusteella merkittävimmät puuvälipohjan askelääneneristävyyteen vaikuttavat ominaisuudet ovat palkkien ylä- ja alapuolisen rakenteiden massat sekä välipohjan rakennekerrosten väliset liitokset, joista merkittävin on alakaton kiinnitystapa. Näiden ohella myös palkkivälipohjan sisällä olevan ilmatilan vaimennus ja lattianpäällyste vaikuttavat välipohjan askelääneneristävyyteen.

## 1 JOHDANTO

Puuvälipohjien askelääneneristävyys on yksi monikerroksisten puurakennusten merkittävimmistä ääneneristyksen osa-alueista. Asunnon ulkopuolisista melulähteistä toisista asunnoista kantautuva askelääni koetaan usein häiritsevimmäksi melulähteeksi [1–5]. Puuvälipohjat ovat kevyitä verrattuna perinteisiin massiivivälipohjiin ja ne sisältävät yleensä useita erilaisia rakennekerroksia. Rakenteiden monimutkaisuuden vuoksi puuvälipohjien askelääneneristävyyden laskentaan ei ole nykyisellään saatavissa laskentamalleja ja askelääneneristävyyden arviointi perustuu suurelta osin kokemukseräiseen tietoon. Massiivivälipohjien askelääneneristävyyden laskentaan on olemassa laskentamalleja, mutta ne soveltuvat heikosti puuvälipohjien askelääneneristävyyden arviointiin [6].

Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten puuvälipohjan rakenteelliset ominaisuudet vaikuttavat välipohjan askelääneneristävyyteen. Lähdeaineistona käytettiin

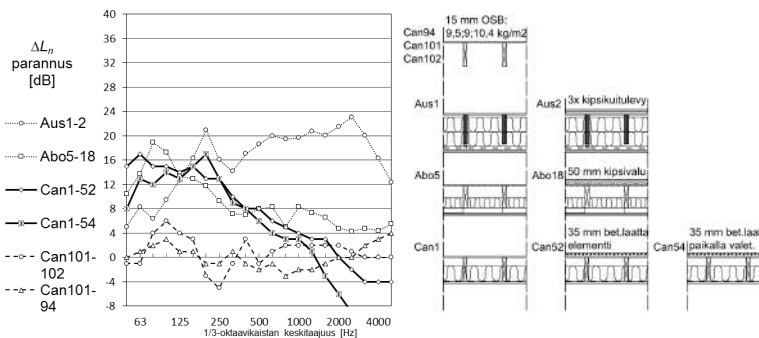
kirjallisuudessa esitettyjä laboratorioissa 1/3-oktaavikaistoittain mitattuja askeläänitasoja 148 puuvälipohjarakenteesta.

## 2 VÄLIPOHJAN RAKENNEKERROSTEN MASSA

Välipohjan kansilevytyksen ja alakaton massan kasvattaminen parantaa rakenteen askelääneneristävyttä. Toisaalta puurakenteiden merkittävä etu perinteisiin massiivirakennetarkaisuihin nähden on juuri rakenteiden keveys [7–10]. Välipohjan massaa voidaan kasvattaa erilaisten laatta- ja levyrakenteiden avulla. Valettavien pintarakenteiden haittana on niiden vaatima kosteudenhallinta ja kuivumisaika, jotka hidastavat tuotantoa sekä työmaa- että puuelementtitehdasolosuhteissa. Mahdollisuutta korkeaan esivalmistusasteeseen pidetään myös puurakenteiden etuna perinteisiin massiivirakenteisiin nähden [7–8, 11–13].

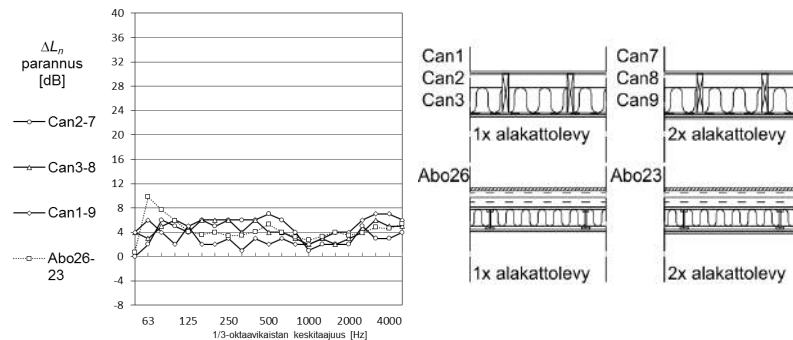
Välipohjapalkkien yläpuolinen rakenne koostuu yleensä yhdestä tai useammasta levy- tai laattakerroksesta. Niin sanotun raakavälipohjan päälle voidaan valaa laatta esimerkiksi betonista tai kipsistä, kuten kuvan 1 rakenteissa Abo18, Can52 ja Can54 on tehty. Kuvassa 1 ja muissa kuvissa välipohjan muutoksen vaikutus on esitetty askelääneneristävyuden parannuksena  $\Delta L_n$  eli muutetun ja alkuperäisen välipohjan askeläänitasojen erona. Kuten kuvassa 1 esitetystä tuloksista voidaan havaita, ilman lattianpäällystettä ja kelluttavaa aluskerrosta asennetut raskaat pintalaatat parantavat askelääneneristävyttä erityisesti pienten taajuuksien alueella, mutta yli 2000 Hz taajuusalueella ne jopa heikentävät askelääneneristävyttä. Heikentyminen suurilla taajuuksilla johtuu siitä, että betoni- ja kipsilaatoissa suuritaajuinen värähtely herää merkittävästi [14] ja niiden sisäinen häviökerroin on pieni [15]. Kuvan 1 kuvaajasta voidaan myös nähdä, että lattialevyn pintamassan pienet muutokset eivät vaikuta askeläänitasoihin.

Kuvan 1 käyrässä Aus1-2 on esitetty kipsikuitulevyjen kolminkertaistamisen vaikutus askeläänitasoihin. Mittaustulosten mukaan levyjen kolminkertaistaminen parantaa askelääneneristävyttä koko taajuusalueella vähintään 10 dB. Levykerrosten välissä tapahtuu merkittäviä värähtelyhäviöitä, jotka vähentävät alapuoliseen rakenteeseen siirtyvää värähtelyä.



Kuva 1. Välipohjan pintalaatan massan vaikutus askeläänitasoihin ja koerakenteiden leikkauspiirroksat [6]. Mittaustulokset on saatu lähteistä [16–18].

Välipohjan kokonaisuudessa voidaan kasvattaa myös lisäämällä alakattorakenteen massaa. Kuvan 2 kuvaajassa on esitetty alakattolevyjen kaksinkertaistamisen vaikutus askeläänitasoihin. Kuvan 2 koerakenteissa alakattolevyt oli kiinnitetty välipohjapalkistoon joustavasti akustisella jousirangalla. Se, että levyjen kaksinkertaistus ei paranna askelääneneristävyyttä 1000 Hz taajuusalueella, johtuu alakattolevyjen koinsidenssin rajataajuudesta [6, 19]. Alakaton levytyksen parannusvaikutus on pieni siitä syystä, että alakatto ylipäättään vaikuttaa askeläänitasolukuihin paljon.



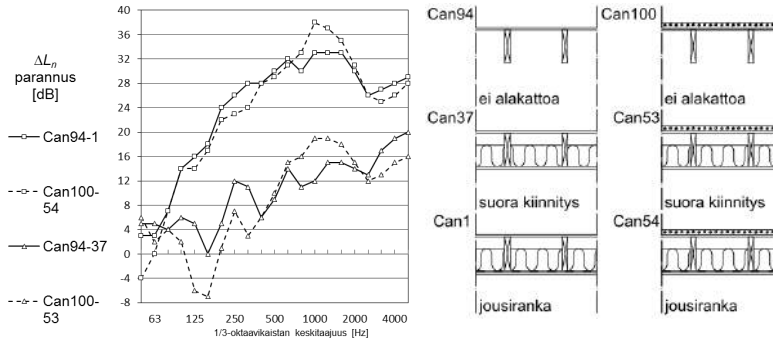
Kuva 1. Alakattolevyn kaksinkertaistamisen vaikutus askeläänitasoihin [16–17] ja koerakenteiden leikkauspiirrokset [6]. Alakatot oli kiinnitetty joustavasti.

### 3 RAKENNEKERROSTEN KYTKENNÄT

Puuvälipohjien askelääneneristävyys perustuu suurelta osin rakennekerrosten kytkennöissä tapahtuviin värähtelyhäviöihin [1, 8, 20]. Joustavat kytkennät ja kerrokset vaimentavat välipohjassa etenevää askelääniherätteestä aiheutuvaa värähtelyä. Kirjallisuustutkimuksen perusteella alakaton liitos palkistoon ja kelluvan pintalaatan alla oleva joustava kerros ovat merkittävimpiä joustavia liitoksia puuvälipohjissa [6].

Tutkimusten mukaan kelluva lattia parantaa puuvälipohjan askelääneneristävyyttä erityisesti silloin, kun pintalaatta on raskas, sillä kelluva kerros estää tehokkaasti suuritaajuisen värähtelyn etenemisen pintalaatasta muuhun välipohjarakenteeseen. Pintalaatan massa itsessään parantaa välipohjan eristävyyttä pienillä taajuuksilla. Rakenne, jonka päälle kelluva pintalaatta asennetaan, vaikuttaa kelluvan lattian tuottamaan askelääneneristävyyden parannusvaikutukseen. [14, 21] Valetun pintalaatan sijaan eristekerroksen päälle voidaan asentaa myös useita ohuita rakennuslevykerroksia. Standardissa ISO 12354-2 esitetty laskentamalli kelluvan lattian askelääneneristävyyden laskentaan soveltuu lähtökohtaisesti vain raskaiden välipohjien päälle asennettävien kelluvien laattojen parannusvaikutusten laskentaan [6, 14, 22].

Alakattolevyt voidaan kiinnittää joko suoraan kantavien välipohjapalkkien alapintaan tai joustavasti. Välipohjan pintaan kohdistuva askelheräte voi edetä välipohjassa joko runkoihin ilmaääninä [17, 23, 24]. Chung *et al.* [23] ovat esittäneet, että palkkien kautta kulkeva runkoääni on merkittävin äänenkulkureitti, kun palkkien korkeus on yli 200 mm. Kuten kuvan 3 tuloksista voidaan havaita, alakaton kiinnitys joustavasti jousirangoilla parantaa askelääneneristävyyttä huomattavasti enemmän kuin alakaton suora kytkentä.



Kuva 3. Alakaton kiinnityksen vaikutus askeläänitasoihin [17] ja koerakenteiden leikkauspiirrokset [6].

Alakatto ja palkkien yläpuolinen rakenne muodostavat massa-ilmajousi-massajärjestelmän, jonka tuottama ilmaääneneristävyys parantaa välipohjan askelääneneristävyyttä [21, 25]. Joustava kytkentä vaimentaa merkittävästi välipohjapalkeista alakattoon etenevää värähtelyä [17, 21].

#### 4 LATTIANPÄÄLLYSTEET JA ABSORPTIOMATERIAALI VÄLIPOHJAN SISÄLLÄ

Lattianpäällyste vaimentaa lattian pintaan kohdistuvaa iskuä [26]. Yleisesti käytössä olevien lattianpäällysteiden parannusvaikutus puuvälipohjilla alkaa noin 250 Hz taajuudelta [12, 17, 27]. Tutkimuksissa on havaittu, että lattianpäällysteen vaimennuskyky riippuu myös raakavälipohjan akustisista ominaisuuksista, kuten jäykkyydestä ja massasta. Tämän vuoksi esimerkiksi raskaalla betonilaatalla mitattuja lattianpäällysteen parannusarvoja ei voida käyttää suoraan arvioitaessa lattianpäällysteen vaikutusta kevyen puuvälipohjan askelääneneristävyyteen. Toisaalta myös paksuilla CLT-levyillä ja ohuilla lattiakipsilevyillä mitatut lattianpäällysteen parannusvaikutukset eroavat merkittävästi toisistaan. [6, 14]

Kirjallisuustutkimuksen mukaan ohutkin absorptiomateriaalikerros parantaa välipohjan askelääneneristävyyttä merkittävästi. Absorptiomateriaali vaimentaa tehokkaasti levyjen suuntaisesti eteneviä ääniaaltoja. Välipohjan sisään jäävän ilmatila ylitäytöllä ei ole havaittu olevan askelääneneristystä merkittävästi parantavaa vaikutusta [6, 17].

#### 5 PARAMETRINEN LASKENTAMALLI

Kirjallisuustutkimuksen [6] ja A-Insinöörien kehitystyön pohjalta on luotu parametrinen laskentamalli puuvälipohjien askelääneneristävyyden arvioimiseksi. Laskentamalli perustuu tässä artikkelissa aiemmin esitettyihin havaintoihin mittaustuloksista, laboratoriomittauksista sekä soveltuvilta osin standardissa EN 12354-2 esitettyihin laskentamenetelmiin. 27 puuvälipohjarakenteella suoritettua vertailua laskentamallilla lasketun ja koerakennuksessa tai laboratorioissa mitatun askeläänitasoluvun  $L_{n,w}$  erotuksen itseisarvo oli keskimäärin 3 dB. 1/3-oktaavikaistoilla tarkasteltuna merkittävimmät erot parametri-

sen laskentamallin ja mittaustulosten välillä syntyvät yli 500 Hz ja alle 100 Hz alueella. Kummassakin tapauksessa laskentamalli aliarvioi välipohjan askelääneneristävyyden. Laskentamallin kehitystyö ja testaaminen ovat merkittäviä osin kesken. Merkittävimmät kehitystarpeet ovat levy-palkki-rakenteen akustisessa mallintamisessa sekä lattiapäällysteiden mallintamisessa.

#### VIITTEET

- [1] 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.
- [2] Guigou, C., Lacaze, M. and Villenave, M. 2010. Respect des exigences acoustiques dans les bâtiments d'habitation à ossature bois. Etape 1, Rapport Final, Acoubois. France, French Institute of Technology for Forest based and Furniture sector (FCBA).
- [3] Izewska, A. 2005. Requirements for impact sound insulation between dwellings from the point of view of acoustical comfort of inhabitants. *Proceedings of Forum Acousticum*, Aug. 29<sup>th</sup> – Sep 2<sup>nd</sup>, 2005, Budapest, Hungary.
- [4] Jeon, J. Y., Jeong, J. H. and 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
- [5] Langdon, F.J., Buller, I.B. and Scholes, W.E. 1981. Noise from neighbours and the sound insulation of party walls in houses. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 79(2), pp. 205-228.
- [6] Latvanne, P. 2015. Puuvälipohjien akustiset ominaisuudet ja laskentamallit. Diplomityö, Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos.
- [7] Brunskog, J. 2002. Acoustic excitation and transmission of lightweight structures. Doctoral Thesis. Sweden, LTH, Lund University, Engineering Acoustics, Report TVBA-1009.
- [8] Craik, R. J. M. 1998. Structure-borne sound transmission in lightweight buildings. *Proceedings of ICA 1998*, Seattle, USA. pp. 1387-1388.
- [9] Craik, R. J. M. and Galbrun, L. 2005. Vibration transmission through a frame typical of timber-framed buildings. *Journal of Sound and Vibration*, vol. 281(3-5), pp. 763-782.
- [10] Walk, M. and Keller, B. 2001. High Sound insulation wooden floor system with granular filling. *Proceedings of International Congress of Acoustics 2001*, Rome, Italy.
- [11] Bard, D., Davidsson, P. and Wernberg, P. A. 2010. Sound and vibrations investigations in a multi-family wooden frame building. *International Congress of Acoustics, ICA 2010*, Sydney, Australia.
- [12] Forssén, J., Kropp, W., Brunskog, J., Ljunggren, S., Bard, D., Sandberg, G., Ljunggren, F., Ågren, A., Hallström, O., Dybro, H., Larsson, K., Tillberg, K., Jarnerö, K., Sjökvist, L. G., Östman, B., Hagberg, K., Bolmsvik, Å. Olsson, A., Ekstrand, C. G. and Johansson, M. 2008. Acoustics in wooden buildings, State of the art 2008. Sweden, Technical Research Institute of Sweden, Report 2008:16.

- [13] Sjöström, A., Baard, D., Persson, K. and Sandberg, G. 2010. Experimental structural Acoustic investigation of lightweight floor structure. Proceedings of Congress on Sound and Vibration, Sep. 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup> 2010, Ljubljana, Slovenia.
- [14] Warnock, A. C. C. 2000. Impact Sound Measurements on Floors Covered with Small Patches of Resilient Materials or Floating Assemblies. Canada, Institute for Research in Construction, Report IRC-IR-802.
- [15] Vigran, T. E. 2008. Building Acoustics. Taylor & Francis.
- [16] Balanant, N., Guigou, C. and Villenave, M. 2012. Respect des exigences acoustiques dans les bâtiments à ossature bois, à vocation logements. Etape 2, Rapport final, Acoubois France, French Institute of Technology for Forest based and Furniture sector (FCBA).
- [17] Warnock, A. C. C. and Birta, J.A. 2000. Detailed report for consortium on fire resistance and sound insulation of floors: Sound transmission and impact sound insulation data in 1/3 octave bands. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Internal Report IR-811.
- [18] Chung, H., Dodd, G., Emms, G., McGunnigle, K. and Schmid, G. 2006. Maximizing impact sound resistance of timber framed floor/ceiling systems, Volume 3. Australia, Forest and wood products research and development corporation, Project No. PN04.2005.
- [19] Cremer, L., Heckl, M. and Petersson, B. A. T. 2005. Structure-Borne Sound, Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies, 3rd edition. Berlin, Springer-Verlag.
- [20] Mayr, A. R. and Nightingale, T. R. T. 2007. On the mobility of joist floors and periodic rib-stiffened plates. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Report NRCC-49694.
- [21] Zeitler, B., Sabourin, I., Schoenwald, S. and Wenzke, E. 2012. On reducing low frequency impact sound transmission in wood framed construction. Proceedings of Inter Noise, 19-22<sup>nd</sup> Aug. 2012, New York City, USA, pp. 6653-6662.
- [22] EN ISO 12354-2:2000. Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 2: Impact sound insulation between rooms. Brussels, European Committee for Standardization.
- [23] Bradley, J. S. and Birta, J. A. 2001. A Simple model of the sound insulation of gypsum board on resilient supports. Noise Control Engineering Journal, vol. 49(5), pp. 216-223.
- [24] Zeitler, B., Nightingale, T. R. T. and Schoenwald, S. 2009. Effect of floor treatments on direct impact sound pressure level. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Report NRCC-53563.
- [25] Späh, M., Liebl, A. and Leistner, P. 2013. Measurements in the Laboratory and in Single Family Houses, AcuWood report No. 1. Sweden, SP Technical Research Institute of Sweden, Report 2014:14.
- [26] Chung, H., Dodd, G., Emms, G., McGunnigle, K. and Schmid, G. 2006. Maximizing impact sound resistance of timber framed floor/ceiling systems, Volume 1. Australia, Forest and wood products research and development corporation, Project No. PN04.2005.
- [27] Hopkins, C. 2007. Sound Insulation. 1<sup>st</sup> Edition, Elsevier Ltd.
- [28] SFS EN 12354-2: Building Acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements-Part 2: Impact sound insulation between rooms. 2000. European Committee for Standardization, Brussels.