

## ÄÄNEN SIVUTIESIIRTYMÄN MITTAAMINEN PUURAKENTEISTEN TILAELEMENTTIEN VÄLILLÄ

Mikko Roininen<sup>1</sup>, Jukka Ahonen<sup>1</sup>, Henri Penttinen<sup>1</sup>, Lauri Vikström<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akukon Oy  
Hiomotie 19  
00380 Helsinki  
etunimi.sukunimi@akukon.fi

### Tiivistelmä

Äänen sivutiesiirtymää voidaan havainnoida aistinvaraisesti, mutta varsinkin pienten taajuuksien paikallistaminen kuulon perusteella on haastavaa. Äänen sivutiesiirtymän mittaamiseksi on standardoitu menetelmä, jota on käytetty tässä tutkimuksessa. Mittaukset tehtiin puukerrostalossa kolmessa päällekkäisessä tilaelementissä standardin ISO-10848 mukaan. Nykyinen standardi on tarkoitettu laboratoriomittauksiin ja siihen on tulossa kenttämittaukset sisältävä päivitys. Rakenteiden värähtelyjä mitattiin kiihtyvyyksiantureilla ja herätteenä käytettiin iskuvasaran iskusarjoja. Mitatuista kiihtyvyyksistä laskettiin liitoseristävyudet. Laskettuja liitoseristävyysia verrataan mitattuihin ilmaääneneristävyysiksi ja muissa tutkimuksissa saatuihin liitoseristävyuden ja värähtelytasoerotuksen arvoihin.

## 1 JOHDANTO

Tilaelementtirakenteisten asuntojen välinen rakennetyyppi on luonnostaan kaksinkertainen rakenne, sillä vierekkäisten tilaelementtien uloimmat rakenteet ovat vastakkain. Rakenteiden välisessä ilmatilassa tarvitaan kerros huokoista materiaalia, joka on yleensä mineraalivillaa, ääneneristävyuden parantamiseksi. Ääneneristävyteen vaikuttaa tiloja suoraan erottavan rakenteen ääneneristävyuden lisäksi äänen sivutiesiirtymä. Äänen sivutiesiirtymä rakenteiden kautta on äänen kytkeytymistä ilmasta rakenteisiin ja etenemistä kiinteän aineen värähtelynä rakenteessa. Värähtelevä rakenne säteilee ääntä takaisin ilmaan. Välittyvän äänen voimakkuus riippuu muun muassa rakenteiden häviöistä.

Värähtelytasoeroituksia pintojen välillä on mitattu puurakenteilla, mutta tilaelementtirakenteilla hyvin vähän. Mittaustulokset riippuvat paljon rakenteista ja harvassa tutkimuksessa on tehty kattavaa vertailua erilaisten liitosten välillä. Niissä tutkimuksissa, missä vertailua on tehty, on saatu paljon vaihtelua erilaisten rakenteiden kesken. Mittauksia on tehty paljon enemmän laboratorio-olosuhteissa kuin rakennuksissa. Mittauksia ovat tehneet muun muassa Dolezal et al., Schoenwald et al. ja Ågren & Ljunggren. [1-3] Kuvassa 4 a) on esitetty kirjallisuudesta löydettyjä mitattuja liitoseristävyuden  $K_{ij}$  ja värähtelytasoerotuksen  $D_{v,ij}$  arvoja.

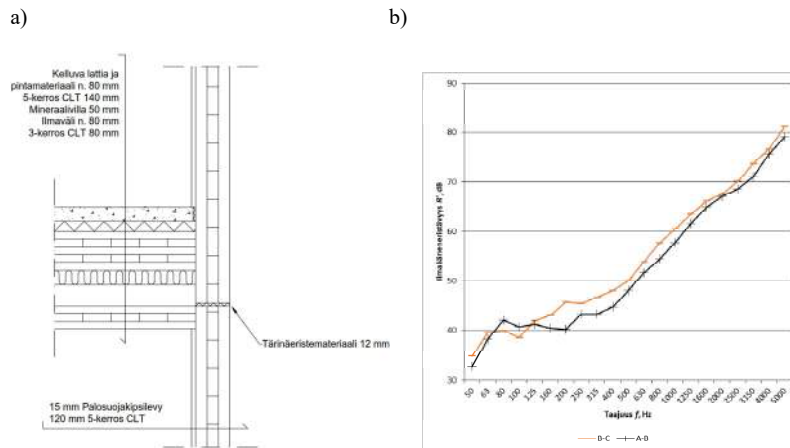
Tilaelementtien välisillä tukipinnoilla käytetään joustavaa värähtelyeristysmateriaalia, joilla pyritään vähentämään äänen sivutiesiirtymää tilaelementtien välillä. Värähtelyeristysmateriaali on yleensä elastomeeria ja se asennetaan joko jatkuvina kaistoina tai paloina tilaelementtien tukipintojen alle. Yksittäisetkin kytkeytymiset heikentävät

tilojen välistä ääneneristävyyttä ja mahdollisia kytkeytymiskohtia on juuri liitoksissa. Tämän tutkimuksen tavoitteena on testata äänen sivutiesiirtymän mittaamenetelmää ja vertailla mitattua liitoseristävyyttä  $K_{ij}$  ja mitattuun ilmaääneneristävyyteen  $R'$ .

## 2 KOHDERAKENNUS

Kohde on tilaelementtirakenteinen puukerrostalo, josta on valittu kolme päällekkäistä tilaelementtiä A, B ja C tarkastelua varten. Tilaelementtien rakenteena ovat CLT-levyt. Tilaelementin toinen pitkä sivu on osittain avoin ja siksi sillä osalla on liimapuupalkki ja -pilari kantavana rakenteena. Tilaelementit on liitetty toisiinsa teräksisillä liitososilla, joita on sijoitettu kantaville linjoille ja nurkkiin. Tärinäeristys tilaelementtien välillä on toteutettu käyttäen elastista polyuretaanimateriaalia, jota on asennettu kantavien linjojen alle jatkuvina kaistoina ja pilarien alle pilarin poikkileikkauksen kokoisina paloina. Kuvassa 1 a) on esitetty periaateleikkaus kantavan linjan kohdalta.

Kohteessa tehtiin ilmaääneneristävyyden mittaukset tilaelementtien välillä standardin ISO 140-4 mukaan [4]. Mittausten tulokset on esitetty kuvassa 1 b). Mittausten perusteella elementtien A ja B välillä on suurempi ilmaääneneristävyys, kuin elementtien B ja C välillä. Ilmaääneneristysluku  $R'_w$  elementtien A ja B välillä oli 53 dB ja elementtien B ja C välillä 57 dB.



**Kuva 1.** a) Pystyleikkaus kantavan linjan kohdalta ja b) Mitattu ilmaääneneristävyys tilaelementtien välillä.

## 3 MITTAUKSET STANDARDIN ISO 10848 MUKAAN

Standardissa ISO-10848-1 kuvataan mittaamenetelmä äänen sivutiesiirtymän mittaamiseksi laboratoriossa tai valmiissa rakennuksessa. Menetelmän lähtökohtana on oletus diffuusista värähtelykentästä rakenteessa ja värähtelyn välittyminen vain mittauksen kohteena olevien pintojen välillä. Kentällä mitattaessa värähtely välittyy myös muihin rakenteisiin ja siksi on odotettavissa suurempia vaimenemisen arvoja.

Mittausten tuloksia voidaan käyttää esimerkiksi samankaltaisten liitosten vertailuun tai standardin EN-12354 mukaisen laskennan lähtötietoina. [5, 6]

Mittauksissa voidaan käyttää herätteenä esimerkiksi ilmaäänilähdettä, askeläänikojetta, impulssiherätteitä tai sähködynaamista tärytintä. Vastaanottimina voidaan käyttää mikrofoneja tai kiihtyvyyssantureita. Keskiäänitasoja mitattaessa osa pinnoista tarvitsee suojata, jotta mitataan vain yhden sivutiesiirtymäreitin osuutta kerrallaan.

Liitoseristävyys lasketaan kaavalla

$$K_{ij} = \overline{D_{a,ij}} + 10 \log \left( \frac{l_{ij}}{\alpha_i \alpha_j} \right), \quad (1)$$

jossa  $\overline{D_{a,ij}}$  on suuntakeskiarvoistettu värähtelykiihtyvyyden tasoerotus,  $l_{ij}$  on elementtien  $i$  ja  $j$  välisen liitoksen pituus sekä  $\alpha_i$  ja  $\alpha_j$  elementtien ekvivalentit absorptiopituudet. Kun tunnetaan elementin rakenteellinen jälkikaiunta-aika  $T_{s,j}$ , ekvivalentti absorptiopituus  $\alpha_j$  voidaan laskea kaavalla

$$\alpha_j = \frac{2,2\pi^2 S_j}{T_{s,j} c_0 \sqrt{f_{ref}}}, \quad (2)$$

jossa  $S_j$  on elementin pinta-ala,  $T_{s,j}$  on elementin rakenteellinen jälkikaiunta-aika taajuudella  $f$ ,  $c_0$  on äänen nopeus ilmassa ja  $f_{ref}$  on referensitaajuus 1000 Hz.

Standardissa ISO 10848 annetaan reunaehtoja mitattujen liitoseristävyysien arviointiin. Moodiluku  $N$  terssikaistalla tulee olla mahdollisimman suuri ja lukuarvoa 5 voidaan yleensä pitää riittävänä. Moodien limittymiskerroin  $M$  tulee olla kaikilla mitattavilla elementeillä yli 250 Hz terssikaistoilla vähintään 1. Taajuuksilla, joiden moodien limittymiskerroin on alle 1, mitattu liitoseristävyys on yleensä yliarvioitu. Kiihtyvyyssanturit tulee kiinnittää jäykästi pinnan normaalin suunnassa ja niiden massan tulee olla riittävän pieni. Liian painava anturi voi vaikuttaa mittaustulokseen varsinkin suurilla taajuuksilla. [6, 7]

## 5 MITTAUKSET JA TULOKSET KOHTEESSA

Mittausten tavoitteena on vertailla uudella mittausmenetelmällä saatavia tuloksia kahden lähes samanlaisen mittausvälin kesken. Kiihtyvyytasoerotusmittauksilla on tarkoitus selvittää, onko äänen sivutiesiirtymässä kerrosten välillä eroja.

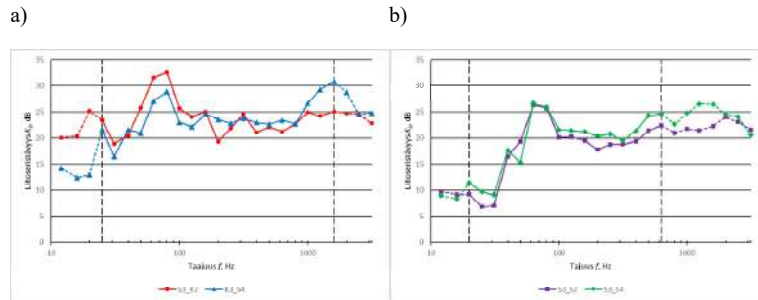
Mittauksissa käytettiin 4 herätepistettä ja 5 anturipistettä seinäpinnoilla sekä 2 herätepistettä ja 3 anturipistettä kattopinnoilla. Seinäpinnoilla kahta anturia oli siirrettävä kahden herätepisteen jälkeen, joten anturipisteitä oli yhteensä 7 kullakin seinäpinnalla. Anturipareja oli siis yhteensä 25 seinäpinnoilla ja 9 kattopinnoilla.

Anturit sijoitettiin pääsääntöisesti pintojen reuna-alueille ja herätepisteet keskeemmälle. Standardissa annettujen minimietäisyysvaatimusten täyttämiseksi anturi- ja herätepisteiden sijoittelusta pinnoille tehtiin suunnitelmat etukäteen. Kiinnitysvaiheessa pisteiden sijainnit vaihtelivat suunnitelluista enintään 15 cm. Mittauksissa käytetyt pinnat on lueteltu taulukossa 1.

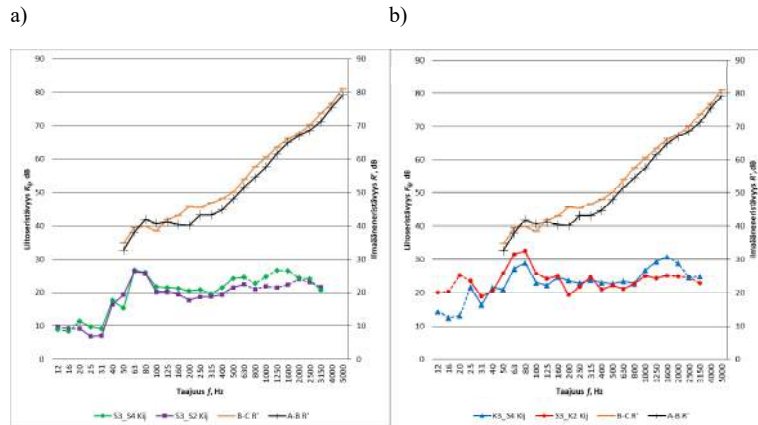
**Taulukko 1.** Mittauksissa käytetyt pinnat.

Elementti	Pinta	Pinnan numerointi
A	Tilaelementin katto	K2
	Tilaelementin päätyseinä	S2
B	Tilaelementin katto	K3
	Tilaelementin päätyseinä	S3
C	Tilaelementin päätyseinä	S4

Mittauksissa herätepisteisiin iskettiin vuorollaan 60 sekunnin ajan 1 – 2 Hz taajuudella. Voimakkaammilla iskuilla saatiin parempi signaalikohinasuhde. Kiihtyvyyssanturien signaalit tallennettiin 10 kHz näytteenottotaajuudella tietokoneella käsittelyä varten. Kiihtyvyyssignaalit analysoitiin tietokoneella ja niistä laskettiin tarvittavat arvot aiemmin kuvatuilla ohjelmissa. Tulokset vietiin taulukkolaskentaohjelmaan analysoinnin jatkamista ja kuvaajien piirtämistä varten.



**Kuva 2.** a) Seinä-katto mittausten vertailu ja b) Seinä-seinä mittausten vertailu.

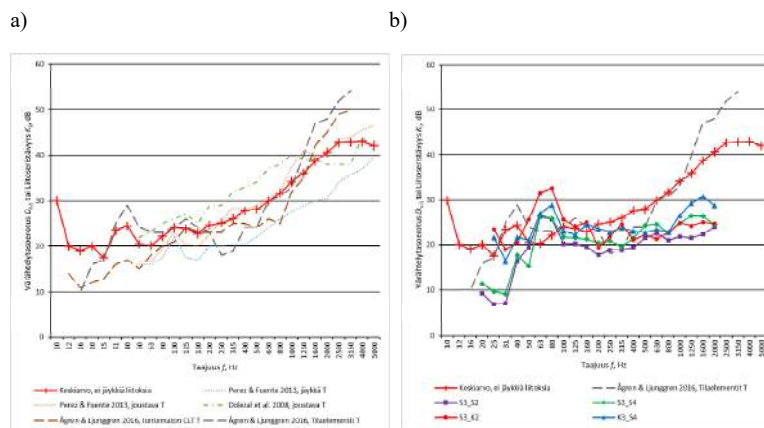


**Kuva 3.** a) Seinä-seinä liitoseristävyyden vertailu ilmaääneneristävyyteen ja b) Seinä-katto liitoseristävyyden vertailu ilmaääneneristävyyteen.

Kuvassa 2 on esitetty kohteessa tehtyjen liitoseristävyyden mittausten tuloksia. Kuvassa 2 a) näkyy, että pintojen S3 ja S4 välillä on suurempi liitoseristävyys, kuin pintojen S3 ja S2 välillä. Kuvassa 2 b) näkyy, että pintojen K3 ja S4 välillä on suurempi liitoseristävyys, kuin pintojen S3 ja K2 välillä. Kuvaan on merkitty pystyyn katkoviivoilla taajuusalue, jolla saavutettiin standardin vaatima 10 dB signaali-kohinasuhde. Tämän taajuusalueen ulkopuoliset tulokset on piirretty katkoviivoilla.

Kuvassa 3 a) ja b) on esitetty liitoseristävyyden mittausten tulosten vertailu ilmaääneneristävyyden mittausten tuloksiin. Mitattu liitoseristävyys korreloi hyvin mitatun ilmaääneneristävyyden kanssa.

Kuvassa 4 a) on esitetty kirjallisuudesta saatuja  $K_{ij}$  ja  $D_{v,ij}$  arvoja, sekä niiden keskiarvo. Kuvassa 4 b) on esitetty mitattujen liitoseristävyyksien vertailu kirjallisuudesta saatuihin liitoseristävyyden arvoihin. Pienillä ja keskitaajuuksilla mittaustulokset mukailevat Ågrenin & Ljunggrenin mittauksen kuvaajaa, joka erkanee 630 Hz terssikaistalla jyrkkään kasvuun.



**Kuva 4.** a) Kirjallisuudesta saatuja mitattujen liitoseristävyyksien ja värähtelutasoerotusten arvoja sekä b) Mitattujen liitoseristävyyksien vertailu kirjallisuudesta saatuihin liitoseristävyyksiin. [1-3, 8]

## 5 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa mitattiin äänen sivutiesiirtymää CLT-tilaelementtien välillä. Mittausmenetelmällä saatiin tuloksia, joissa näkyi ero liitoseristävyydessä kahden lähes samanlaisen liitoksen välillä. Mitattu liitoseristävyys korreloi mitatun ilmaääneneristävyyden kanssa hyvin. Mitattu liitoseristävyys on suurempi elementtien B ja C välillä, kuin elementtien A ja B välillä, samoin kuin ilmaääneneristävyys. Liitoksen tarkempaa tarkastelua varten tarvittaisiin enemmän anturi- ja herätepisteitä. Mitattu liitoseristävyys mukailee Ågrenin & Ljunggrenin tilaelementeillä tehdyn mittauksen kuvaajaa ja ei juurikaan muiden CLT-rakenteilla tehtyjen mittausten kuvaajaa.

Moodiluvun ja moodien limittymiskertoimen tarkastelun perusteella pienillä taajuuksilla mitattu liitoseristävyys on todennäköisesti yliarvioitu. Suurilla taajuuksilla heräte ei ollut tarpeeksi voimakas riittävän signaalikohinasuhteen saavuttamiseksi. Liitoseristävyysmittauksissa saavutettiin riittävä signaalikohinasuhde pääasiassa 25 Hz – 1250 Hz terssikaistoilla.

### VITTEET

- [1] A. Ågren, F. Ljunggren, In situ measured flanking transmission in light weight timber houses with elastic flanking isolators - Part II, InterNoise 2016: 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future, Hamburg, Germany, August 21-24, 2016, German Acoustical Society, Berlin, pp. 3772-3781.
- [2] F. Dolezal, T. Bednar, M. Teibinger, Flankenübertragung bei Massivholzkonstruktionen – Teil 1: Verbesserung der Flankendämmung durch Einbau elastischer Zwischenschichten und Verifizierung der Anwendbarkeit von EN 12354, Bauphysik, Vol. 30, Iss. 3, 2008, pp. 143-151.
- [3] S. Schoenwald, B. Zeitler, I. Sabourin, F. King, Sound insulation performance of cross laminated timber building systems, 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013 (INTER-NOISE 2013): Noise Control for Quality of Life, Innsbruck, Austria, September 15–18, 2013, Austrian Noise Abatement Association, Vienna, pp. 10.
- [4] ISO 140-4, Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms, the International Organization for Standardization, Geneva, 1998, .
- [5] SFS-EN 12354-1, Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms, European Committee for Standardization, Brussels, 2000, .
- [6] ISO 10848-1, Acoustics. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms. Part 1: Frame document, the International Organization for Standardization, Geneva, 2006, .
- [7] ISO 10848-4, Acoustics. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms. Part 4: Application to junctions with at least one heavy element, the International Organization for Standardization, Geneva, 2010, .
- [8] M. Pérez, M. Fuente, Acoustic design through predictive methods in Cross Laminated Timber (CLT) panel structures for buildings, 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013 (INTER-NOISE 2013): Noise Control for Quality of Life, Innsbruck, Austria, September 15–18, 2013, Austrian Noise Abatement Association, Vienna, pp. 5539-5547.