

Opinnäytetyö (AMK)
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka
2016

Akseli Rosqvist

PUUKERROSTALON ASKELÄÄNENERISTÄVYYS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Akseli Rosqvist

PUUKERROSTALON ASKELÄÄNENERISTÄVYYS

Tässä opinnäytetyössä esitellään askelääneen liittyviä tekijöitä 50–3 150 Hz:n taajuusalueella. Työssä arvioidaan nykyisten rakentamismääräysten soveltuvuutta vastaamaan ihmisen aistimuksia ja toteutetaan käytännössä standardin SFS-EN ISO 140-7* mukainen askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ määrittäminen kahdessa puukerrostalokohteessa, joissa asukkaat ovat kokeneet askeltamiseen liittyvää äänihaittaa yläpuolisista tiloista.

Opinnäytetyössä käsitellään tiivistettynä askeläänen syntyä ja teoriaa keskittyen kelluvien lattiarakenteiden ja puisten välipohjien äänihaasteisiin. Työssä esitellään muutamia puuvälipohjarakenteita ja niiden liittyviä seiniin äänenvaimennuksen näkökulmasta.

Opinnäytetyö on osa askeläänihanketta, jonka on tarkoitus tutkia välipohjarakenteiden käyttäytymistä taajuusvälillä 50–3150 Hz ja tuoda rakennusliikkeille ja suunnittelijoille tietoa välipohjien akustisesta toiminnasta matalilla taajuuksilla (alkaen 50 Hz:stä) suunnitteilla olevien, vuonna 2017 uudistettavien rakentamismääräysten täyttämiseksi.

* Mittausstandardi SFS-EN ISO 140-7 on kumottu standardilla SFS-EN ISO 16283-2, joka on tullut voimaan 15.12.2015.

ASIASANAT:

Askelääneneristävyys, välipohja, puukerrostalo

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Structural Engineering

2016 | 32

Vesa Viljanen, Vesa Virtanen

Akseli Rosqvist

IMPACT SOUND INSULATION IN WOODEN APARTMENT BUILDINGS

The thesis focuses on the issues of impact sound insulation in wooden apartment buildings concerning the frequency range of 50 Hz - 3150 Hz.

In the thesis is considered how well the building regulations presented in the National Building Code of Finland correspond to the hearing sense of a human. As a practical part the thesis studies a measurement of impact sound insulation according to the standard SFS-EN ISO 140-7* in a wooden apartment building where occupants have experienced disturbance related to stepping noises.

The theory and origin of impact sound are explained concentrating mainly on problems related with floating floors and timber structures. The thesis presents a few different timber intermediate floors and joining them to vertical structures.

The thesis is part of an impact sound project the goal of which is to study the sound behavior of intermediate floors in low frequencies (from 50 Hz) and bring the output to knowledge of construction companies and designers in order to measure up to prospective changes in the building regulations in 2017.

*The standard SFS-EN ISO 140-7 was replaced by the standard SFS-EN ISO 16283-2 which took effect on 15th December 2015.

KEYWORDS:

Impact sound insulation, intermediate floors, wooden apartment building.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 ASKELÄÄNI ILMIÖNÄ	7
2.1 Määräykset ja ohjeet	7
2.2 Askelääneneristävyys	9
2.3 Spektripainotusermi	10
3 ASKELÄÄNEN HALLINTA	13
3.1 Kelluva lattia	13
3.2 Puuvälipohjan rakenneratkaisuja ja liitoksia	17
3.3 Rakenteen onnistunut toteutus	22
4 ASKELÄÄNITASON MITTAUS PUUKERROSTALOSSA	24
4.1 Taustaa	24
4.2 Mittausmenetelmät	25
4.3 Mittauslaitteet	25
4.4 Lähtötiedot	25
4.5 Mittaustulokset	26
4.6 Tulosten tarkastelu	29
5 POHDINTA	31
LÄHTEET	32

KUVAT

Kuva 1. Askeläänitasoluvun lukeminen ja vertailukäyrän sijoitus.	10
Kuva 1. Askeläänitasoluvun lukeminen ja vertailukäyrän sijoitus.	10
Kuva 2. Matalataajuinen piikki käyrällä, joka kuuluu töminänä vastaanottotilassa.	12
Kuva 3. Tyypillinen puukerrostalossa käytettävä palkkivälipohja.	16
Kuva 5. Tyypillinen välipohjaratkaisu puukerrostalossa.	18
Kuva 6. Puukerrostalon välipohja ilman kelluvaa laattaa.	18
Kuva 7. CLT-elementeistä valmistettu välipohjarakenne.	19
Kuva 8. Huoneistojen välisen kantavan seinän ja välipohjan liittymä.	20
Kuva 9. Huoneiston sisäisen ei-kantavan seinän ja välipohjan liittymä.	21
Kuva 10. Huoneiston sisäisen kantavan seinän ja välipohjan liittymä.	21
Kuva 11. Ulkoseinän ja välipohjan liittymä.	22
Kuva 12. Toinen mittausten kohteena olevista puukerrostaloista.	24
Kuva 13. Mittaus asuntojen A8 ja A4 olohuoneiden välillä.	26
Kuva 14. Mittaus asuntojen A8 ja A4 makuuhuoneiden välillä.	27
Kuva 15. Mittaus asunnon B35 parvekkeelta asunnon B30 olohuoneeseen.	27
Kuva 16. Mittaus asuntojen B35 ja B30 olohuoneiden välillä.	28
Kuva 17. Askelluksen tuottamat äänenpainetasot lineaarisena ja A-painotettuna.	29

TAULUKOT

Taulukko 1. Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun arvot.	8
Taulukko 2. Asuntojen A8 ja A4 välisen kokeen mittaustulokset taulukoituna.	27
Taulukko 3. Asuntojen B35 ja B30 välisen kokeen mittaustulokset taulukoituna.	27

1 JOHDANTO

Hyvä akustiikka ja rakennuksen riittävät ääneneristävyyssominaisuudet ovat olennainen osa kerrostalojen asumisviihtyvyyttä. Rakentamismääräyksillä määritellään äänitaso- ja ääneneristysvaatimukset. Toisinaan myös määräykset täyttävissä rakennuksissa esiintyy tyytymättömyyttä esimerkiksi välipohjan ääneneristyskykyyn. Syyt siihen ovat osittain tiedossa. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ja arvioidaan näitä äänen häiritsevyystekijöitä.

Ympäristöministeriö on uusimassa Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C1, 1998 vuosina 2017–2018 mukaan lukien määräykset koskien askelääneneristävyyttä. Erityisesti kelluviin lattioihin liittyvä, alle 100 Hz:n taajuudella lähinnä askeltamisesta syntyvä töminä-ääni on koettu häiritseväksi. Uusien rakentamismääräysten on tarkoitus huomioida askeläänitasoluvun määrittäminen 50 Hz:n alarajataajuudesta lähtien. Nykyiset määräykset huomioivat askeläänitasoluvun taajuusvälillä 100–3 150 Hz (SFS-EN ISO 717-2).

Opinnäytetyö on osa askeläänihanketta, jonka on tarkoitus tutkia välipohjarakenteiden käyttäytymistä taajuusvälillä 50–3 150 Hz ja tuoda rakennusliikkeille ja suunnittelijoille tietoa välipohjan äänikäyttäytymisestä matalilla taajuuksilla uudistettavien rakentamismääräysten täyttämiseksi. Hankkeen vetäjänä toimii fyysikko, johtava ääniasiantuntija Vesa Viljanen Noisecontrol-yrityksestä. Hän on myös toiminut tämän opinnäytetyön ohjaajana.

Mittausvastaavana opinnäytetyössä esitellyissä askelääneneristävyyssmittauksissa toimi diplomi-insinööri Kimmo Kokki, Promethor Oy. Mittaukset suoritettiin kahdessa uudessa puukerrostalokohteessa pääkaupunkiseudulla.

2 ASKELÄÄNI ILMIÖNÄ

Askelääni tarkoittaa runkoääntä, joka syntyy kävelyn, esineen putoamisen, huonekalun siirron tai vastaavan äänen kohdistumisesta lattiaan. Rakenne, joka vastaanottaa tällaisen iskun, saa sen ympärillä olevan ilman värähtelemään aiheuttaen rakenteen toisella puolella olevaan vastaanottotilaan ilmaäänien. Askelääni voidaan siis havaita äänilähdettä ympäröivissä tiloissa. Askeläänivärähtely siirtyy suoraan rakenteen läpi alapuoliseen tilaan tai runkoääninä viereisiin ja yläpuolisiin tiloihin sivutiesiirtymänä. Askelääneneristykseen tarkoitus on vaimentaa edellä mainittujen iskujen aiheuttamaa ääntä vähintään määräysarvon saavuttamiseksi. (RIL 243-1-2007, 115.)

2.1 Määräykset ja ohjeet

Äänieristykseen vaatimustaso on määritelty asuinrakennuksiin vuodesta 1979 lähtien, aluksi RIL:n ohjeena. Rakentamismääräyskokoelmassa (osa C1, "Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa") määräysarvo askeläänitasoluvulle esitettiin vuonna 1984. Tuolloin vaatimuksena askeläänitasoluvulle ($L'_{n,w}$) oli 58 dB. Vuonna 1998 rakentamismääräyskokoelmaa uudistettiin ja vaatimus kiristyi 5 dB, eli askeläänitasoluvun määräysarvoksi tuli $L'_{n,w} \leq 53$ dB. (RakMK C1, 1998.) Ympäristöministeriö on uusimassa rakentamismääräyskokoelmaa jälleen vuonna 2017. Uudistukseen sisältyy todennäköisesti myös askeläänitasoluvun tarkennus huomioimalla taajuudet 50 Hz:stä lähtien.

Määräysarvot askelääneneristävyydelle esitetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1, 1998, Ääneneristys ja meluntorjunta asuinrakennuksessa. Mittaukset tehdään rakentamismääräyskokoelman (osa C1, 1998) mukaan standardeissa SFS-EN ISO 140-4, 140-6 sekä 140-7 esitettyjen mittausmenetelmien mukaisesti, ja mittaustulokset esitetään standardissa SFS-EN ISO 717 esitetyllä tavalla. Joulukuussa 2015 on tullut voimaan uusi standardi, SFS-EN

ISO 16283-2:2015, joka kumoaa standardit SFS-EN ISO 140-4, 140-6 ja 140-7, joten uusittavissa määräyksissä mittaukset suoritetaan oletettavasti uuden standardin mukaisesti. Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ arvot on esitetty taulukossa 1. Mittaustulokset, joita verrataan taulukossa 1 esitettyihin määräysarvoihin, mitataan toistaiseksi taajuusalueella 100 Hz–3 150 Hz (SFS-EN ISO 140-7).

Taulukko 1. Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun arvot (RakMK C1 1998).

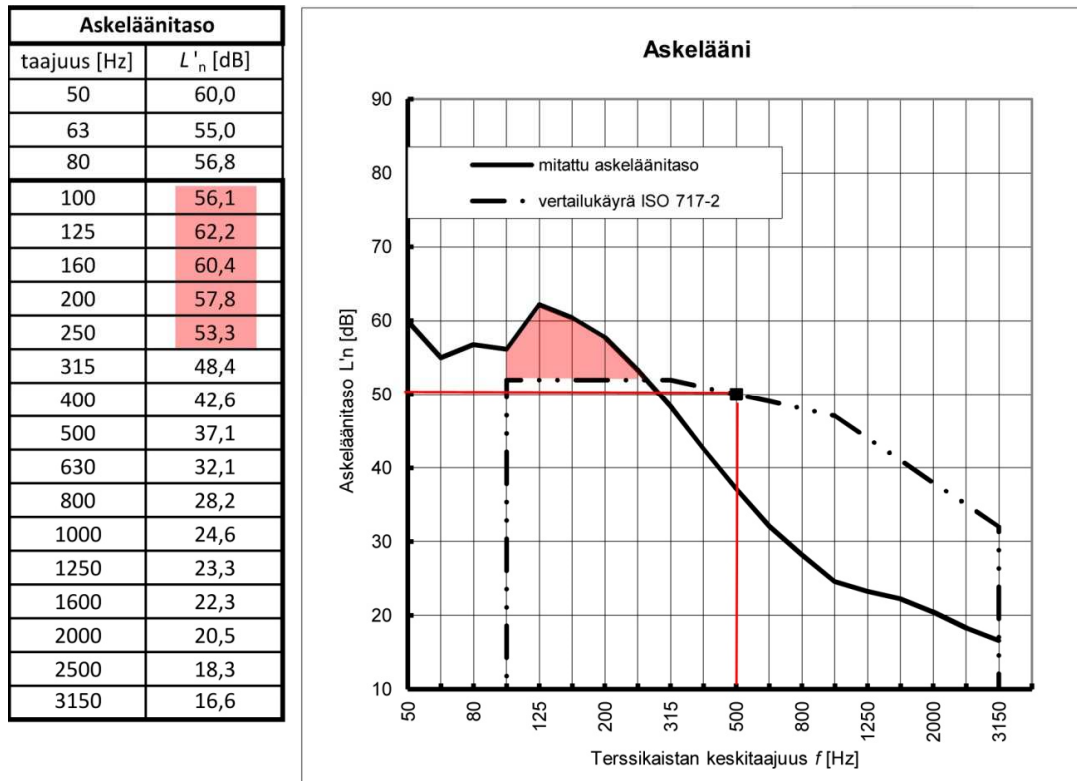
Suurimmat sallitut askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ (dB) arvot ovat	dB
Asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneistoon, yleensä	53
Uloskäytävästä asuinhuoneeseen	63

Suomen määräysarvot ovat Euroopan tasoihin verrattuna kohtuullisen hyvät. Toisaalta esimerkiksi Ruotsissa edellytetään spektripainotustermiin $C_{1,50-2500}$ käyttöä, joka huomioi alle 100 Hz:n taajuudet. Spektripainotustermiä käsitellään tarkemmin luvussa 2.3. Myös Norjassa ja Islannissa suositellaan edellä mainitun termin käyttöä, joskaan se ei ole pakollista. Itävallassa ja Sveitsissä määräykset ovat hieman tiukempia kuin Suomessa ja muissa pohjoismaissa. Vaatimukset ovat Itävallassa 50–43 dB:n luokkaa Suomen vaatimusten mukaisesti esitettynä ja Sveitsissä 52–45 dB. Sveitsissä ja Ruotsissa kevyillä rakenteilla on raskaita korkeammat vaatimukset. (Helimäki & Huhtala, 2009: 53.)

2.2 Askelääneneristävyys

Askelääneneristävyyttä kuvataan askeläänitasoluvulla $L_{n,w}$ (laboratoriomittaus) tai $L'_{n,w}$ (kohdemittaus), joka määritetään standardoidun askeläänikojeen avulla. Kojeessa on viisi 0,5 kg painavaa vasaraa, jotka putoavat 40 mm:n korkeudelta kohdistuen lattiaan 10 iskua sekunnissa. Äänenpainetasot mitataan vastaanottilassa terssikaistoittain 100–3 150 Hz:n taajuuksilla standardin ISO 140-6 (laboratoriossa) tai ISO 140-7 (rakennuksessa) mukaisesti. Mitattuja askeläänitasoja verrataan vertailukäyrään, jonka sijainti määräytyy mittaustulosten perusteella. Vertailukäyrää liikutetaan 1 dB:n välein alimpaan mahdolliseen asentoon, jossa ei-toivottujen poikkeamien summaksi tulee enintään 32 dB. Ei-toivottu poikkeama on vertailukäyrän arvon ja vertailukäyrän yläpuolelle jääneiden mitattujen lukujen erotus. Kuvan 1 esimerkissä ei-toivotut poikkeamat on havainnollistettu korostamalla. Kun vertailukäyrän sijainti on määritetty, luetaan askeläänitasoluku 500 Hz:n kohdalta vertailukäyrältä, jonka muoto on määritelty standardissa SFS-EN ISO 717-2. Kuvassa 1 on esitetty mittaustulos puukerrostalokohteesta, jossa askeläänitasoluvuksi on mitattu 50 dB (havainnollistettu pisteellä vertailukäyrällä). Tilojen välinen askelääneneristävyys on sitä parempi, mitä pienempi askeläänitasoluku on. (RIL 243-1-2007, 115–117.)

Uudessa mittausstandardissa SFS-EN ISO 16283-2:2015 esitetään mittausmenetelmänä myös niin sanottu pallonpudotuskoe, jossa standardin mukainen kumipallo pudotetaan yhden metrin korkeudelta lattialle ja sen tuottamat äänenpainetasot mitataan samaan tapaan kuin askeläänikojeenkin. Matalat taajuudet saadaan huomioitua kumipallon pudotuksella askeläänikojetta paremmin.



Kuva 1. Askeläänitasoluvun lukeminen ja vertailukäyrän sijoitus.

Vertailukäyrä alkaa 100 Hz:stä, eikä askeläänitasoluvun määrittämisessä huomioida sitä matalampia taajuuksia. Kuitenkin askeltamisen aiheuttamat äänenpainetasot ovat korkeimmillaan alle 100 Hz:n keskitaajuuksilla. Ilmiö liittyy välipohjarakenteen ominaistajuuteen. Askelääni on selvästi erotettavissa ”töminänä” ja mitattavissa vastaanottotilassa, kuten kuvan 2 esimerkissä havaitaan. Useat ihmiset pitävät tällaista töminää ääntä häiritsevänä. (RIL 243-1-2007, 118.) Töminä-ilmio liittyy erityisesti kelluviin lattiarakenteisiin.

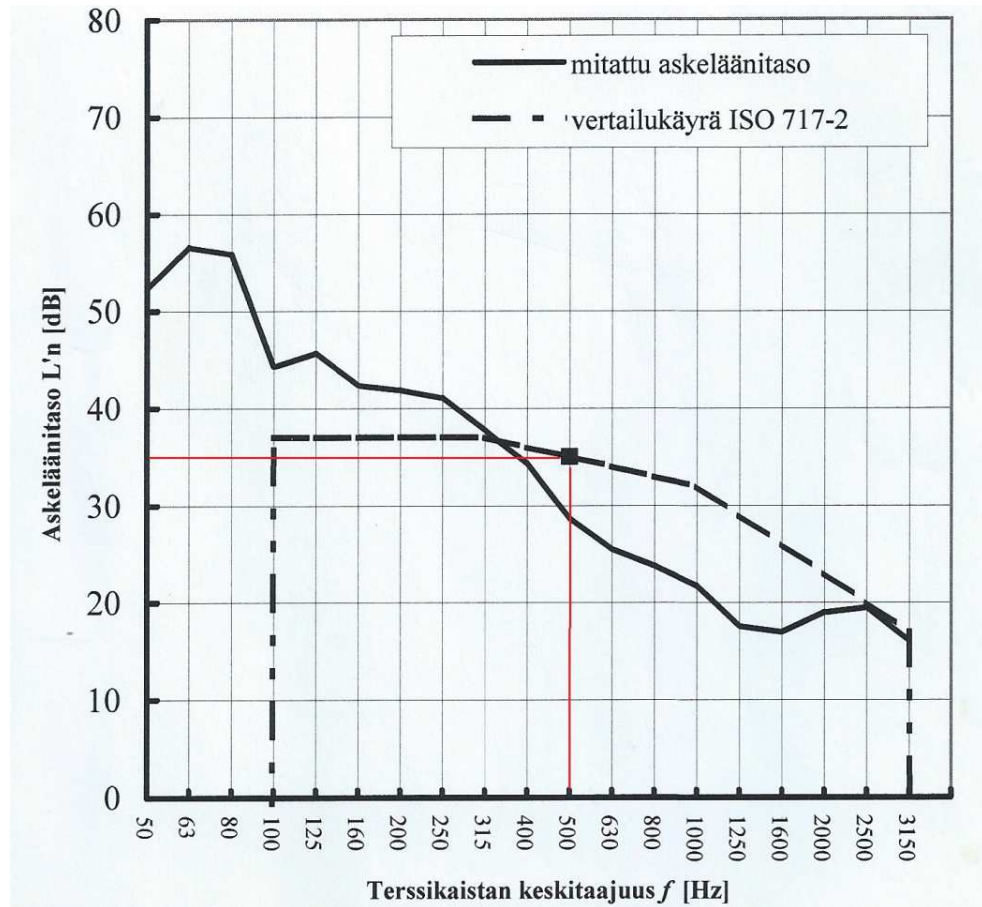
2.3 Spektripainotusermi

Pelkästään askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ on todettu riittämättömäksi kuvaamaan rakenteen akustisia ominaisuuksia, sillä se mitataan taajuuskaistoilla 100–3150 Hz, eikä näin huomioida matalataajuisia töminää. Tämän vuoksi standardissa SFS- EN ISO 717-2 on määritelty spektripainotusermit C_I ja $C_{I,50-2500}$. Jälkimmäinen termi $C_{I,50-2500}$ lasketaan taajuuskaistoilla 50–2500 Hz mitatuista äänen-

painetasoista ja askeläänitasoluvusta, ja huomioi näin myös äänispektrin matalat taajuudet. Ihmisen kokemusta paremmin kuvaava luku saadaan esimerkiksi askeläänitasoluvun ($L'_{n,w}$) ja spektripainotusterman ($C_{I,50-2500}$) summalla ($L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$).

On kuitenkin huomioitava, että vaikka askeläänitasoluku ($L'_{n,w}$) alittaisi määräsarvon selkeästi taajuusalueella 100–3150 Hz, mutta alle 100 Hz:n taajuuksilla äänenpainetasot ovat selvästi muuta käyrää korkeammalla, kuten kuvassa 2, käyrällä terssikaistalla 63–80 Hz:n kohdalla oleva piikki erottuu häiritsevänä töminänä. Kyseisen välipohjan askeläänitasoluku on 35 dB ja spektripainotustermi 11 dB. Esimerkissä kuvailtu ilmiö liittyy erityisesti kelluvaan lattiaan ja sen ominaistajuuteen eli resonanssitaajuuteen. Esimerkkivälipohjan (kuva 2) ominaistajuus on noin 63–80 Hz. Kuvan 1 esimerkissä spektripainotustermi on 3 dB ja kyseisen välipohjan ominaistajuus havaitaan käyrältä 125 Hz:n kohdalta.

Suomen rakentamismääräykset eivät toistaiseksi edellytä spektripainotustermien käyttöä. (RIL 243-1-2007, 118–119.) Uusittava määräyskokoelma tulee mitä todennäköisimmin huomioimaan spektripainotusterman. Laskentakaava spektripainotustermille löytyy standardista SFS-EN ISO 717-2.



Kuva 3. Matalataajuinen piikki käyrällä, joka kuuluu töminänä vastaanottotilassa.

Uusia määräyksiä kehitettäessä tämä tulisi ottaa huomioon ja miettiä, otetaanko matalat taajuudet huomioon yhdellä lukuarvolla, esimerkiksi $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$, vai määrätäänkö spektripainotustermille oma maksimiarvo, jolloin matalataajuinen melu ei erottuisi muusta spektristä.

3 ASKELÄÄNEN HALLINTA

Välipohjan ääneneristävyyteen vaikuttavat olennaisesti rakenteen massa, ominaistajuus (f_0), äänieristeen dynaaminen jäykkyys (s') sekä lattian pintamateriaali. Kerrostalon välipohjana on useimmiten ontelolaatta tai massiivinen betoni-laatta. Näillä rakenteilla askelääneneristävyyden määräysarvo saavutetaan rakenteen riittävällä omalla massalla tai kerroksellisilla rakenteilla. Esimerkiksi kun lattianpäällysteen halutaan olevan vapaasti valittavissa, käytetään kelluvaa lattiarakennetta. (Helimäki & Kylliäinen, 554.) Kevyille, puurakenteisille välipohjille suositellaan tehtäväksi kelluva lattia sekä joustavasti rakenteeseen kiinnittyvä alakatto (RT 82-10838). Kevyiden ja raskaiden välipohjien äänitekniinen toiminta poikkeaa merkittävästi toisistaan.

3.1 Kelluva lattia

Mitä massiivisempi välipohjarakenne on, sitä vähemmän se värähtelee äänen vaikutuksesta. Rakenteet, joiden äänitekniinen toiminta perustuu yksinomaan niiden suureen massaan, ovat yksinkertaisia, mutta hyvä ääneneristävyys etenkin akustisesti vaativammassa kohteissa voidaan saavuttaa oleellisesti kevyemmälläkin rakenteella käyttämällä kelluvaa lattiaa. Kun lattianpäällysteen haudaan olevan vapaasti valittavissa, käytetään tavallisesti kelluvaa lattiarakennetta. (Helimäki & Kylliäinen, 554.)

Kelluvan lattian käyttö soveltuu parhaiten seuraavanlaisiin kohteisiin

- lattianpäällysteen tulee olla vapaasti valittavissa
- asuintaloissa sijaitsevilla myymälöissä ja niiden varastoissa
- teattereissa, elokuvateattereissa, studioissa ja koulujen musiikkiluokissa
- puukerrostaloissa
- kun asennetaan lattialämmitys
- välipohja on kevytrakenteinen.

Kelluva lattia koostuu kantavan välipohjan päälle tehtävästä pehmeästä eristekerroksesta, jonka päälle asennetaan rakennuslevy tai tehdään pintalaatta esimerkiksi massiivisesta rakennuslevystä, betonista tai kipsistä. Eristekerroksena voi olla mineraalivilla, elastinen EPS-levy (dynaaminen jäykkyys $\leq 20 \text{ MN/m}^3$), tärinäeristimet tai niiden yhdistelmä. (RIL 243-1-2007, 122.) Kelluva lattia voidaan päällystää alustaansa liimattavalla parketilla, luonnonkivellä, keraamisella laattalla tai vastaavalla kovalla pinnoitteella, ja saavuttaa silti hyvä ääneneristävyyttä.

Kelluvan lattian akustisen toiminnan hallinnan kannalta tärkein ominaisuus on sen ominaistajuus f_0 [Hz], eli resonanssitaajuus, joka riippuu kelluvan rakenteen pintamassasta m' [kg/m^2] ja eristekerroksen dynaamisesta jäykkyydestä s' [MN/m^3] sekä kevyillä välipohjilla lisäksi muun välipohjan painosta ja ilmatilan korkeudesta. Betonivälipohjan päälle rakennettavan kelluvan lattian ominaistajuus lasketaan kaavalla 1.

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

Kaava 1.

Eristemateriaalin dynaaminen jäykkyys määritellään laboratoriossa ja se tulee saada tietoon eristeen valmistajalta.

Ominaistajuutta voidaan siis alentaa pienentämällä eristeen dynaamista jäykkyyttä tai lisäämällä pintakerroksen massaa. Asuinrakennuksissa kelluvan lattiarakenteen ominaistajuus tulisi mitoittaa enintään 50 Hz:iin, jotta ääneneristys olisi asukkaista subjektiivisesti hyväksyttävissä. (RIL 243-1-2007, 122.)

Kevyiden välipohjien kohdalla tulee tarkistaa sekä pintalaatan että alakattolevytyksen ominaistajuudet. Pintalaatan resonanssitaajuus f_0 lasketaan kaavalla 2.

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}}$$

Kaava 2.

jossa

m_1 = pintalaatan paino [kg/m^2]

m_2 = muun välipohjan paino (ilman pintalaattaa) [kg/m^2]

s' = eristeen dynaaminen jäykkyys [MN/m^3]

Alakattolevytyksen alin resonanssitaajuus f_0 lasketaan kaavalla 3.

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2 d}}$$

Kaava 3.

jossa

m_1 = alakattolevytyksen paino [kg/m^2]

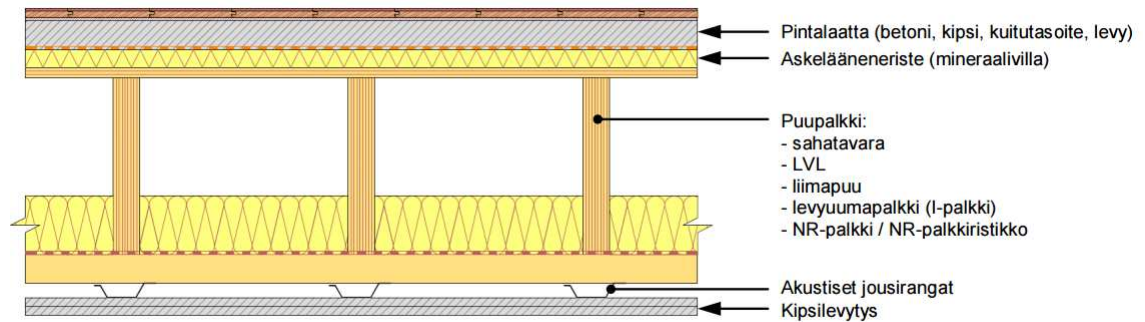
m_2 = muun välipohjan paino [kg/m^2]

d = ilmatilan korkeus [m]. (Ääneneristys puutalossa, 2004: 33.)

Puukerrostalojen puisten välipohjien äänellisesti toimivista ratkaisuista löytyy huomattavasti vähemmän tietoa kuin betonisten välipohjien. Puurakenteisella palkkivälipohjalla (kuva 3) ei ole suurta massaa vaimentamassa matalia taajuuksia, mutta korkeat taajuudet vaimenevat hyvin. Askeläänen kannalta toimiva puuvälipohja valmistetaan useasta kerroksesta. Palkkivälipohjan askelääneneristävyyttä perustuu jousi-massayhdistelmään, jossa massana toimivat välipohjan kansirakenne sekä joustavasti kiinnitetty alakattolevytys. Askeläänen hallitsemiseksi joudutaan pääsääntöisesti käyttämään kelluvaa rakennetta, joka estää myös sivutiesiirtymiä. Kuten raskailla välipohjilla, askeläänieristeen dynaamisella jäykkyydellä ja pintalaatan massalla on suuri vaikutus lattian askelääneneristävyyteen. Eristeen dynaamisen jäykkyyden tulee olla alle 20 MN/m^3 . Kel-

luvan laatan alla oleva kerros on tavallisesti 30–50 mm paksua eristemateriaalia, tavanomaisesti mineraalivillaa.

Jousena toimii näiden massojen väliin jäävä ilmatila. Ilmatilan tulisi olla yli 200 mm korkea, ja sinne tulisi asentaa vähintään 100 mm ääntä absorboivaa materiaalia, esimerkiksi mineraalivillaa. (Palkkivälipohjan äänitekniikka, 2011.)



Kuva 4. Tyypillinen puukerrostalossa käytettävä palkkivälipohja (Palkkivälipohjan äänitekniikka, 2011).

Yleisesti kevyen välipohjan akustisessa suunnittelussa seuraavat asiat tulee ottaa huomioon:

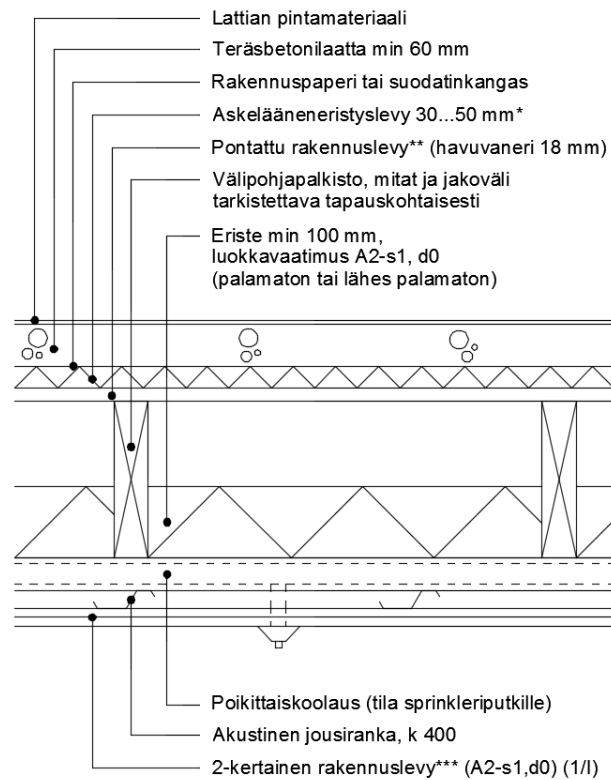
- pääkannattimen ja seinän liitos tulee vaimentaa elastisella materiaalilla
- raskaammat lattianpäällysteet parantavat lattian akustista toimintaa
- alakaton ripustuksen tulee olla varustettu jousirangoilla tai tärinävaimentimilla. (Ääneneristys puutalossa, 2004.)

Kevyen välipohjan ääneneristävyys paranee sen alimman resonanssitaajuuden yläpuolella, joten sen tulisi olla mahdollisimman alhainen (Ääneneristys puutalossa, 2004).

3.2 Puuvälipohjan rakenneratkaisuja ja liitoksia

Tässä luvussa esitellään lyhyesti erilaisia puukerrostaloissa käytettyjä välipohjarakenteita ja seinäliittymiä. Rakenneratkaisulla vaikutetaan olennaisesti välipohjan akustiikkaan ominaistuuksien ja eristävyden kautta, mutta myös liitosdetaljit ovat tärkeä osa välipohjan ääniteknistä toimivuutta erityisesti sivutiesiirtymien kannalta. Välipohjan värähtelyn siirtyminen kantavaan runkoon pyritään estämään erilaisilla elastisilla tiivisteillä liitoksissa.

Kuvassa 4 esitetty rakenne on tyypillinen ratkaisu puukerrostalon välipohjana. Koolauksen päällä oleva rakennuslevy toimii välipohjaa jäykistävänä levynä sekä runkovaiheen työskentelytasona. Askelääneneristyslevyn dynaamisen jäykkyyden s' tulee olla alle 20 MN/m^3 . Rakenteen alapuoliset rakennuslevyt toimivat välipohjan akustisena massana ja palosuojauksena, kuten myös rakenteen sisällä oleva mineraalivilla. Koolausväli, kelluvan laatan paksuus ja askelääneneristeen materiaali määritellään tapauskohtaisesti. (Puukerrostalon rakenteet, 2016.)



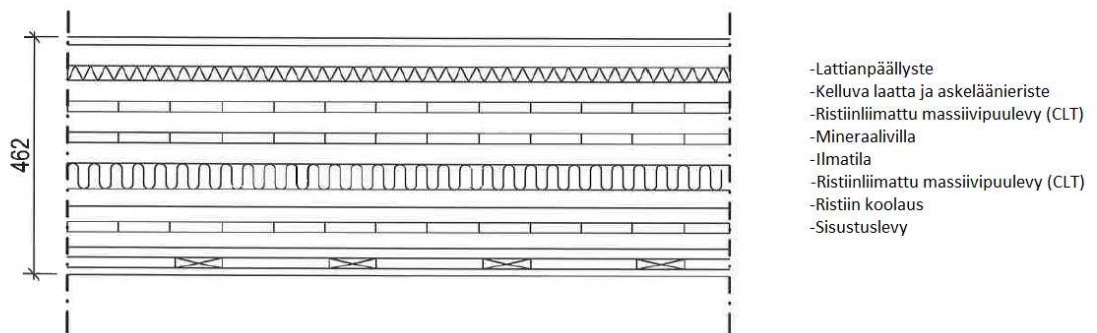
Kuva 5. Tyypillinen välipohjaratkaisu puukerrostalossa (Puukerrostalon rakenteet, 2016).

Kuvassa 5 esitetty välipohja on kehitetty toimimaan ilman kelluvaa lattiaa, ja sitä on tutkittu laboratoriossa ja koerakennuksessa. Ratkaisun on todettu täyttävän askeläänitasoluvun vaatimuksen askeläänikojeella mitattuna.



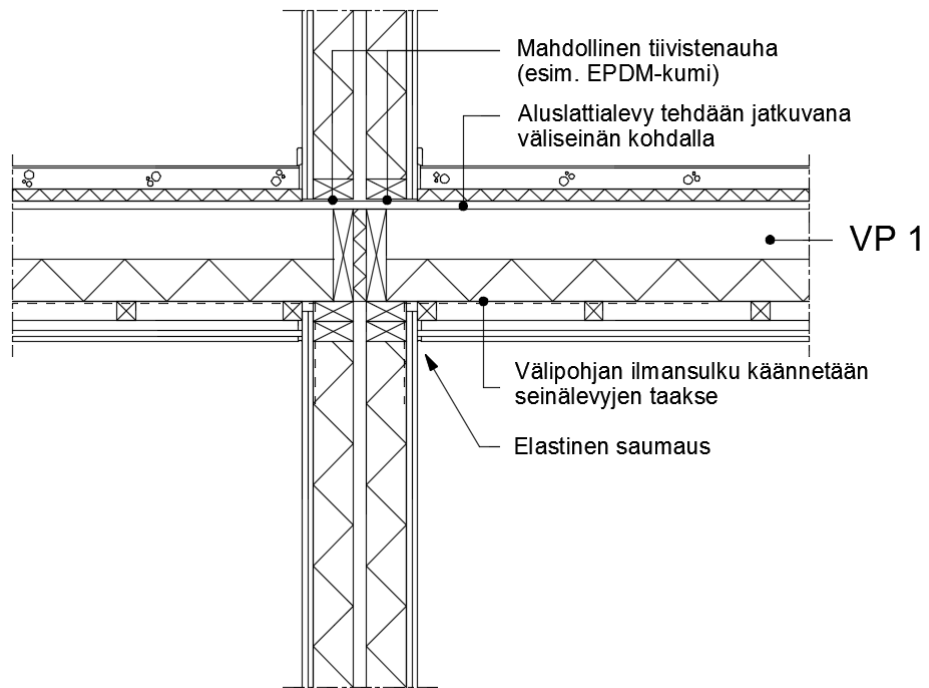
Kuva 6. Puukerrostalon välipohja ilman kelluvaa laattaa (Kylliäinen, 2015).

Välipohjana voidaan käyttää myös CLT-elementeistä, askeläänieristeestä ja kelluvasta lattiasta koostuvaa rakennetta, josta yksi esimerkki on esitelty kuvassa 6. Tällaisen välipohjan eristävyys perustuu useisiin rakennekerroksiin ja palkkivälipohjaan verrattuna suureen massaan. Kyseistä rakennetta on käytetty eräässä puukerrostalokohteessa, ja sen äänitekniistä toimintaa käsitellään luvussa 4.

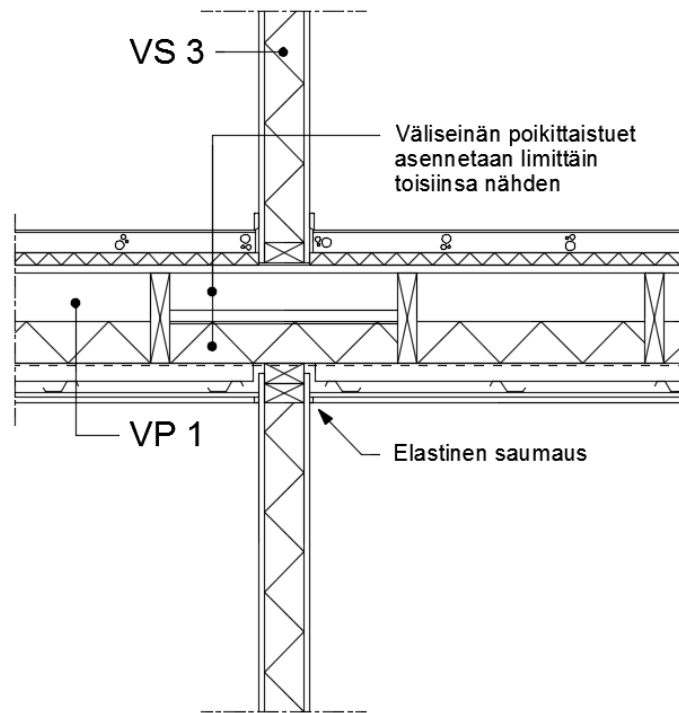


Kuva 7. CLT-elementeistä valmistettu välipohjarakenne.

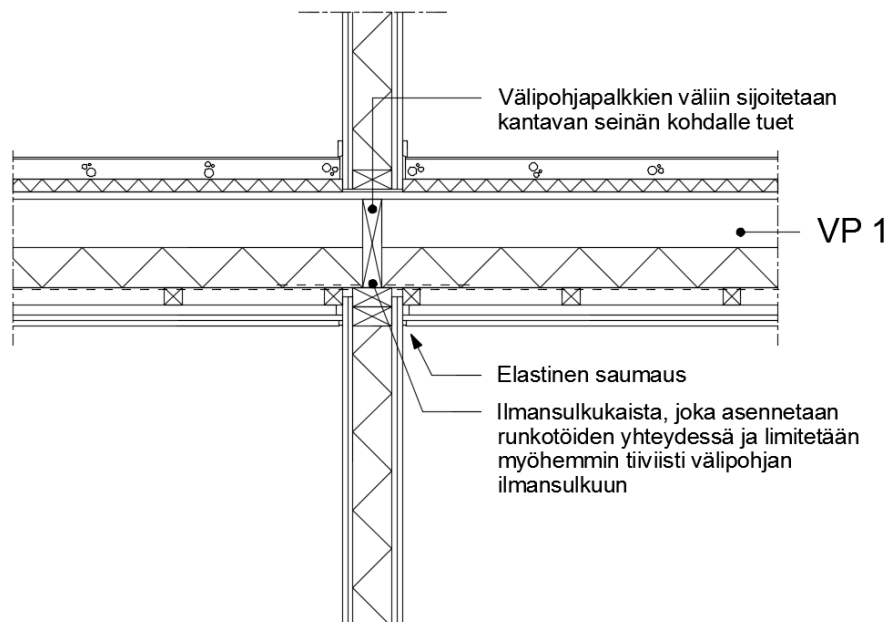
Kuvassa 7 esitellään välipohjan ja huoneistojen välisen kantavan seinän liittäminen. Palkisto katkaistaan huoneistojen välillä, jotta ääni ei kulje sivutiesiirtymänä viereiseen asuintilaan. Kuvassa 8 esitellään välipohjan ja huoneiston sisäisen ei-kantavan väliseinän liittäminen ja huoneiston sisäisen kantavan väliseinän liittäminen kuvassa 9. Kuvassa 10 on esitelty välipohjan ja ulkoseinän liittäminen. Rakenteita ei tule kiinnittää joustamattomilla materiaaleilla toisiinsa. (Puukerrostalon rakenteet, 2016.)



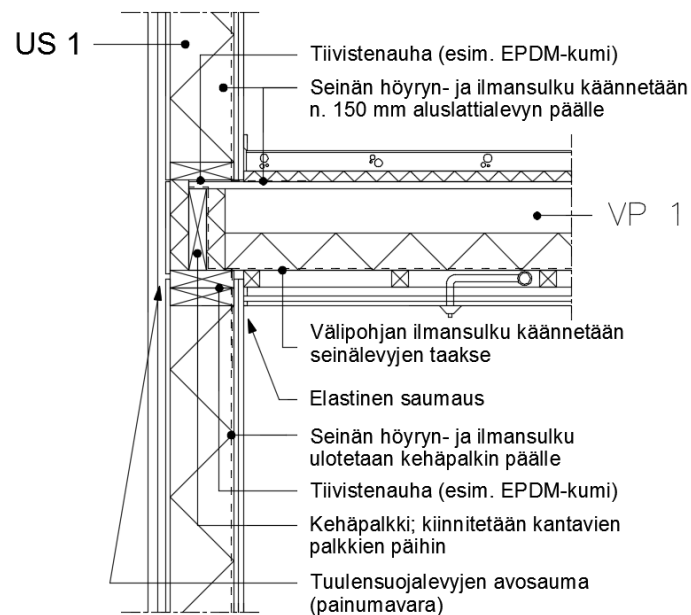
Kuva 8. Huoneistojen välisen kantavan seinän ja välipohjan liittymä (Puukerrostalon rakenteet, 2016).



Kuva 9. Huoneiston sisäisen ei-kantavan seinän ja välipohjan liittymä (Puukerrostalon rakenteet, 2016).



Kuva 10. Huoneiston sisäisen kantavan seinän ja välipohjan liittymä (Puukerrostalon rakenteet, 2016).



Kuva 11. Ulkoseinän ja välipohjan liittymä (Puukerrostalon rakenteet, 2016).

3.3 Rakenteen onnistunut toteutus

Kelluvan lattian toimivan ääneneristävyys edellyttää asiantuntevaa suunnittelua sekä työnaikaista valvontaa. Rakennekerrosten paksuus ja äänieristeen dynaaminen jäykkyys tulee määrittellä tarkoin ammattitaitoisen suunnittelijan toimesta. Huolellisuus asennusvaiheessa on erittäin tärkeä osa kelluvan rakenteen toteutusta. Huomiota tulee kiinnittää siihen, ettei kelluva laatta missään kohdassa tule jäykästi kiinni kantaviin rakenteisiin. Tyypillisiä virheitä ovat (Betoninen kelluva lattia, 2002: 8):

- Pintalaattaa valettaessa eristekerros tai valusuoja on vioittunut siten, että valettava betoni pääsee kosketuksiin kantavan kerroksen kanssa.

- Pintalaatan ja kantavan rakenteen väliin on jätetty tai asennettu jokin kiinteä kappale (esimerkiksi erilaiset kiinnitykset/ankkuroinnit, jotka kulkevat lattian pinnasta kantavaan pohjaan asti).
- Pintalaatta on valettu kiinni sivuaviin rakenteisiin, irrotuskaista on asennettu virheellisesti tai jätetty asentamatta kokonaan.
- Pintalaatta on kiinni lävistävissä rakenteissa (esimerkiksi putkien läpiviennit).
- Kynnykset ja jalkalistat yhdistävät kelluvan ja kantavan rakenteen.
- Lattianpäällyste on asennettu kiinni kantavaan rakenteeseen.
- Kelluvan lattian päälle asennettava väliseinä on kiinnitetty kiinteästi rakennusrunkoon.

Puuvälipohjien asentamisessa tulee kiinnittää erityistä huomiota kantavan välipohjarakenteen eristämiseen seinärakenteista ja varmistua, että hyvin tehdyt suunnitelmat toteutuvat myös työmaalla. Toimivia liitosratkaisuja esiteltiin luvussa 3.2.

4 ASKELÄÄNITASON MITTAUS PUUKERROSTALOSSA

4.1 Taustaa

Mittauskohteena oli kaksi vuonna 2015 valmistunutta puukerrostaloa pääkaupunkiseudulla. Kohteessa mitattiin puusta valmistetun välipohjan askeläänitäsoluku sekä askeltamisesta syntyvät äänitasot. Ensimmäisessä kohteessa askeläänitaso mitattiin kahden huoneiston välillä olo- ja makuuhuoneesta, toisessa huoneistossa parvekkeelta alapuoliseen olohuoneeseen ja olohuoneiden välillä. Kaikki mittaukset tehtiin ylhäältä alas. Mittaukset tehtiin myös parvekkeelta, sillä se sijaitsi suoraan alapuolisen asunnon olohuoneen yläpuolella ja asukkaat olivat tuoneet esille, että askeläänet kuuluvat parvekkeelta huoneistoon erittäin hyvin. Kohde on esitetty kuvassa 11, josta huomataan myös parvekkeen sijoittuminen suoraan alakerran olohuoneen yläpuolelle.



Kuva 12. Toinen mittauksen kohteena olevista puukerrostaloista.

Lisäksi molemmissa asunnoissa mitattiin kävelyn aiheuttamia äänenpainetasoja. Mittauskohteena olivat asuntoparit A8 ja A4 sekä B30 ja B35. Mittaukset suoritettiin 20.4.2016.

4.2 Mittausmenetelmät

Askeläänitasot mitattiin standardin SFS-EN ISO 140-7 mukaisesti. Lähetyshuoneen lattiaa koputettiin askeläänikojeella useassa pisteessä ja mitattiin kojeen aiheuttama äänitaso 1,5 metrin korkeudella vastaanottohuoneen eri osissa. Askelluksen tuottamat äänitasot mitattiin samalla tavalla, mutta askeläänikojeen käytön sijaan lähetyshuoneessa askellettiin rivakasti sukkasillaan.

Askeläänitasoluvut $L'_{n,w}$ laskettiin ja esitetään standardin SFS-EN ISO 717-2 mukaisesti, ja askelluskokeen tulokset esitetään lineaarisena ja A-painotettuna.

4.3 Mittauslaitteet

Mittauslaitteistona toimi

- Tarkkuusäänitasomittari Cirrus CR:171B
- Kalibraattori Rion NC-74
- Askeläänikoje Norsonic nr-211A.

Äänitasomittarin kalibrointi tarkistettiin ennen mittausta ja mittauksen jälkeen.

4.4 Lähtötiedot

Kohde on vuonna 2015 valmistunut kerrostalo-yhtiö. Välipohjana toimii CLT-levyistä valmistettu elementti, jonka rakenne on esitetty liitteessä 1. Välipohjan pintamateriaali on parketti. Parvekkeen välipohjan rakenne ei ole tiedossa.

4.5 Mittaustulokset

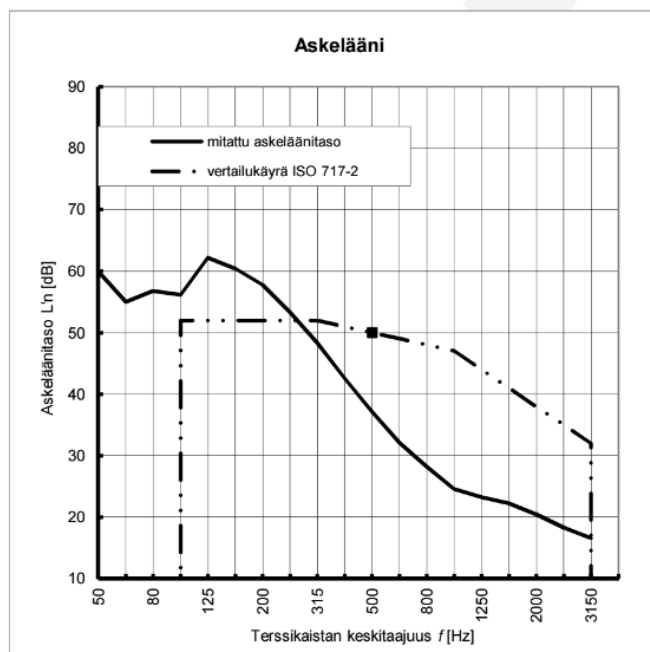
Mitatut askeläänitasot esitetään terssikaistoittain ja askelluksen aiheuttamat terssitasot lineaarisena ja A-painotettuna. Kuvassa 12 esitetään asuntojen A8 ja A4 olohuoneiden välinen mittaustulos ja kuvassa 13 samojen huoneistojen makuuhuoneiden välinen mittaus. Huoneistojen B35 ja B30 väliset mittaustulokset parvekkeen ja olohuoneen välillä esitetään kuvassa 14 ja olohuoneiden välillä kuvassa 15. Mittaustulokset esitellään taulukoissa 2 ja 3. Mittauksista vastasi diplomi-insinööri Kimmo Kokki, Promethor Oy, joka on myös analysoinut mittaustulokset.

Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$	50	[dB]
------------------------------	----	------

Spektrisovitusermit ¹	$C_{1,50-2500} = 3$	$C_1 = 1$
----------------------------------	---------------------	-----------

¹ Spektrisovitusermi on askeläänitasoista laskettava luku, joka ottaa huomioon eristettävän melun äänispektrin. Esimerkiksi termi $C_{1,50-2500}$ huomioi matalat äänet. Askeläänitasoluku lasketaan tällöin $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$.

Askeläänitaso	
taajuus [Hz]	L'_n [dB]
50	60,0
63	55,0
80	56,8
100	56,1
125	62,2
160	60,4
200	57,8
250	53,3
315	48,4
400	42,6
500	37,1
630	32,1
800	28,2
1000	24,6
1250	23,3
1600	22,3
2000	20,5
2500	18,3
3150	16,6

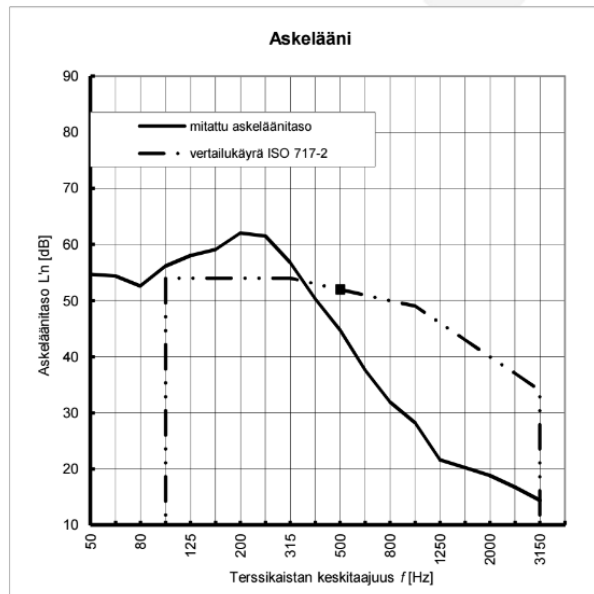


Kuva 13. Mittaus asuntojen A8 ja A4 olohuoneiden välillä.

Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$	52	[dB]
Spektrisovitusmerkit ¹	$C_{1,50-2500} = 1$	$C_1 = 0$

¹⁾ Spektrisovitusmerkki on askeläänitasoista laskettava luku, joka ottaa huomioon eristettävän melun äänispektrin. Esimerkiksi termi $C_{1,50-2500}$ huomioi matalat äänet. Askeläänitasoluku lasketaan tällöin $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$.

Askeläänitaso	
taajuus [Hz]	L'_n [dB]
50	54,7
63	54,4
80	52,6
100	56,2
125	58,0
160	59,1
200	62,1
250	61,5
315	56,8
400	50,3
500	44,7
630	37,6
800	31,9
1000	28,2
1250	21,6
1600	20,2
2000	18,8
2500	16,8
3150	14,4

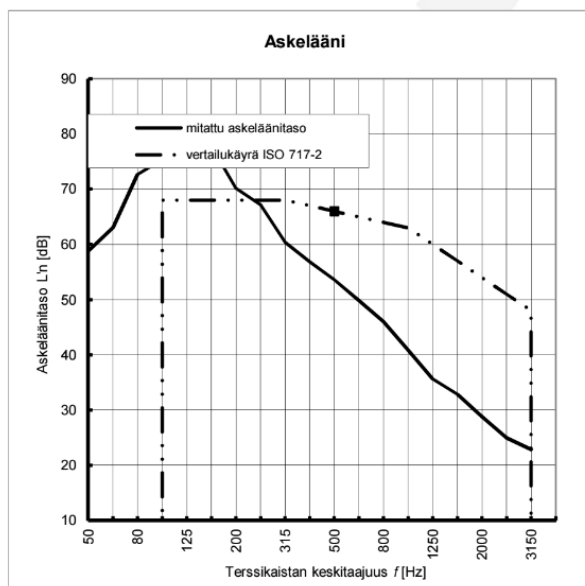


Kuva 14. Mittaus asuntojen A8 ja A4 makuuhuoneiden välillä.

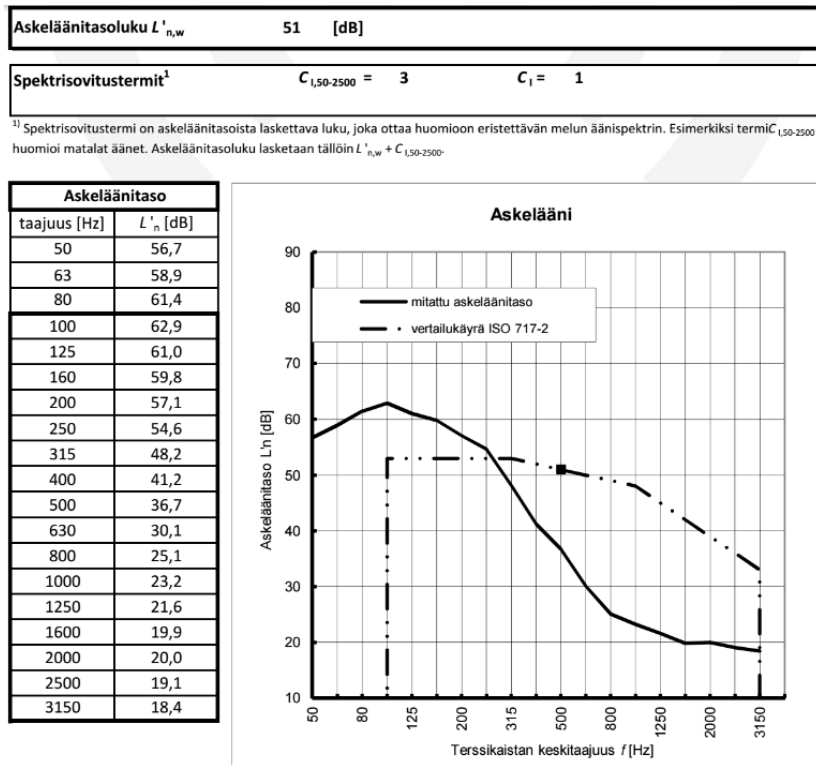
Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$	66	[dB]
Spektrisovitusmerkit ¹	$C_{1,50-2500} = 2$	$C_1 = 1$

¹⁾ Spektrisovitusmerkki on askeläänitasoista laskettava luku, joka ottaa huomioon eristettävän melun äänispektrin. Esimerkiksi termi $C_{1,50-2500}$ huomioi matalat äänet. Askeläänitasoluku lasketaan tällöin $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$.

Askeläänitaso	
taajuus [Hz]	L'_n [dB]
50	58,8
63	63,1
80	72,7
100	75,3
125	76,8
160	77,8
200	70,1
250	67,2
315	60,4
400	56,8
500	53,6
630	49,8
800	46,0
1000	40,8
1250	35,6
1600	32,9
2000	28,8
2500	24,9
3150	22,9



Kuva 15. Mittaus asunnon B35 parvekkeelta asunnon B30 olohuoneeseen.



Kuva 16. Mittaus asuntojen B35 ja B30 olohuoneiden välillä.

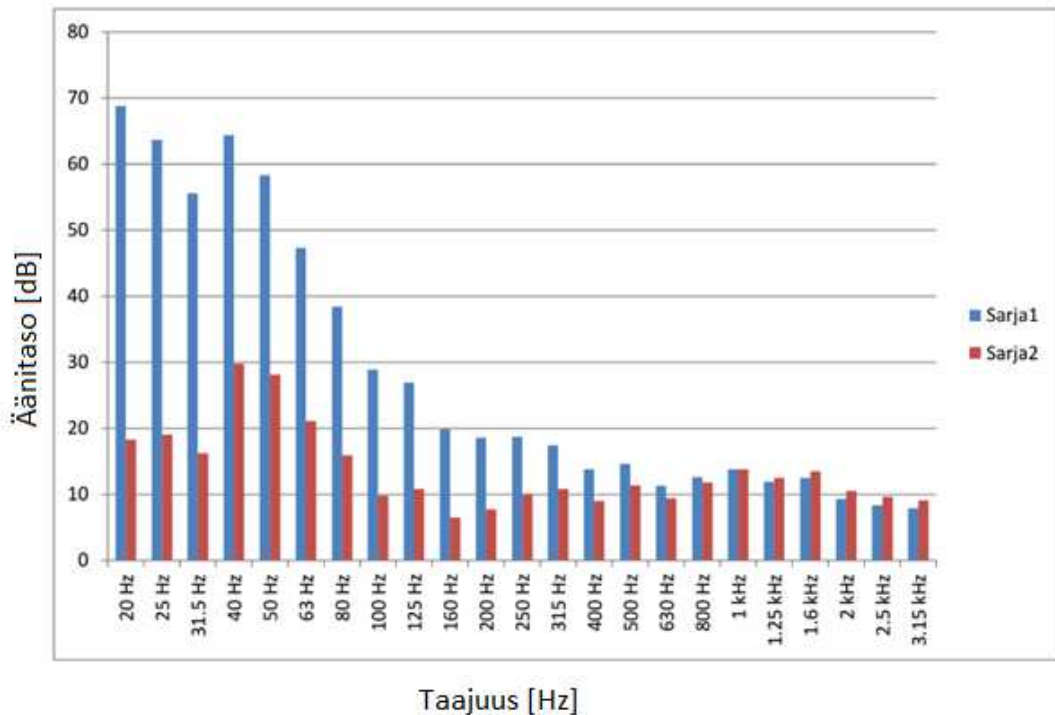
Taulukko 2. Asuntojen A8 ja A4 välisen kokeen mittaustulokset taulukoituna.

Lähtöhuone	Tulo huone	Mittaussuunta	Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$
A8 oh	A4 oh	Ylhäältä alas	50 dB
A8 mh	A4 mh	Ylhäältä alas	52 dB

Taulukko 3. Asuntojen B35 ja B30 välisen kokeen mittaustulokset taulukoituna.

Lähtöhuone	Tulo huone	Mittaussuunta	Askeläänitasoluku $L'_{n,w}$
B35 oh	B30 oh	Ylhäältä alas	51 dB
B35 parveke	B30 oh	Ylhäältä alas	66 dB

Kohteessa toteutetun askelluskokeen tulokset esitellään lineaarisena (sarja 1) sekä A-painotettuna (sarja 2) kuvassa 16. A-painotettu äänitaso huomioi ihmisen kuuloaistin herkkyiden eri taajuuksille.



Kuva 17. Askelluksen tuottamat äänenpainetasot lineaarisena (sarja 1) ja A-painotettuna (sarja 2).

4.6 Tulosten tarkastelu

Askeläänitasoluvun mittaustulokset täyttävät rakentamismääräyskokoelman vaatimuksen $L'_{n,w} \leq 53$ dB lukuun ottamatta asuntojen B35 ja B30 parvekkeen ja olohuoneen välistä askeläänitasolukua, joksi mitattiin $L'_{n,w} = 66$ dB. Mittaustulosten perustella voidaan todeta, että parvekkeen lattiaa ei ole suunniteltu eristämään ääntä, sillä parvekkeelta mitattu askeläänitasoluku $L'_{n,w}$ on noin 15 dB korkeampi kuin saman huoneiston välisen välipohjan askeläänitasoluku. Mittaustulos (66 dB) ylittää siis selkeästi vaatimuksen $L'_{n,w} \leq 53$ dB. Suunnittelussa ei ole todennäköisesti ajateltu parvekkeen kuuluvan askeläänitasoluvun vaati-

muksen alaiseksi, ja se on ainoastaan mitoitettu kantamaan kuormia. Kuitenkin rakentamismääräyskokoelman osassa C1 määritellään suurin sallittu askeläänitasoluku ”asuinhuoneistoa ympäröivistä tiloista keittiöön tai muuhun asuinhuoneeseen, yleensä 53 dB”.

Mittauskohteena oleva välipohjarakenne vaimentaa 250 Hz:ä korkeammat äänet, mutta esimerkiksi asuntojen A8 ja A4 olohuoneiden välisistä tuloksista (kuvassa 11) voidaan havaita, että 125 Hz:n alueella äänet läpäisevät lattiarakenteen, mikä koetaan häiritsevänä alapuolisessa asunnossa.

Askelluskokeen tulosten osalta huomataan, että äänenpainetasot kasvavat selkeästi alle 100 Hz:n taajuuksilla aiheuttaen askelluksesta töminä-ääntä. Tulos osoittaa, että taajuusvälillä 100–3150 Hz mitattu askeläänitaso ei vastaa ihmisen kokemaa meluhaittaa. Myöskään askeläänikoje ei saa välipohjaa värähtelemään yhtä matalilla taajuuksilla, kuin askellus. Tämän vuoksi uusi standardi SFS-EN ISO 16283:2 esitteleekin uudenlaisen mittausmenetelmän, jossa herätteenä toimii 2,5 kg painava kumipallo, joka simuloi häiriötekijöitä askeläänikojetta paremmin.

5 POHDINTA

Askeläänen kuuleminen on monille vanhemmissa kerrostaloissa asuville ihmisille tuttu asia. Ero nykyisten kerrostalojen ääniolosuhteisiin on huomattava, mutta toisaalta odotukset ovat myös korkeammalla ja hyvää akustiikkaa on ruvettu myös vaatimaan uusissa rakennuksissa. Viimeksi tehty kiristys rakentamismääräskokoelmassa laskee askeläänitasoluvun määräysarvon 58 dB:stä 53 dB:iin, mikä oli merkittävä muutos.

Ratkaisuja ääniongelmien ratkaisemiseksi on olemassa ja teoria on melko hyvin hallussa, mutta resursseja ei juurikaan käytetä hyviin äänioloihin. Mikäli määräykset muuttuvat vaativammiksi, tulee suunnittelijoiden ja rakennusalan toimijoiden kuitenkin varautua tähän ja tiedostaa muutos ennakkoon. Puukerrostalorakentaminen lisääntyy ja puisia välipohjia tehdään entistä enemmän. Äänellisen osaamisen on pysyttävä puurakentamisen kasvun myötä korkealla. On tärkeää, että kevyiden välipohjien haasteet ratkaistaan ja asukkaiden tyytyväisyys ääniolosuhteisiin on hyvä puukerrostalossakin.

Äänitekijöiden hallintaan liittyy myös rakennusaikainen valvonta. Urakoitsijoitakin tulee kouluttaa ääniasioissa, jotta pitkälle viety suunnittelu ei mene hukkaan. Osa rakennusvaiheessa tehtävistä virheistä voidaan välttää valvotuissa oloissa valmistettuja puuelementtejä käyttämällä, mutta työmaalle jää kuitenkin tarkkojen liitosten tekeminen rakenteisiin, mikä on olennainen osa äänellisesti onnistunutta rakennetta.

Selvitystyötä jatketaan askeläänihankkeen merkeissä. On järkevää panostaa kevyeen, kotimaiseen ja uusiutuvaan materiaaliin myös kerrostalorakentamisessa. Puukerrostalojen välipohjien ääneneristävyystekijöitä tulee tutkia lisää ja tuloksia tulee tuoda esille myös rakennusalan suunnittelijoille. Askeläänimitauksia tullaan suorittamaan eri puukerrostalokohteissa vuoden 2016 aikana.

LÄHTEET

Betoninen kelluva lattia 2002 by 48 BLY 9 Suomen Betoniyhdistys, Helsinki: Suomen betoniyhdistys.

Helimäki, H. & Huhtala T. 2009. Asuinrakennusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. Rakennusteollisuus RT. Viitattu 5.5.2016

Helimäki, H. & Kylliäinen, M. Betonivälipohjien askelääneneristys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 2.2.2016 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010304.pdf>.

Kylliäinen, M., Björman, J. & Hakkarainen J. 2015. Puukerrostalon välipohjan toteuttaminen ilman kelluvaa lattiaa. Akustiikkapäivät 2015.

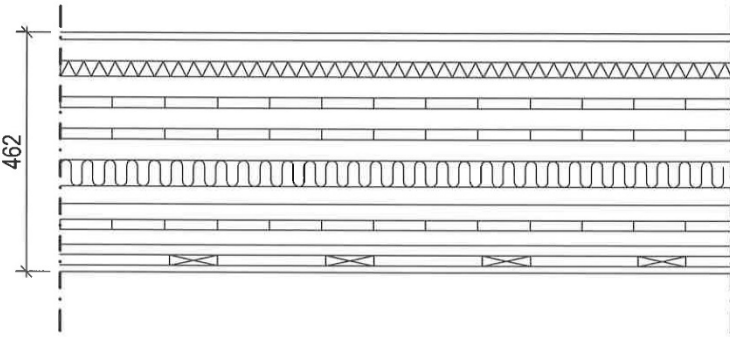
Puukerrostalon rakenteet - Avoin puurakennejärjestelmä, 2016. Helsinki: Rakennustieto Oy, CAD-kirjasto. Viitattu 1.5.2016 <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.turkuamk.fi/kortistot/kirjastot/35.html.stx>.

Palkkivälipohjan äänitekniikka, 2011. Puuinfo. Viitattu 4.2.2016 <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/palkkivalipohjan-aanitekniikka/palkkivalipohjan-aanitekniikka.pdf>.

RIL 243-1-2007, Rakennusten akustinen suunnittelu, Akustiikan perusteet, 2007. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 82-10838, 2005. Puukerrostalon rakenteet, avoin puurakennusjärjestelmä. 2005. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Wood Focus Oy 2004. Ääneneristys puutalossa, Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Viitattu 2.4.2016 <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>.

RAKENNUSKOHTTEEN NIMI [REDACTED]	TUNNUS VP1	Muutos •	Päivämäärä 3.9.2014 Mittakaava 1:10
SISÄLTÖ: [REDACTED]	Välipohja yleensä		
			
<p style="text-align: center;">LATTIAN PINNOITE Huoneselostuksen mukaan</p> <p>40 mm WEBER VETONIT 4325 dB PLAANO PUMPATTUNA</p> <p style="text-align: center;">LASIKUITUVERKKO</p> <p style="text-align: center;">EROTUSKANGAS</p> <p>30 mm UPONOR TACKER ERISTELEVY</p> <p>120/160/180 mm CLT 120 L3s/ CLT 160/ CLT 180 L5s Ristiinliimattu massiivipuulevy</p> <p>50 mm MINERAALIVILLA, A2-s1, d0 14/34/74 mm VÄLITILA</p> <p>80 mm CLT 80 L3s Ristiinliimattu massiivipuulevy</p> <p>40 mm RISTIIN KOOLAUS 2x20x75 k300</p> <p style="text-align: center;">SISUSTUSLEVY ARKKITEHDIN MUKAAN</p> <p style="text-align: center;">PINTAKÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN</p>			
<p>ASKELÄÄNITASOLUKU $L'n,w < 53$ dB</p> <p>ILMAÄÄNENERISTÄVYYS: $R'w \geq 55$ dB</p> <p>PALONKESTOLUOKKA: REI 60</p>			