

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutus

Eetu Heinonen
Aleksi Kukkonen

VÄLIPOHJIEN MITTAUS JAPANILAISELLA PALLOLLA JA
ASKELÄÄNIKOJEELLA

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2020
Rakennustekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä(t)
Eetu Heinonen
Aleksi Kukkonen

Nimeke
Välipohjien mittaus japanilaisella pallolla ja askeläänikojeella

Toimeksiantaja
Karelia-amk Mikko Matveinen

Tiivistelmä

Opinnäytetyömme tarkoitus oli mitata Suomessa uudella mittaustavalla eli japanilaisella pallolla välipohjan ääneneristävyyttä. Kohteena oli puukerrostalo Lighthouse, joka sijaitsee Joensuun Penttilässä. Lighthouse on Suomen korkein puukerrostalo, joka valmistui elokuussa vuonna 2019. Lighthouse kerrostalosta on tehty vastaavia mittauksia askeläänikojeella Joni Jäppisen ja Joonas Pesosen toimesta. Tarkoituksenamme oli verrata opinnäytetyössä mittaustuloksia välipohjan osalta ja havaita mittaustuloksissa eroavaisuuksia, jotka ihmisaistit voisivat tunnistaa.

Mittausten suorittaminen suoritettiin standardin SFS-EN ISO 16283-2:2018 mukaan muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Lisäksi vertailimme puukerrostalossa käytetyn CLT-välipohjan ja puurakenteisen omakotitalon välipohjan ääneneristävyyden eroja japanilaisella pallolla. Mittaukset epäonnistuivat puukerrostalossa väärän ohjeistuksen vuoksi, joten loppujen lopuksi mittasimme puurunkoisen omakotitalon välipohjan sekä Karelia-ammattikorkeakoulun Wärtsilän kampuksen betonisen välipohjan.

Tulosten perusteella havaitsimme, että Japanilainenpallo soveltuu puurunkoisten välipohjien mittaukseen paremmin kuin betonirakenteisten.

Kieli
suomi

Sivuja 45

Asiasanat

opinnäytetyö, japanilainen pallo, CLT, välipohjan ääneneristävyys, puukerrostalo



THESIS
March 2020
Degree Programme Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Eetu Heinonen
Aleksi Kukkonen

Title
Intermediate Floor Measurements With Japanese Ball and Tapping Machine

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

Light House is the highest wooden block of flats in Finland and it was completed in August 2019. The subject of this thesis covers a new measuring device called Japanese ball. It is a new way to measure intermediate floor sound insulation in Finland. Japanese ball is not yet an official measuring method in Finland and it will be used alongside for the tapping machine measurements, if it proves to be a good way to measure intermediate floors. The measurements were performed in Joensuu wooden block of flats called the Light-house. The research results were compared with the previous measurements from the same block of flats, which were measured on a tapping machine by Joni Jäppinen and Joonas Pesonen.

The measurements were performed by using the standard SFS-EN ISO 16283-2:2018. At first, there were some issues with the measuring devices as the files were not saved correctly. Also, the sound insulation differences between the intermediate floors of a wooden block of flats and detached house intermediate floor were compared.

As a results, it can be said that the Japanese ball is a better way to study wooden frame intermediate floor destinations than concrete structured intermediate floors.

Language

Finnish

Pages 45

Keywords

thesis, Japanese ball, CLT, intermediate floor sound insulation, wooden block of flats

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Joensuu Lighthouse, Penttilänkulma 2	7
3	Ääneneristysten ja meluntorjunnan määräykset	9
4	Rakentamismääräyskokoelma osa C1 vaatimukset	9
4.1	Ääniolosuhteet	9
5	Äänen absorptio	10
5.1	Askeläänentason luku $L_{n,w} / L'_{n,w}$ (dB)	12
5.2	Spektripainotusermi	13
5.3	Äänen sivutiesiirtymät	13
5.4	Äänen taajuus	14
5.5	Resonanssi-ilmiö	15
5.6	Äänenpainetaso	16
5.7	Massalaki	17
6	Mittauslaitteet	18
6.1	Itse rakennettu pudotusteline	19
6.2	Norsonic Nor140	20
6.3	Puolipallo kaiutin Nor280 ja vahvistin Nor250	21
6.4	Japanilainen pallo (Nor279 Impact ball)	22
6.5	Japanilaisella pallolla mittaaminen	23
7	Mittausten eteneminen	24
7.1	Taustamelu	25
7.2	Taustamelun mittaus	25
7.3	Jälkikaiunta-aika	27
7.4	Jälkikaiunta-ajan mittaus	28
7.5	Japanilaisen pallon ääni välipohjan läpi	29
8	Uudet mittaukset	30
8.1	Ilomantsin omakotitalo	31
8.1.1	Japanilaisella pallolla mittaukset	31
8.1.2	Askeläänikojeen mittaus	33
8.2	Karelia Ammattikoulu Wärtsilä kampus	33
8.2.1	Japanilaisella pallolla mittaukset	33
8.2.2	Askeläänikojeen mittaus	34
9	Mittaustulokset	35
9.1	Wärtsilä kampus mittaukset	35
9.2	Ilomantsin mittaukset japanilaisella pallolla	39
10	Tulosten vertailu	40
11	Pohdinta	42
	Lähteet	46

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutustua Joensuun Penttilän rantaan rakennetun puukerrostalon välipohjarakenteisiin sekä ääneneristävyyteen. Tarkoituksena on verrata puukerrostalosta mitattuja askeläänikojeen mittauksia ja japanilaisen pallon tuottaman äänen eroavaisuutta mittauslaitteiden sekä ihmisaistien perusteella. Toiseksi mitattavaksi vertailukohteeksi puukerrostalolle valitsimme Ilomantsissa sijaitsevan kaksikerroksien puurakenteisen omakotitalon välipohjan. Toisen kohteen avulla voimme vertailla CLT-liimapuun sekä puurunkoisen välipohjan ääneneristävyyden eroja.

Mittauspaikat puukerrostalossa valikoituivat aiempien askeläänikojeen mittauspaikkojen mukaan. Mitattavia asuinhuoneistoja oli kolme kappaletta eripuolella kerrostaloa. Äänilähde eli japanilainen pallo sijoitettiin kolmanteen kerrokseen, mittaukset suoritimme toisesta kerroksesta. Toimeksiannon saimme opinnäytetyöhömme Karelia-ammattikorkeakoululta.

Joensuun Ellin rakennuttama puukerrostalo on Suomen korkein tähän mennessä rakennettu puurakenteinen kerrostalo, jossa on 14 kerrosta ja 117 asuntoa. (kuva 1) Lighthousen ensimmäinen kerros on kokonaan betonia ja seinärakenteet on rakennettu massiivipuulementeistä eli LVL-viilupuusta. Elementit on rakennettu Stora Enson tehtaalla Varkaudessa. Välipohjat on CLT-ristiin liimattua puuta, jotka on rakennettu Itävallassa.

Kerrostalossa on käytetty Stora Enson runkojärjestelmää, pääurakoitsijana toimi Eero Reijonen Oy, pää- ja arkkitehtisuunnittelun toteutti Arcadia ja rakennesuunnittelun toteutti Joensuun Juva Oy. Tarvittavat mittaukset tuli suorittaa 2019 elokuun loppuun mennessä, koska kerrostalo otettiin käyttöön elokuun viimeisellä viikolla. Koulu antoi meille käyttöön japanilaisen pallon sekä muun tarvittavan mitauskaluston.



Kuva 1. Puukerrostalo Lighthouse

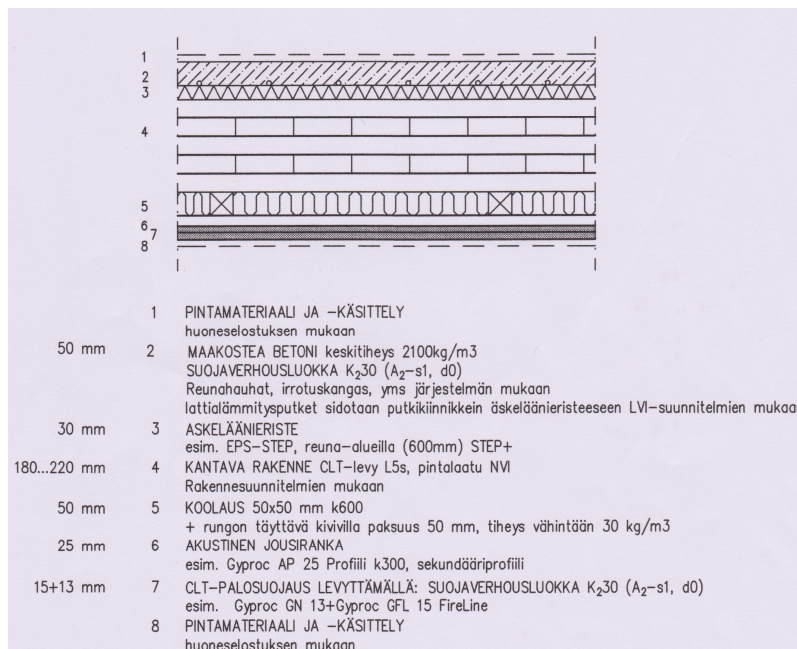
Kun tarkastelimme mittauksia, ohjaava opettajamme huomasi mittaustuloksista puuttuvan arvoja, jotka ovat suuressa osassa mittaustulosten vertailua. Testimittauksia tehdessä ja arvoja vertaillaessa saatiin varmuus, että puukerrostalossa käytetty mittaustapa osoittautui vääräksi. Tämän seurauksena puukerrostalon mittauksia ei voitu vertailla askeläänikojeeseen, joten mittasimme kaksi eri kohdetta japanilaisellapallolla ja askeläänikojeella sekä jätimme puukerrostalon mittaukset pois opinnäytetyöstämme.

Uudet mittauspaikat olivat puurunkoinen kaksikerroksinen omakotitalo, joka sijaitsee Iloantsissa. Toinen kohteemme oli Karelia-ammattikorkeakoulu Wärtsilän kampus, josta mittasimme betonisen välipohjan. Molemmat välipohjat mittasimme japanilaisella pallolla sekä askeläänikojeella.

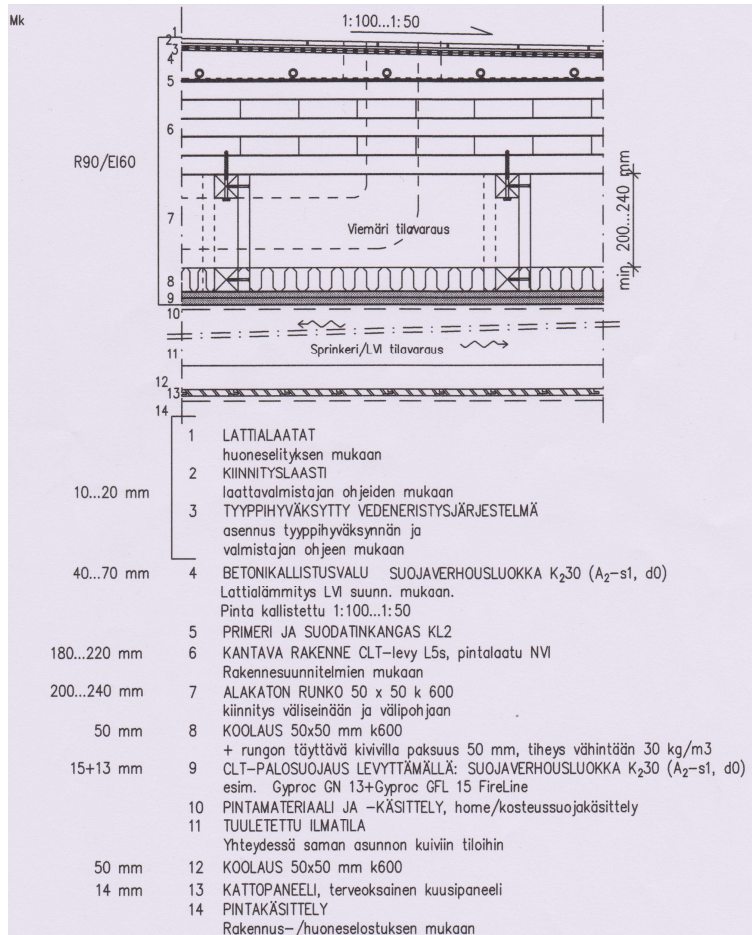
2 Joensuu Lighthouse, Penttilänculma 2

Lighthouse puukerrostalon rakentaminen alkoi joulukuussa 2017 perustustöillä ja kerrostalon käyttöönotto oli elokuun viimeisellä viikolla 2019. Puukerrostalossa 26 asuntoa on kaksioita ja 91 asuntoa on yksiöitä. Asuntojen koot vaihtelevat 26-48,5 neliön välillä, huoneistoalaa kerrostalossa on 3772,5 neliötä.

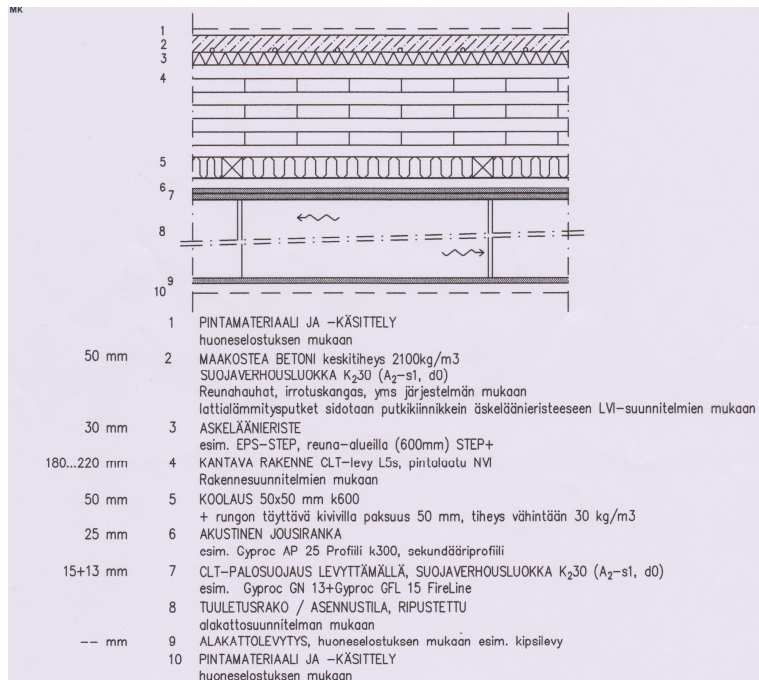
Välipohjat ja portaat on rakennettu pääsääntöisesti CLT-levystä, jotka on valmistettu Itävallassa Stora Enson tehtaalla. Välipohjien paksuus on 500 mm. Välipohjien rakenneleikkaukset löytyvät kuvasta 2, kuvasta 3 ja kuvasta 4.



Kuva 2. Lighthouse puukerrostalon välipohja 1. (Kuva: Joensuun Juva Oy)



Kuva 3. Lighthouse puukerrostalon välipohja 2. (Kuva: Joensuun Juva Oy)



Kuva 4. Lighthouse puukerrostalon välipohja 4. (Kuva: Joensuun Juva Oy)

3 Ääneneristysten ja meluntorjunnan määräykset

Määräykset opinnäytetyömme mittauksiin sekä laskelmiin tulee Ympäristöministeriön Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta C1 sekä standardista SFS-EN ISO 16283-2:2018. Rakentamismääräyskokoelmassa ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa osa C1 on määritetty noudatettavat ääneneristävyyden ja meluntorjunnan vaatimukset.

Puukerrostalo Light housen rakennuslupa on haettu ennen uusia rakentamismääräyskokoelman vaatimuksia. Vertailemme saatuja mittaustuloksia Joonas Pesosen sekä Joni Jäppisen (2019) tekemään ”Puukerrostalojen rakenteiden äänitekniinen toimivuus – Case Joensuu Light house” sekä japanilaisen pallon standardin vaatimuksiin.

4 Rakentamismääräyskokoelma osa C1 vaatimukset

Rakennusta suunniteltaessa on otettava huomioon meluhaitat, siten että ne minimoidaan. Taataan ihmisille rauhallinen asuinympäristö, joka ei vaaranna ihmisten terveyttä ja takaa turvalliset elinolosuhteet. Rakennuksen ääneneristys ja meluvaatimukset luetaan hyväksytyksi, kun rakennukset rakennetaan ja suunnitellaan rakentamismääräyskokoelman ohjeiden mukaisesti. (Rakentamismääräyskokoelma C1 1998, 3.)

4.1 Ääniolosuhteet

Rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on hyvien ääniolosuhteiden saavuttamiseksi otettava huomioon äänieristysten lisäksi myös muut rakennuksen tai tilan ääniolosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten melulähteen voimakkuus ja tilojen keskinäinen sijoittelu. (Rakentamismääräyskokoelma C1 1998, 4).

Rakennus- tai muussa vastaavassa luvassa ääneneristävyydelle ja muille akustisille ominaisuuksille voidaan asettaa muukin vaatimus kuin

näissä määräyksissä on annettu, mikäli melulähteen voimakkuuden, meluisten tilojen läheisyyden tai tilan erikoiskäytön vuoksi tyydyttäviä ääniolosuhteita ei muutoin voida saavuttaa (Rakennusmääräyskokoelma C1 1998, 4).

Mikäli tilassa, jossa melu syntyy, enimmäisäänitaso $L_{A,MAX}$ voi toistuvasti olla suurempi kuin 80 dB, ympäröivien tilojen tarvittava suojaus melulta määritetään ja suunnitellaan tapauskohtaisesti. Meluisien tilojen, kuten ravintoloiden, diskosten, konserttisalien ja melua aiheuttavien työ- tai tuotantotilojen, sijoittamista asuin- ja vastaavien tilojen viereen tulee välttää. (Rakennusmääräyskokoelma C1 1998, 4).

Mikäli meluinen tila kuitenkin sijoitetaan niin, että se voi vaarantaa riittävän hyvien ääniolosuhteiden saavuttamisen asuin- ja vastaavissa tiloissa, on tilat, rakenteet ja muut äänitekniset toimenpiteet suunniteltava ja toteutettava niin, että äänen leviäminen meluisasta tilasta asuntoihin ja muihin melulle herkkiin tiloihin riittävästi rajoitetaan. (Rakennusmääräyskokoelma C1 1998, 4).

5 Äänen absorptio

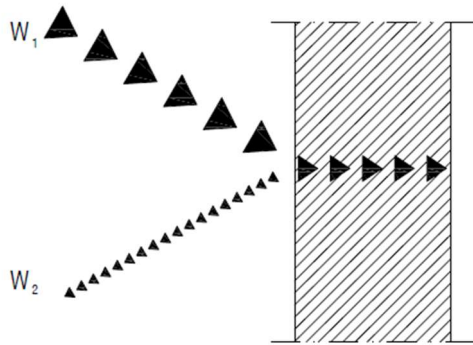
Huoneessa äänilähteen tuottama ääni kohtaa seinän, lattian ja katon, niistä ääni kimpoaa takaisin huonetiloihin. Äänen teho ei ole enää yhtä suuri siinä vaiheessa, kun se on kohdannut rakenteen pinnan. Osa äänen tehosta siirtyy suoraan rakenteeseen ja osa tehosta tulee heijastuksen kautta. Kuva viisi havainnollistaa äänen kulkua. Rakenteeseen kohdistunut äänen teho muuttuu tällöin lämmöksi ja ääniaallon tuottama hiukkasenergia saa materiaalin värähtelemään. Materiaalien absorptio kuvataan absorptiosuhteella α . Materiaalien pintaan kohdistuneen äänen tehoa merkitään W_1 ja heijastumatonta äänentehoa kuvataan W_1-W_2 suhteella. Absorptiosuhde lasketaan kaavalla 1. (Kylliäinen 2006, Talonrakentamisen akustiikka, 37).

$$\alpha = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (1)$$

missä

α	absorptiosuhde
W_1	materiaalin pintaan kohdistunut ääniteho

W2 materiaalin pinnasta takaisin heijastunut ääniteho (Kylliäinen 2006, 37).



Kuva 5. Äänen heijastuminen rajapinnassa (Kylliäinen 2006, 37).

Materiaalien absorptiota mitataan oktaavikaistoittain 125-4000 Hz taajuuksilla. Mitä pienempi absorptioluku on, sen pienempi äänen tason aleneminen on. Materiaalien ominaista absorptiokykyä käytetään tällöin hyödyksi, kun minimoidaan ääntä ilmatilassa, jossa äänilähdettä käytetään. Materiaalien valinta perustuu huonetilan käyttötarkoituksen mukaan, koska erilaisissa käyttötarkoituksessa absorptioluvun pitää olla huonetilaan sopiva. Esimerkiksi puhekäytössä olevissa tiloissa tarvitaan paljon pintoja, joista ääni voi heijastua kuulialle tarpeeksi selkeästi. Absorptioalan voi laskea pintamateriaalien summalla kaavalla 2. (Kylliäinen 2006,37-38.)

$$A = \alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2 + \dots + \alpha_n s_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i s_i \quad (2)$$

missä

A	absorptioala m ²
α_1	absorptiosuhde
S ₁	pinta-ala, m ²
α_i	pintamateriaalien absorptiosuhde
S _i	pintamateriaalien pinta-ala m ² (Kylliäinen 2006, 39).

5.1 Askeläänentason luku $L_{n,w}$ / $L'_{n,w}$ (dB)

Askeläänillä tarkoitetaan sellaista ääntä, joka tulee esimerkiksi kävelemisestä ja normaaleista kodissa kuuluvista äänistä, kuten esineiden tippumisesta sekä tavaroitten siirtelemisestä. Tällaisia ääniä kutsutaan runkoääniksi. Iskun saanut rakenne saa ilman värähtelemään, jolloin toisella puolella rakennetta äänen havaitsee ilmaääninä. Askeläänien eristämällä yritetään vähentää toisella puolella rakennetta kuuluvien äänien kantautumista toiselle puolelle rakennetta. Askelääntä voidaan arvioida esimerkiksi standardisoidulla askeläänikojeella ja japanilaisella pallolla. (Kylliäinen 2006, 91).

Askeläänien eristävyys on silloin parempi, mitä alhaisemmaksi äänenpainetasot menevät. Äänenpainetasot mitataan yleensä lähetyksen alapuolelta. Äänenpainetasoja voidaan mitata myös viereisistä huoneista tai yläpuolelta. Ääni siirtyy monimutkaisesti monella eri tavalla tilasta tilaan. Yleisimpiä siirtymätapoja ovat suoraan rakenteen kautta ja sivutiesiirtymänä. Askelääneneristävyyden suunnittelussa käytetään yleensä laboratorio tutkimuksia ja hyväksi todettuja ratkaisuja. Äänen tasoa merkitään $L_{n,w}$, kun kyseessä on laboratorio mittaus ja $L'_{n,w}$ tarkoittaa rakennuksen sisällä tehtäviä mittauksia. Askeläänentason voi määrittää kaavalla 3 laboratoriossa ja kaavalla 4 kenttämittauksissa. (Kylliäinen 2006, 91-93).

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (3)$$

missä

L_n	laboratoriomittauksessa askeläänitaso
L_i	vastaanottavan huoneen energiakeskiarvo
A	tilan absorptioala m^2
A_0	vertailu absorptioala ($10 m^2$) (Kylliäinen 2006, 92-93).

$$L'_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (4)$$

missä	L_n	kenttämittauksien askeläänitaso
	L_i	vastaanottavan huoneen energiakeskiarvo
	A	tilan absorptioala m^2
	A_0	vertailu absorptioala ($10 m^2$) (Kylliäinen 2006, 92-93).

5.2 Spektripainotusermi

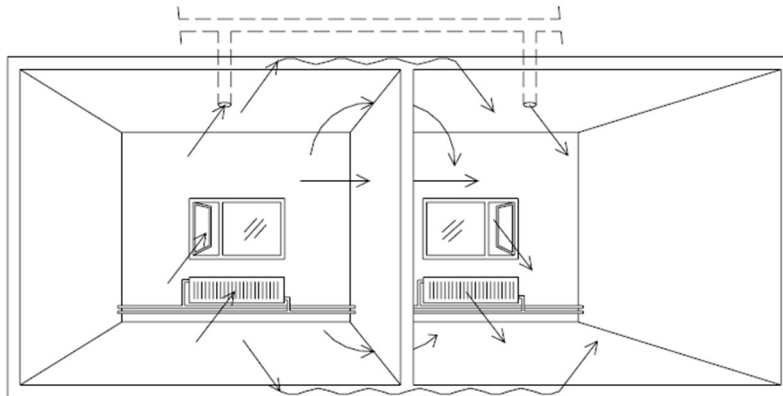
Askelääntä mitattaessa ei käytetä äänilähteenä kävelyä, koska äänenpaineen taso on joka askelmalla erilainen, jolloin ei saada luotettavaa mittaustulosta vertailuun. Tämän vuoksi mittauksissa käytetään standardisoituja mittalaitteita kuten askeläänikojetta sekä japanilaista palloa. Kävelyn ja standardisoitu mittalaite tuottaa erilaiset taajuusjakaumat ja voimakkuudeltaan erilaiset painetasot. (Kylliäinen 2006, 95).

”Välipohjan kantavan rakenteen päällä olevan lattianpäällysteen ja siihen liittyvien rakenteiden ominaistajuus on asuinrakennuksissa yleensä 30-500 Hz.” (Kylliäinen 2006, 96.) Tällöin kävelyn ääni kuuluu rakenteen läpi matalina ääminä, jotka yleensä koetaan häiritsevinä ääminä. Tällaisia taajuuksia on yleensä alle 100Hz. Matala taajuus äännet ovat ihmisen aisteille merkityksellisiä. Standardin mukaan suositellaan mitattavaksi 50,63 ja 80 Hz taajuudet. (Kylliäinen 2006, 96).

5.3 Äänen sivutiesiirtymät

Sivutiesiirtymällä tarkoitetaan sitä, että ääni kulkee tilasta seuraavaan muulla tavoin kuin tilojen erottavan rakenteen kautta kuin myös tilojen erottavien rakenteiden kautta. Äänen siirtyminen voi tapahtua LVIS-järjestelmien kautta kuten putkistojen ja johteiden kautta. (Kylliäinen 2006, 72). Tämän vuoksi rakentamismääräyksissä on määräykset, joiden mukaan rakennuksien on toimitava. Sivutiesiirtymät heikentävät tällöin myös askeläänien eristävyttä kuten myös ilmanääneneristävyttä. Ilmanääneneristävyys on aina heikompi rakenteellisissa olosuhteissa kuin laboratoriomittauksissa. (Kylliäinen 2006, 72).

Rakenteellisesti sivutiesiirtymistä tapahtuu rakenteissa aina, koska äänilähde saa rakenteen värähtelemään. Tällöin värähtely etenee rakenteita pitkin runkoääninä, joka vaimenee yleensä liitoskohdissa. Liitoksissa tapahtuvan värähtelyn väheneminen määräytyy rakenteen massasta ja liitoksen lujuudesta. Tämän takia voidaan tehdä rakenteisiin saumoja, jossa pyritään katkaisemaan äänen värähtely ilmatilalla, kumikerroksilla tai mineraalivillalla. Merkittävin reitti äänen siirtymisen kannalta on rakenteiden suora siirtyminen tilojen välillä. Kuvalla 6 havainnoidaan äänen siirtymistä. (Kylliäinen 2006, 73).



Kuva 6. Äänen siirtyminen rakenteiden kautta (Kylliäinen 2006,72)

5.4 Äänen taajuus

Äänellä tarkoitetaan fysiikassa sitä, että ilmanpaine vaihtelee staattisen ilmanpaineeseen verrattuna. Värähtelevät kappaleet, niin myös ihmisten äänihuulet tuottavat ilmantiheytyksiä ja harventumia. Tällöin ilmahiukkaset liikkuvat ja ääni etenee pitkittäisesti ympäristöön.

Ihminen kuulee, kun ilmanpaine aalto saa korvan rumpukalvon värähtelemään. Kun äänen tuottama värähtely on tiheää, ihmiskorva kuulee äänen korkeana äänenä. Harvat värähtelyt ihminen kuulee matalina ääniä. Äänentaajuus voidaan laskea kaavalla 5. (Kylliäinen 2006, 27).

$$f = \frac{n}{T} \quad (5)$$

missä

f	äänen taajuus, Hz
n	värähtelyjen määrä
T	ajanjakso, jonka kuluessa värähtelyt on havaittu sekunteina (Kylliäinen 2006, 27).

Ääni ei voi liikkua tyhjiössä, joten se tarvitsee väliaineen liikkuaakseen. Ilmassa kulkevan äänen nimi on ilmaääni. Tällaisia ääniä ovat esimerkiksi ihmisen puhe. Äänen nopeus ilmassa on vakio, mutta huoneen lämpötilalla on vaikutusta äänennopeuteen. Äänennopeus lasketaan kaavalla 6. (Kylliäinen 2006, 27).

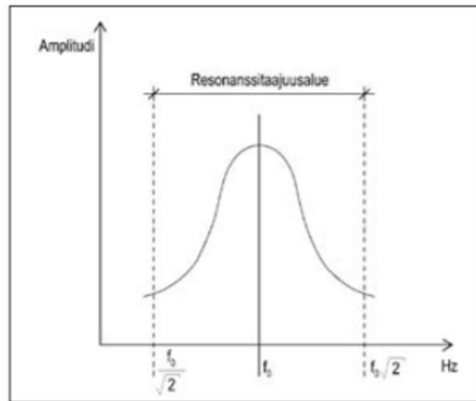
$$c = 331 + 0,6t \quad (6)$$

missä

c	äänennopeus, m/s
t	lämpötila, celsius (Kylliäinen 2006, 27).

5.5 Resonanssi-ilmiö

”Resonanssi-ilmiö syntyy rakenteessa, kun siihen osuu ääniaaltoja, joiden taajuus on rakenteen resonanssitaajuusalueella eli ominaistajuusalueella.” (Lahtela 2004 20.) Ilmiössä rakenne värähtelee suuresti ja äänen eristävyys kärsii. Rakenteen värähtely johtuu siitä, kun rakenne alkaa värähtelemään se saa lisää energiaa siihen kohdistuneista ääniaalloista, jolloin se kertaantuu. Rakenteen resonanssitaajuuden pystyy selvittämään pienimmän resonanssitaajuuden f_0 (Hz) perusteella, tällöin rakenne saavuttaa suurimman arvonsa. Resonanssitaajuuden pitäisi olla kuulon kannalta 100-3150Hz alapuolella. Resonanssi-ilmiö voidaan havaita rakenteen ja laitteen välillä, kun laitteen herätetaajuus kohtaa rakenteen resonanssitaajuuden. Kuva 7 havainnoi resonanssitaajuutta. (Lahtela 2004 20).



Kuva 7. Rakenteen resonanssitaajuus (Lahtela 2004,20).

5.6 Äänenpainetaso

Ihminen aistii ääninä ilmanpaineen vaihtelut. Ilmakehän paine on likipitään 100 kPa, mutta ihmiskorva voi aistia vain 20 μ Pa ilmanpaineen muutoksen. Äänen havainnoiminen ilmanpaineen muutoksen avulla käytetään nimeä äänenpaine, josta käytetään lyhennettä p [Pa]. Kun äänenpaine lähenee 20 paskaalia ihminen tuntee sen kipuna. Äänenpainearvot ovat numerollisesti pieniä lukuja, mutta kuulo- ja kipukynnyksen ero on kohtalaisen suuri. Suunnittelu- ja laskentatyössä äänenpainetta (kaava 7), vertaillaan vertailuäänepaineeseen p_0 , jolloin äänen voimakkuutta kuvataan äänenpainetasona L_p (dB). Pienin kuultava äänenpainetaso ihmisen korvaan koetaan 0 desibelissä ja kipukynnys koetaan 120 desibelin kohdalla. (Kylliäinen 2006, 28.)

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (7)$$

missä

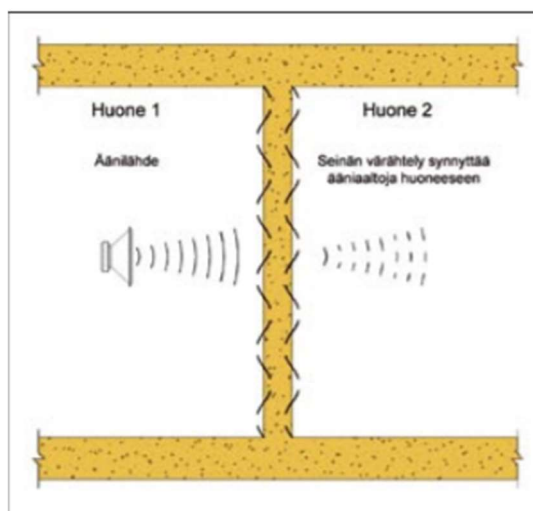
L_p	äänepainetaso, dB
p	äänepaine, Pa
p_0	vertailuäänepaine (Kylliäinen 2006, 28).

Äänenpainetaso L_p	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto
30 dB	Kuiskaus
45 dB	Toimistotyöympäristö
55 dB	Keskustelu
65 dB	Kovaääninen puhe
80 dB	Vilkas katuliikenne
100 dB	Piikkaus
110 dB	Oopperalaulaja
120 dB	Kipukynnys
140 dB	Suihkukone

Kuva 8. Erilaisia äänenpainetasoja (Kylliäinen 2006, 29).

5.7 Massalaki

Massallailla tarkoitetaan, kun rakenteen pintaan osuva ääniaalto aiheuttaa rakenteessa värähtelyä ja mitä enemmän rakenne värähtelee, värähtelyt moninkertaistuvat seinän toiselle puolelle (kuva 9). Sen takia kevyemmät rakenteet värähtelevät enemmän kuin raskaat rakenteet, jolloin raskaampi rakenne on äänen eristävydeltään parempi. Massateorian mukaan ilmaääneneristävyys erilaisilla taajuuskaistoilla voidaan laskea kaavalla 8. (Lahtela 2004, 18).



Kuva 9. Yksinkertaisen seinän äänitoimivuus (Lahtela 2004, 19).

$$R=20\lg(mf)-49 \quad (8)$$

missä

R	rakenteen ilmaaneneristävyys, dB
m	rakenteen massa, kg/m ²
f	äänen taajuus, Hz (Lahtela 2004, 18).

Rakenteen ilmanääneneristävyys voidaan määrittellä taajuudella 500Hz, tällöin saadaan suuntaa antava likiarvo rakenteen ilmanääneneristävyydelle R_w . Rakenteelle voidaan määrittellä tarkempi ilmanääneneristysluku vertailukäyrä menetelmällä taajuusalueiden mittauksien perustella. Raskaiden rakenteiden ääneneristävyyttä ei saa niinkään paremmaksi pienillä massan lisäyksillä. Kun massaa kaksinkertaistetaan se parantaa ilmaaneneristävyyttä noin 4-6dB. Hyvin ääntä eristäviä materiaaleja on massan ansiosta kivrakenteet. (Lahtela 2004, 18).

6 Mittauslaitteet

Mittalaitteisto, jota käytimme opinnäytetyömme mittauksissa, saimme Karelia Ammattikorkeakoulun puolesta. Tarvittavan perehdytyksen laitteiden toimintaan saimme laboratorioinsinööriltä. Mittalaitteet, joita käytimme mittauksissa, olivat selkeä käyttöisiä ja helposti käytettäviä. Ainoa, jonka rakensimme opinnäytetyöhömme, oli japanilaisen pallon mittauksiin tarvitsemamme oikean tiputuskorkeuden saavuttamiseksi rakentamamme mittateline.

Mittausstandardin mukaan pallo pitää pudottaa yhden metrin korkeudesta +- 0 toleranssia käyttäen. Tämä aluksi oli haastavaa, koska malliesimerkkiä telineestä ei ollut, joten jouduimme miettimään telineen, joka toimisi mittauksissa standardin mukaisesti. Lopuksi päädyimme kuvassa olevaan telinemalliin, joka osoittautui hyväksi mittaustelineeksi ja toimi mittauksissa standardin mukaisesti. Telineen rakensimme itse puusta hankkimillamme rakennustarvikkeilla.

6.1 Itse rakennettu pudotusteline

Rakensimme standardin vaatimusten mukaisesti pudotustelineen japanilaisen pallolle. Teimme telineestä yhden metrin korkuisen, jolloin pallon pudotus tapahtui aina samalta korkeudelta (kuva 10). Rakensimme telineeseen pallolle vapautus mekanismin siten, että telineessä olevien kiskojen päällä oleva vaneriläppä liukui ja pallo tippuisi kohti suoraan lattiaan (kuva 11).

Teimme muutamia testi mittauksia pallon avulla ja totesimme että teline ei sovellu mittauksiin. Liukuläpän vetäminen sai palloon liikettä, jolloin pallo ei pudonnut kohtisuoraan lattiaan ja osui toistuvasti telineen jalkoihin. Kun pallo osui lattiaan pallon kiinni ottaminen pompusta, oli haasteellista telineen jalkojen takia sekä pallo osui välillä telineen jalkoihin, jolloin teline liikahti ja siitä syntyi ylimääräistä ääntä, joten mittauksia ei voitu hyväksyä. Loppujen lopuksi käytimme kyseistä telineettä vain mittatikkuna, jolloin saimme pudotettua pallon aina standardin mukaisesti.



Kuva 10. Metrin korkuinen pudotusteline.



Kuva 11. Telineen liukuläppä.

6.2 Norsonic Nor140

Norsonic Nor-140 mittauslaite on äänianalysaattori (kuva 12), joka on tarkoitettu vaativien melutasojen mittaamiseen. Laitteessa on erilaisia mittausasetuksia, joilla voi mitata erilaisia äänen ja melun mittauksia. Laitteessa on vaihtoehtoja eri mittauksille, joiden avulla mittaukset ovat helppo suorittaa, vaikka ei ole kokenut laitteen käyttäjä. (MIP Electronics Oy, äänitasomittarit).

Mittalaitteen voi yhdistää tietokoneeseen, josta mittaustuloksia voi vertailla laitteen omalla ohjelmalla ja tehdä erilaisia havaintoja mittaustuloksista. Laitteen tiedot voi tallentaa suoraan laitteeseen, josta ne voidaan siirtää tietokoneelle ja analysoida mittaustuloksia kaavioilla Excel-ohjelman avulla.



Kuva 12. Nor-140 mittauslaite.

6.3 Puolipallo kaiutin Nor280 ja vahvistin Nor250

Puolipallo kaiutin on nimensä mukaan puolipallon muotoinen kaiutin (kuva 13), joka yhdistetään Nor-250 vahvistimeen, jotka yhdessä tuottavat kohinamaista ääntä. Tämän laitteiston avulla voidaan esimerkiksi mitata huoneiston taustamelu mittaukset yhdistettynä Nor140 mittauslaitteeseen.



Kuva 13. Mittauksissa käytetty puolipallokaiutin

6.4 Japanilainenpallo (Nor279 Impact ball)

Japanilainen pallo on silikonimuovista tehty 2,5 kilon onttopallo, jonka halkaisija on 178 mm ja pallon seinämän paksuus on 32 mm (kuva 13). Pallon painossa saa olla ± 100 grammaa eroa valmistajan ilmoittamaan 2,5 kiloon, halkaisijan mittassa saa eroa olla ± 1 millimetriä. (ISO 16283-2:2018).



Kuva 14. Mittauksissa käytetty japanilainen pallo

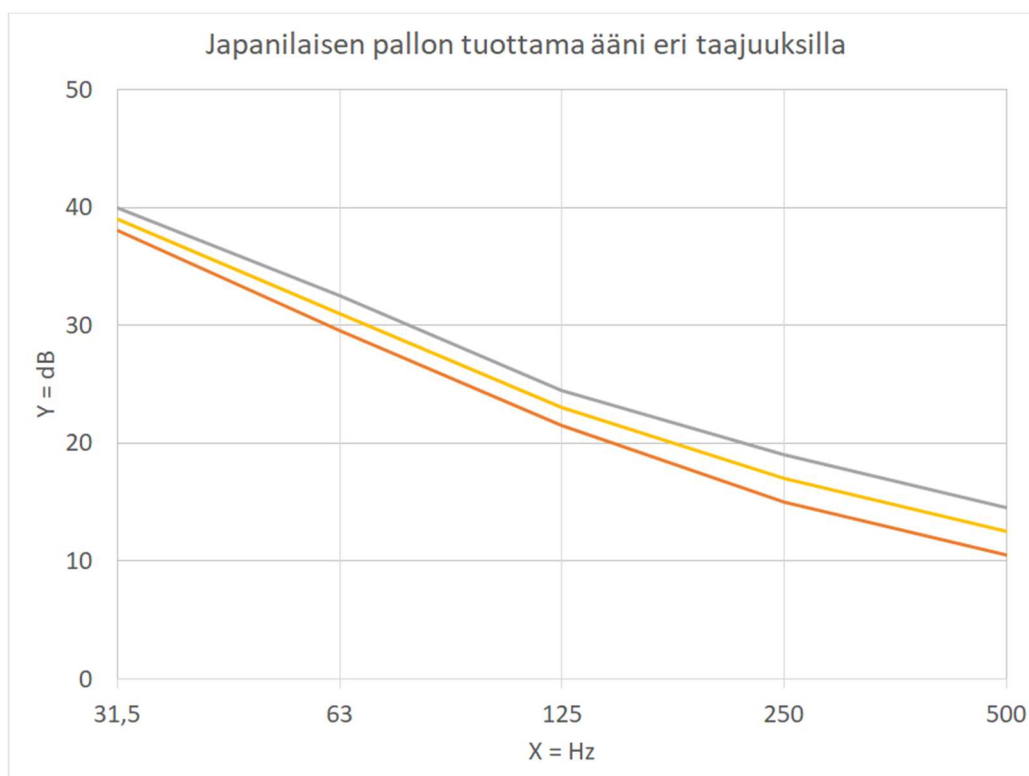
6.5 Japanilaisella pallolla mittaaminen

Pallon voi pudottaa vapaalla kädellä metrin korkeudesta tai sen voi pudottaa joltakin telineeltä. Japanilaisen pallon pudotuskorkeus mitataan pallon pohjasta mitattavan lattian pintaan ja korkeudessa eroa saa olla ± 1 cm.

Pallolla mitattaessa tulee huolehtia, että mitattava lattiapinta on puhdas ja lattialla ei ole irtoroskaa. Pallo pitää myös visuaalisesti käydä läpi, että pallossa ei ole halkeamia tai säröjä. Pallon pudotus tulee tehdä niin, että palloon ei synny kierrettä, vaan se putoaa vapaasti mitattavaan lattiapintaan. Pallo saa osua mittauksen aikana kerran lattiaan, joten se on otettava kiinni ensimmäisen iskun jälkeen. (ISO 16283-2:2018).

Oktaavintaajuusalue keskitaajuudella Hz	Iskuvoiman tuottama ääni, Lfe dB re 1 N
31,5	39,0 ± 1,0
63	31,0 ± 1,5
125	23,0 ± 1,5
250	17,0 ± 2,0
500	12,5 ± 2,0

Taulukko 1. Japanilaisen pallon tuottama ääni eri taajuuksilla (ISO 16283-2:2018).



Kuva 15. Japanilaisen pallon tuottama ääni eri taajuuksilla.

7 Mittauksien eteneminen

Opinnäytetyöhömmme kuului mitata japanilaisella pallolla valmiin Lighthouse kerrostalon välipohjan äänen eristävyys japanilaisen pallon tuottamalla äänellä. Pallo tiputettiin yhden metrin korkeudesta kohti suoraan välipohjaan. Aluksi tuotti hankaluuksia, miten saamme mittaukset suoritettua aina standardin toleranssin mukaan.

Mittauksia suoritettiin kolmesta eri huoneistosta, jotka sijaitsivat siten että kaksi huoneistoa oli toisella puolella kerrostaloa ja yksi toisella puolella. Mitattavat huoneistot olivat kooltaan yksiöitä ja kaksioita.

Mitattavat huoneistot sijaitsivat kolmannessa ja toisessa kerroksessa. Kolmannessa kerroksessa suoritimme äänilähteellä eli japanilaisella pallolla ääntä tiputtamalla palloa kohti suoraan välipohjaan metrin korkeudesta ja toisessa kerroksessa mittasimme Nor140 mittalaitteella mittaustulokset toiseen kerrokseen tulevasta melusta.

Mittauksia tuli useita yhtä huoneistoa kohden, jolla saadaan mittaustuloksiin standardin määräämä lukumäärä ja luotettavuus. Jokaisesta huoneistosta mitattiin myös taustamelu ja jälkikaiunta aika.

Kävimme mittaamassa kerrostaloa useamana päivänä, yleensä viikonloppuisin. Kerrostalossa oli joitakin työvaiheita vielä kesken, kuten viimeistelyitä sekä ulkopuolisia rakennuksia rakennettiin. Viikolla töiden ollessa mittaustulokset olisivat kärsineet, joten sovimme kerrostalotyömaan työnjohtajan kanssa ajankohdan, jolloin kerrostaloa oli järkevää käydä mittaamassa.

Nor-140 mittalaitteen kanssa oli ongelmia ensimmäisten mittauksien aikana, mittaustulokset eivät tallentuneet oikein, joten niitä ei voinut tarkastella jälkikäteen ja jouduimme käymään useamana päivänä mittaamassa huoneistoja. Mittaustuloksien havainnoinnissa saimme apua koulumme laboratorioinsinööriltä sekä ohjaavalta opettajaltamme.

7.1 Taustamelu

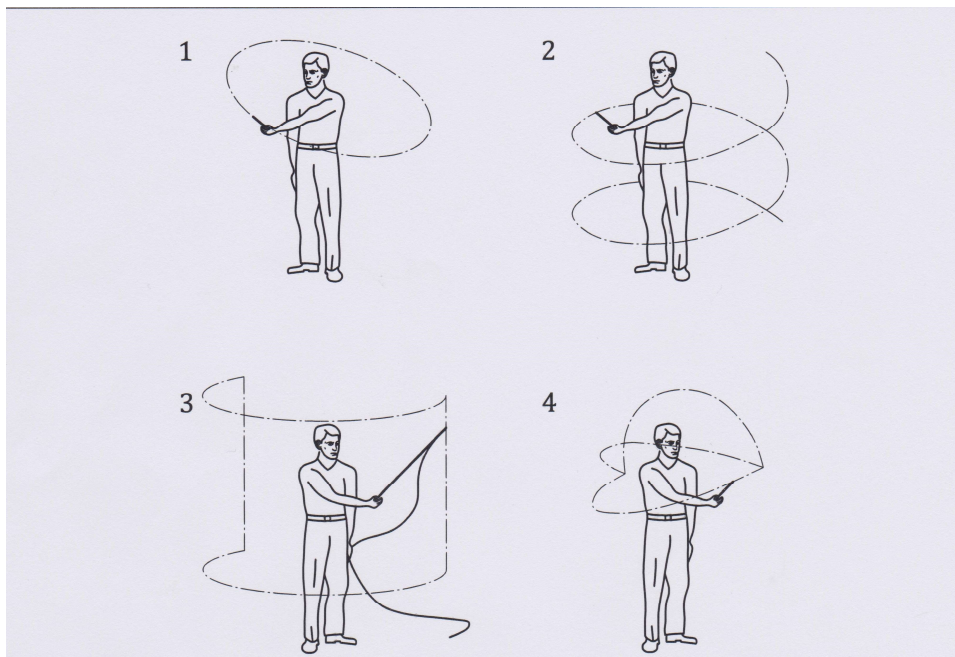
Taustamelulla tarkoitetaan huoneistossa vaikuttavaa ääntä, joka täytyy huomioida mittauksia tehdessä. Ääniä on esimerkiksi äänet, jotka vaikuttavat huoneistossa koko ajan. Yleensä huoneistoissa huomioidaan ilmastoinnin, liikenteen ja kodintekniikan tuottamat äänet.

7.2 Taustamelun mittaus

Ensimmäinen toimenpide oli mitata huoneiston taustamelu, jotta saadaan selville mitä ääniä huoneistossa on jo valmiiksi ennen japanilaisen pallon tuottamaa ääntä. Tällaisia ääniä on esimerkiksi ilmastointikoneen tuottama ääni, huoneistossa vaikuttavat laitteet ja liikenteen melu. Taustamelun mittaaminen suoritettiin Norsonic Nor140 mittauslaitteella.

Mittaus suoritetaan siten, että mittalaite eli Nor140 kalibroitiin ja tarkistettiin mittalaitteen asetusten oikein oleminen. Sen jälkeen mittalaite asetetaan mittaamaan 30 sekuntia ääntä, joka huoneistossa vaikuttaa. Mittaus suoritetaan liikuttamalla Nor140 mittalaitetta neliön muotoista liikettä (Kuva 16). Ettei muita ulkopuolisia ääniä pääsisi nauhoitukseen on oltava mahdollisimman äänettömästi, joka voisi väärentää mittaustuloksia. Kyseiset mittaukset suoritettiin vastaanottavista huoneistosta, joita mittasimme kerrostalossa.

Mittauksia tuli siis yhteensä kuusi kappaletta. Mittauksia jouduimme välillä tekemään uudestaan koska ulkopuoliset rakennus äänet kuuluivat selvästi rakennukseen ja olisivat haitanneet mittaustulosta. Mittaukset suoritettiin standardin mukaisesti.



Kuva 16. Taustamelun mittaus tekniikka. (Kuva: ISO 16283-2:2018).

7.3 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan, kuinka nopeasti äänilähteellä tuotetun äänenpaine laskee, kun äänilähde sammutetaan mitattavasta huoneistosta. Tällöin voidaan todeta, että lyhyempi jälkikaiunta-aika on, sen nopeammin puhetavut vaimenevat ja mitä pidempi jälkikaiunta-aika on, sen pidempään puhetavut jäävät soimaan huonetilaan, jolloin puheen selvyys kärsii. Taulukossa 2 on esitetty 500Hz taajuudella erilaisten tilojen jälkikaiunta-aikoja. (Kylliäinen 2006, 39-40.)

Jälkikaiunta aikoja	Tila esimerkki
alle 5 sekuntia	Tampereen tuomikirkko tyhjänä
2 s - 3 s	Suuri aula, jossa ei vaimennusta
1,8 s	Tampere-talon iso sali
1,5 s	Kalustamaton makuuhuone
1,0 s - 1,2 s	Teatteri, auditorio
0,6 s - 0,8 s	Hyvin suunniteltu luokkahuone
0,5 s	Kalustettu makuuhuone
0,3 s - 0,8 s	Elokuvateatteri, tilavuudesta riippuen
0,2 s - 0,3 s	Äänitarkkaamo, tilavuudesta riippuen

Taulukko 2. Esimerkki jälkikaiunta-aikoja. (Kylliäinen 2006, 40).

Jälkikaiunta-aika on otettava huomioon laskiessa, koska huoneen muoto ja pintamateriaalit vaikuttavat tuloksiin merkittävästi. Pehmeät pintamateriaalit lyhentävät jälkikaiunta-aikaa ja kovat pintamateriaalit pidentävät jälkikaiunta-aikaa huoneistoissa.

Jälkikaiunta-ajan myötä äänenpainetaso pienenee 60 dB. Jälkikaiunta aika mitataan esimerkiksi puolipallo kaiuttimella, joka tuottaa kovan äänen ja äänilähde sammutetaan nopeasti ja jälkikaiunta-aika mitataan sekunteina huoneistossa. (Kylliäinen 2006, 39). Jälkikaiunta-aika lasketaan kaavalla 9.

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (9)$$

missä

T	jälkikaiunta- aika, s
V	tilavuus m ³
A	absorptioala m ² (Kylliäinen 2006, 39-40).

7.4 Jälkikaiunta-ajan mittaus

Mittasimme Lighthouse kerrostalosta jälkikaiunta-ajan jokaisesta huoneistosta. Huoneistoa kohden tuli yhteensä kaksi eri mittausta, mittausta paikkaa muuttaen. Mittaukseen tarvitaan Nor-140 äänenmittauslaite, joka toimii mittauksessa mittaukseen tarvittavana heräteäänien lähteenä kuin myös jälkikaiuntaa mittaavana laitteena. Mittauksessa yhdistetään äänen mittauslaite Nor-140 N-280 äänenvahvistimeen, joka yhdistetään Nor-250 puolipallo kaiuttimeen tuottamaan ääntä vahvistimen avulla.

Puolipallo kaiutin sijoitetaan huoneiston nurkkaan mutta ei alle metrin päähän kiinteistä kalusteista tai seinistä. Nor-250 puolipallo kaiutin tuottaa 120 dB suurista kohinamaista ääntä. Puolipallo kaiuttimeen on kytkettynä Nor-140 mittauslaite, johon valitaan oikea ohjelma haluamansa mittauksen selvittämiseksi. Mittauksissa käytimme askeläänikojeelle tarkoitettua ohjelmaa, koska japanilainen pallo on niin uusi mittaustapa, jolle oikeaa ohjelmaa mittalaitteesta ei löytynyt. Tämä oli lähimpänä mittaustapaa, jota japanilainen pallo muistuttaa.

Kaiutin soi 10 sekuntia, jolloin Nor-140 mittalaitetta käytettiin kolmessa eri kohdassa. Nor-140 mittauslaite antaa automaattisesti signaalin vahvistimelle, jolloin kaiutin lopettaa äänen tuottamisen. Tämän jälkeen Nor-140 mittauslaite mittaa viisi sekuntia äänilähteen eli Nor-250 puolipallokaiuttimen kohinamaisen äänen lopettamisen jälkeen huoneistossa olevaa äänen kaiuntaa. Mittaustulokset tallentuvat Nor-140 mittauslaitteeseen, jolloin niitä päästään vertailemaan japanilaisen pallon tuottaman äänen rinnalla. Jälkikaiunta aika mitattiin standardin määräysten mukaan.

7.5 Japanilaisen pallon ääni välipohjan läpi

Mittauksessa tarkoitus oli mitata japanilaisen pallon avulla ääntä, joka kantautuu CLT-välipohjan läpi suoraan alla olevaan huoneistoon. Japanilainen pallo kolmen kilon painoinen elastinen pallo. Pallo asetettiin metrin korkeuteen, ja pudotettiin kohti suoraan välipohjaan nähden. Mittaustulokset mittasimme alapuolelta Nor140 mittalaitteella, joka piti asettaa 30 senttimetrin päähän välipohjasta ja vähintään 15 senttimetrin päässä rakennuksen seinistä.

Pallolla mitatessa piti huomioida, ettei välipohjan läpi kantautunut samalla hetkellä muita ääniä mittausten aikana. Mittauksia suoritimme useita suoraan CLT-välipohjan läpi kuin myös alas lasku kattojen kohdalta, jolloin pääsimme vertailemaan äänen kantavuutta välipohjan ja alaslaskun kohdalla. Mittauksia suoritettiin standardin mukainen määrä, joten mittauksia tuli pienemmistä huoneistoista kuusi kappaletta ja suuremmista huoneista kahdeksan kappaletta.

Mittauksien haasteena oli kommunikointi japanilaisen pallon pudottajan kanssa, koska huoneistossa piti olla äänettömästi. Parhaaksi ratkaisuksi päätimme olla videopuhelun välityksellä yhteydessä toiseen, jolloin käsimerkkejä näyttämällä toisessa kerroksessa oleva tiesi milloin pallon voi pudottaa välipohjaan ja milloin mittaus oli suoritettu.

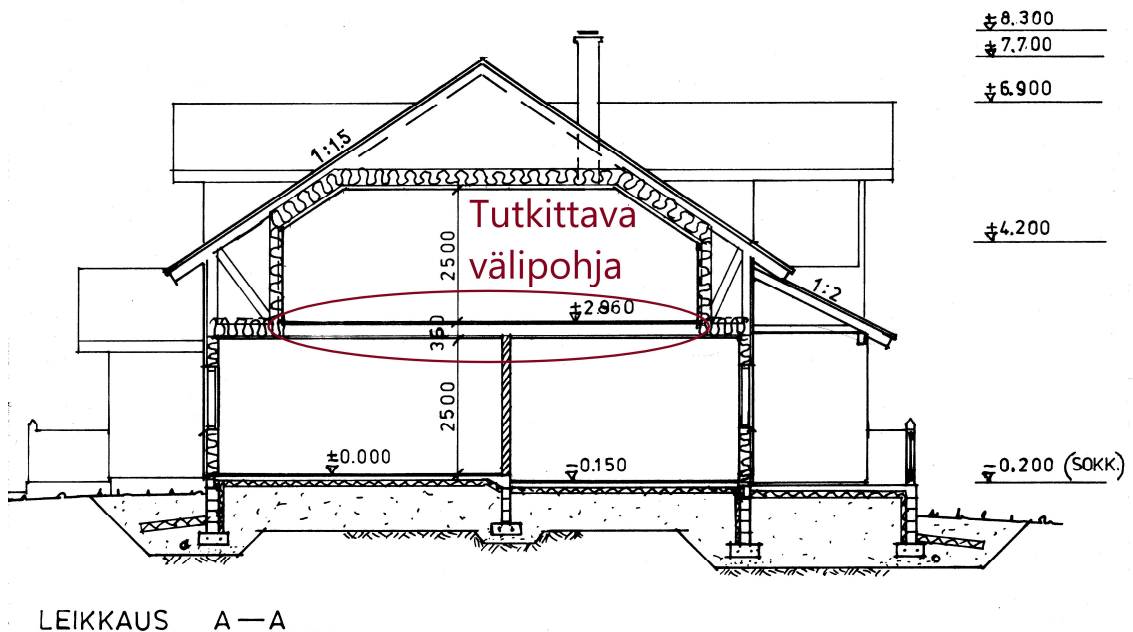
Mittaukset suoritettua tulokset tallennettiin Nor-140 mittalaitteeseen ja tietokone ohjelmalla tarkastimme ja vertailimme mittaustulokset keskenään, jolloin saimme tietoa onko huoneistojen välipohjilla äänieristävyys eroja.

Epäonnistuneita mittauksia tuli jonkin verran, kun havaitsimme ulkoisia ääniä tai palloa ei saatu kerralla kiinni pompautuksen jälkeen, jolloin mittaus suoritettiin uudestaan.

8 Uudet mittaukset

Mittaustuloksia analysoidessa ohjaavan opettajamme kanssa, opettajamme huomasi mittauksissa olevan jonkin pielessä. Teimme testaus mittauksia koululamme ja tuloksissa oli eroja puukerrostalossa oleviin mittauksiin. Tuloksia analysoidessa ohjaava opettaja huomasi mittauksistamme, jotka olimme mitanneet kerrostalossa, olivat mitattu väärällä tavalla. Mittauksistamme puuttui maksimi L_{flmax} ja minimi L_{flmin} arvot, jolloin mittauksia ei voinut analysoida ja käyttää japanilaisen pallon ja askeläänikojeen vertailemiseen. Tämän vuoksi jouduimme mittaamaan uudet kohteet, koska puukerrostalo oli otettu jo käyttöön ja mittauksista ei olisi enää tullut mittaustuloksien kannalta luotettavat. Mittaustulosten epäonnistumisen syyksi paljastui vääränlainen ohjeistus Nor-140 mittauslaitteen käyttöön.

Uusiksi kohteiksi valikoitui Karelia Ammattikorkeakoulun Wärtsilä kampus, joka on rakennettu betonielementeistä ja välipohjarakenne on paikallavalettu betoni- nen välipohja. Toinen mitattava kohde on Ilomantsissa sijaitseva kaksi kerroksi- nen puurakenteinen omakotitalo, jossa välipohjarakenne on puurunkoinen (kuva 17).



Kuva 17. Omakotitalon tutkittava välipohja.

8.1 Ilomantsin omakotitalo

Mittasimme Ilomantsissa sijaitsevan omakotitalo kohteen välipohjan (kuva 8) 9.11.2019. Omakotitalon mittaukset suoritettiin standardin määräämällä tavalla. Omakotitalo kohteessa mittasimme yhden välipohjan askeläänikojeella ja japanilaisella pallolla, jolloin pääsimme vertailemaan japanilaisen pallon ja askeläänikojeen välipohjan äänen läpäisevyyttä ja eroavaisuuksia.

Kuuloaistin perusteella askeläänikojeen tuottama ääni kantautui japanilaistapalloa selkeämmin välipohjan läpi huoneistoon. Välipohjan läpi tulevan äänen suuruus vaihteli paikkojen mukaan paljon. Tähän vaikuttaa kantavana rakenteena olevat palkit. Palkkien kohdalla ääni oli paljon kovempaa kuin palkin ohi tuleva isku, koska ääni kantautui suoraan palkkilinjasta alapuolella olevaan huoneistoon. Taas palkin ohi tulevat iskut olivat huomattavasti vaimeampia.

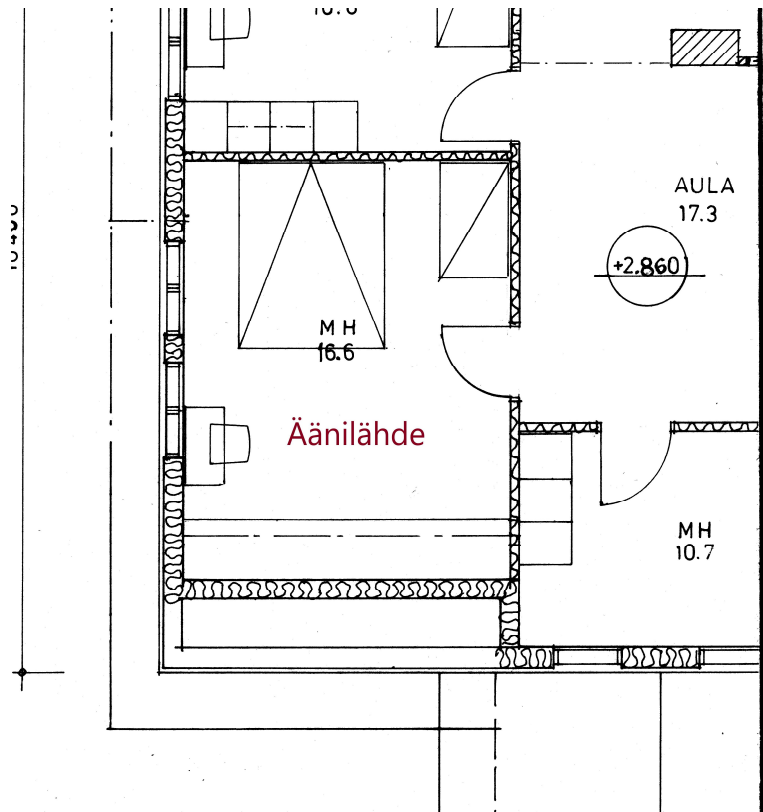
8.1.1 Japanilaisella pallolla mittaukset

Japanilainen pallo toimi äänilähteenä yläkerran makuuhuoneessa (kuva 18) ja mittaukset suoritettiin alakerran vierashuoneesta (kuva 19).

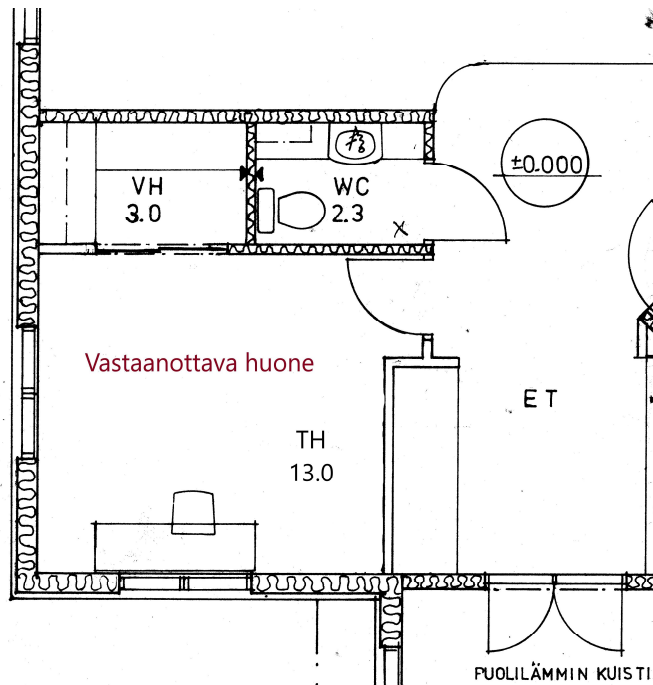
Otimme kahdeksan mittausta epäsymmetrisesti japanilaisella pallolla makuuhuoneesta ja vastaanottavassa vierashuoneesta mikrofoni oli kahdeksassa eripaisassa eri korkeuksilla noudattaen standardin ohjeita. Japanilaista palloa tiputettiin yhden metrin korkeudesta kohtisuoraan välipohjaan nähden.

Taustamelu mittauksia vastaanottavasta tilasta eli vierashuoneesta otimme myös neljä mittausta eri kohdista ohjeen mukaan, taustamelu mittauksen kesto meillä oli kymmenen sekuntia. Huoneistossa vaikuttavia taustameluja oli ainakin ilmastoinnista aiheutuvat äänet.

Jälkikaiunta mittauksia otimme neljä vierashuoneesta, koska huone oli kooltaan alle 25 neliötä ja jälkikaiunta mittauksen kesto meillä oli 30 sekuntia.



Kuva 18. Omakotitalon yläkerran huone, jossa sijaitse äänilähde.



Kuva 19. Omakotitalon alakerran työhuone, josta mittaukset suoritettiin.

8.1.2 Askeläänikojeen mittaus

Askeläänikoje oli samassa huoneessa äänilähteenä missä japanilainen pallo oli eli yläkerran makuuhuoneessa. Mittaukset suoritettiin Nor-140 mittauslaitteella alakerran vierashuoneesta.

Otimme viisi mittausta epäsymmetrisesti askeläänikojeella standardin mukaisesti makuuhuoneesta ja vastaanottavassa vierashuoneessa mikrofoni oli viidessä eri-paikassa noudattaen standardin ohjeita.

Taustamelu mittauksia vastaanottavasta tilasta eli vierashuoneesta otimme myös neljä mittausta eri kohdista ohjeen mukaan, taustamelu mittauksen kesto meillä oli kymmenen sekuntia. Taustamelua tuottavia ääniä oli ainakin ilmastointikone. Jälkikaiunta mittauksia otimme neljä vierashuoneesta, koska huone oli kooltaan alle 25 neliötä ja jälkikaiunta mittauksen kesto meillä oli 30 sekuntia.

8.2 Karelia Ammattikoulu Wärtsilä kampus

Kävimme mittaamassa luokkahuoneen 230 sekä pienen auditorion 131 6.11.2019 kampuksella. Wärtsilä kampuksessa mittasimme kahden luokkahuoneiston välisen betonisen välipohjan japanilaisella pallolla sekä askeläänikojeella, jotta saisimme vertailu välipohjan millä tavalla ääni siirtyy verrattuna puurankarakenteiseen välipohjaan.

Luokka huoneet eivät olleet symmetrisesti kohdakkain eli yläpuoleinen 230 luokkahuoneisto ei ollut samalla kohdalla kuin alapuolella oleva 131 auditorio. Tämä piti huomioida mittauksia tehdessään siten, että yläpuolella oleva äänilähde piti sijoittaa siten että se oli alapuolella olevan huoneiston kohdalla.

8.2.1 Japanilaisella pallolla mittaukset

Japanilainen pallo toimi äänilähteenä luokassa 230 ja mittaukset suoritettiin pienestä auditoriosta 131. Välipohja huoneistojen välillä on betoninen holviraakenne. Otimme kahdeksan mittausta epäsymmetrisesti japanilaisella pallolla

luokahuoneesta 230 ja vastaanottavassa huoneessa 131 mikrofoni oli kahdeksassa eripaikassa eri korkeuksilla.

Taustamelu mittauksia vastaanottavasta tilasta eli pienestä auditoriosta 131 otimme myös kahdeksan mittausta eri kohdista ohjeen mukaan, taustamelu mittauksen kesto meillä oli kymmenen sekuntia.

Jälkikaiunta mittauksia otimme seitsemän mittausta pienestä auditoriosta 131 ja jälkikaiunta mittauksen kesto meillä oli 30 sekuntia.

8.2.2 Askeläänikojeen mittaus

Askeläänikojeen mittaukset suoritimme samoissa luokahuoneistoissa, joista olimme ottaneet japanilaisella pallolla mittaustulokset. Tämä tehtiin sen vuoksi, koska opinnäytetyössämme oli tarkoitus verrata japanilaisenpallon ja askeläänikojeen eroa välipohjien äänen läpäisyn kannalta. Välipohja, joka erottaa huoneistot, on betoninen holvirakenne.

Askeläänikoje sijaitsi luokahuoneessa 230 ja mittaukset suoritettiin pienessä auditoriossa 131. Askeläänikojetta käytettiin välipohjan yläpuolella yhteensä kuudessa eripaikassa ja vastaan ottavassa huoneessa mittaustulokset otettiin epäsymmetrisessä järjestyksessä.

Mittaukset suoritettiin siten että vastaanottavasta huoneesta otimme taustamelu mittaukset yhteensä kahdeksasta eripaikasta standardin mukaisesti. Taustamelun mittaus ajaksi standardissa määritellään 30 sekuntia.

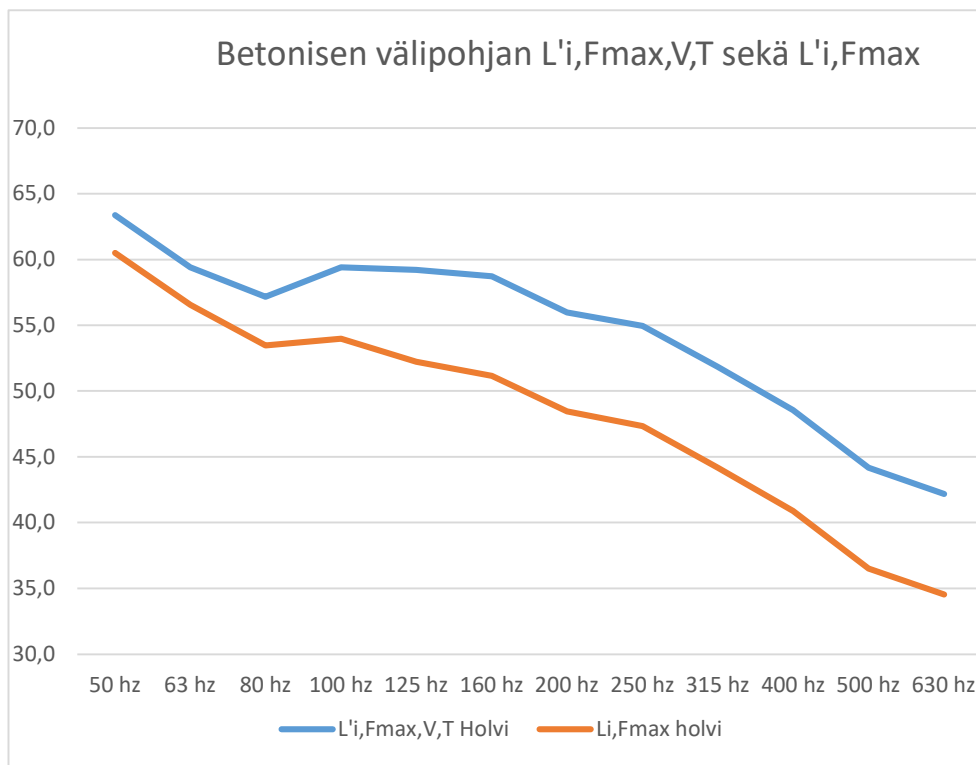
Jälkikaiunta-aika mitattiin pienestä auditoriosta yhteensä kuusi kertaa, jolloin standardin mukaiset vaatimukset täyttyivät. Jälkikaiunta-ajan mittaus suoritettiin soittamalla puolipallokaiutinta 10 sekuntia ja mittaamalla jälkikaiunta-aikaa viiden sekunnin ajan.

9 Mittaustulokset

Tarkoituksenamme oli vertailla betonisen välipohjan äänitekniisiä ominaisuuksia japanilaisen pallon ja askeläänikojeen välillä. Mittaustuloksia tarkastellessamme huomasimme 50-63 Hz kohdalla puuttuvan jälkikaiunta-aikojen tuloksia. Jälkikaiunta-aikojen tuloksissa oli muutenkin suuria eroja, jotka johtuivat mitä luultavammin ulkopuolisista meluhaitoista mittauksien aikana. Päätimme käyttää tulosten laskennassa mittaushuoneiden jälkikaiunta-aikojen keskiarvo tuloksia, jolloin saimme laskentaan arvot, jolla voimme laskea korjaus arvoja. Jälkikaiunta-aikojen puutteellisuuden vuoksi mittaustulosten laskennassa emme olisi saaneet järkeviä vertailutuloksia ilman keskiarvotuloksia mitattavista huoneista.

Jälkikaiunta arvojen puutteellisuuden vuoksi mittauksien laskelmat eivät ole standardin mukaiset, mutta kuitenkin vertailutulokset japanilaisen pallon ja askeläänikojeen välille saimme.

9.1 Wärtsilä kampus mittaustulokset



Kuvio 1. Japanilaisenpallon mittaustulokset

$L'_{i,Fmax,V,T}$ eli kuviossa 1 sinisellä käyrällä kuvataan japanilaisen pallon korjatua mittaustulosta, jossa on huomioitu mittaustuloksista saatu jälkikaiunta-aika, joka lasketaan kaavalla 10, kaavassa apuna käytetään kaavoja 11 ja 12. $L'_{i,Fmax}$ eli kuviossa 1 oranssiin käyrään on otettu huomioon taustamelukorjaus, joka lasketaan kaavalla 11. Kuvioista 1 huomataan että japanilaisen pallon tuottama ääni ei kantaudu samalla tavalla massiivisten betoni rakenteiden läpi, mitä kuviossa 3 japanilaisen pallon tuottama ääni kantautuu selkeämmin puurunkoisessa rakenteessa.

$$L'_{i,Fmax,V,T} = L_{i,Fmax} + 10 \lg \frac{V}{V_0} - 10 \lg \left(\frac{1-C_0^{-1}}{1-C^{-1}} \left(\frac{C^{(1-C)^{-1}} - C^{-(1-C)^{-1}}}{C_0^{(1-C_0)^{-1}} - C_0^{-(1-C_0)^{-1}}} \right) \right) \quad (10)$$

$$C_0 = \frac{T_0}{1.7275} \quad (11)$$

$$C = \frac{T}{1.7275} \quad (12)$$

missä

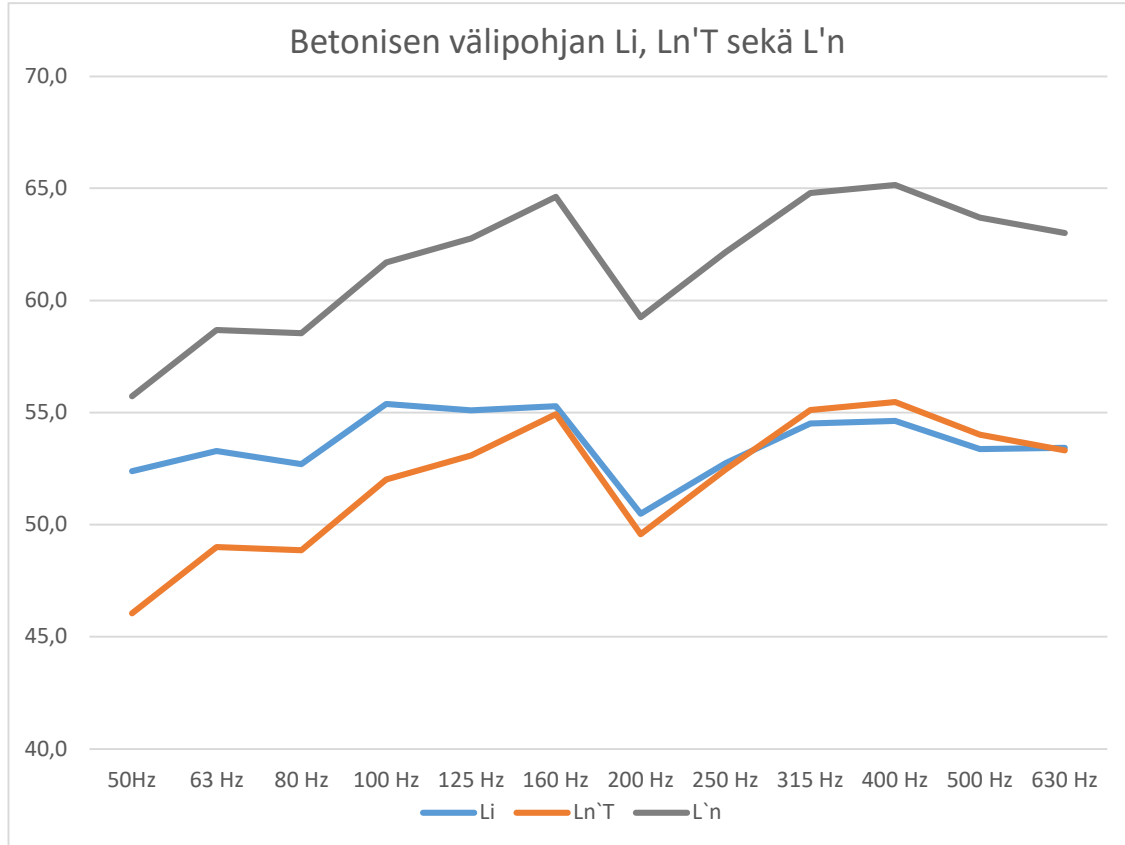
T	vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika sekunteina
T_0	vertailujälkikaiunta-aika, asunoilla $T_0=0,5$ sekuntia
V	vastaanottavan huoneen tilavuus, m^3
V_0	vertailuhuoneen tilavuus, asunnoilla $V_0=50m^3$
C	jälkikaiunta-aika sekunteina
C_0	vertailu jälkikaiunta-aika
$L_{i,Fmax}$	maksimi iskun energiakeskiarvon äänenpainetaso, dB. (SFS-EN ISO 16283-2 2018, 10.)

Maksimi iskun energiakeskiarvo eli $L_{i,Fmax}$ lasketaan kaavalla 13.

$$L_{i,Fmax} = 10 \lg \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{L_{i,Fmax,j}}{10}} \right) \quad (13)$$

missä

m japanilaisen pallojen lukumäärä
 $L_{i,Fmax,j}$ maksimi iskun äänepainetaso japanilaisen pallon paikkaa kohden j ((SFS-EN ISO 16283-2 2018, 14.)



Kuvio 2. Askeläänikojeen mittaustulokset.

Kuviossa 2 L_n :llä tarkoitetaan kenttämittaustuloksista saatua arvoa, joka poikkeaa L_n 't eli standardoidusta arvosta huomattavasti. Tämä johtuu siitä, koska L_n 'T laskennoissa on otettu huomioon jälkikaiunta-aika ja jälkikaiunta-aikaan vaikuttavia tekijöitä on huoneen pintamateriaalit ja tekstiilit.

Laskennoissa käytetyt kaavat ja selitykset. Kuvion 2 L_i saadaan laskettua seuraavalla kaavalla. L_i arvo pitää ensimmäisenä laskea, jotta voidaan laskea L_n 'T sekä L_n .

$$L_i = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \quad (14)$$

missä

n	mikrofonin mittauspaikkojen lukumäärä
L _j	mitattu äänenpainetaso, dB (SFS-EN ISO 16283-2 2018, 18).

Kuvion 2 L_{nT} eli oranssi käyrä saadaan laskettua seuraavalla kaavalla. Laskukaavassa otetaan vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika sekunteina sekä aikaisemmin laskettu L_i huomioon.

$$L_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (15)$$

missä

L _{nT}	standardisoitu askeläänitaso
L _i	vastaanottavan huoneen äänenpainetasoista laskettu energiakeskiarvo
T	vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika sekunteina
T ₀	vertailujälkikaiunta-aika, asunoilla T ₀ =0,5 sekuntia. (SFS-EN ISO 16283-2 2018, 9).

Kuvion 2 L_n harmaa käyrä saadaan laskettua seuraavalla kaavalla. Kaavassa otetaan huomioon vastaanottavan huoneen pinta-ala sekä aikaisemmin laskettu L_i.

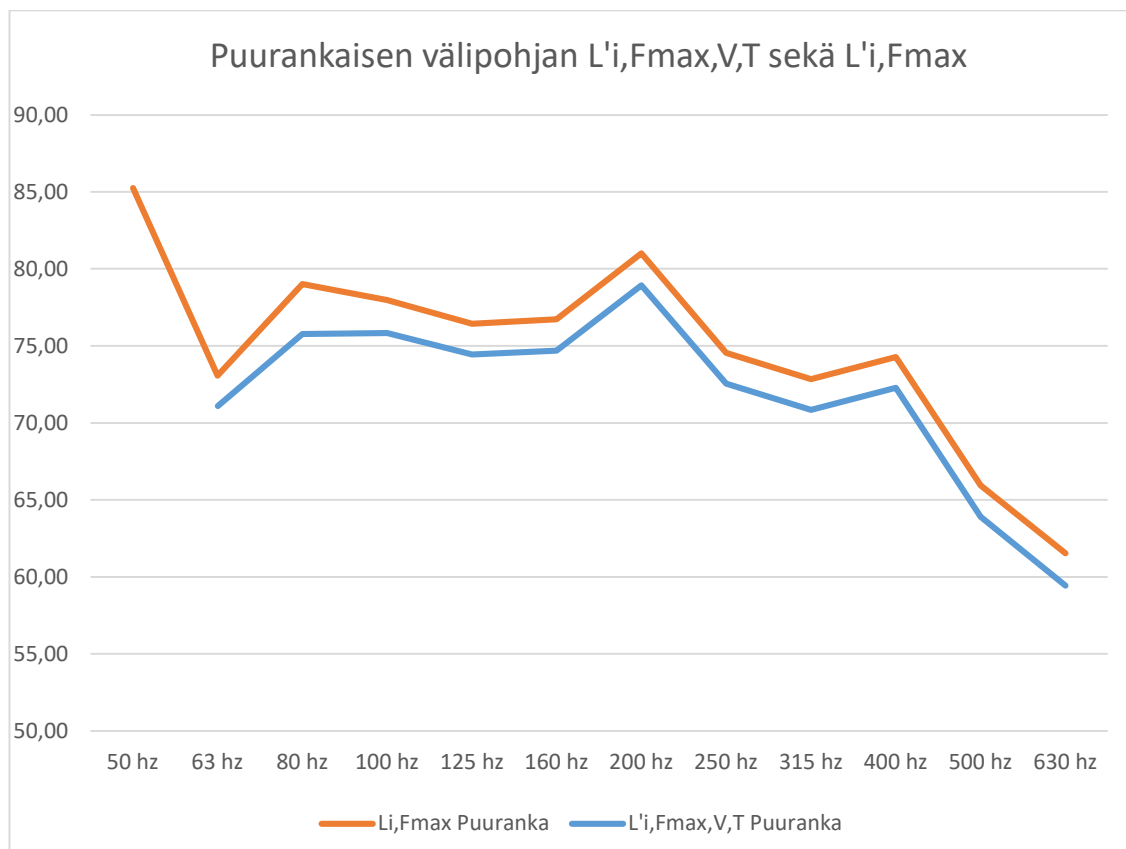
$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad (16)$$

missä

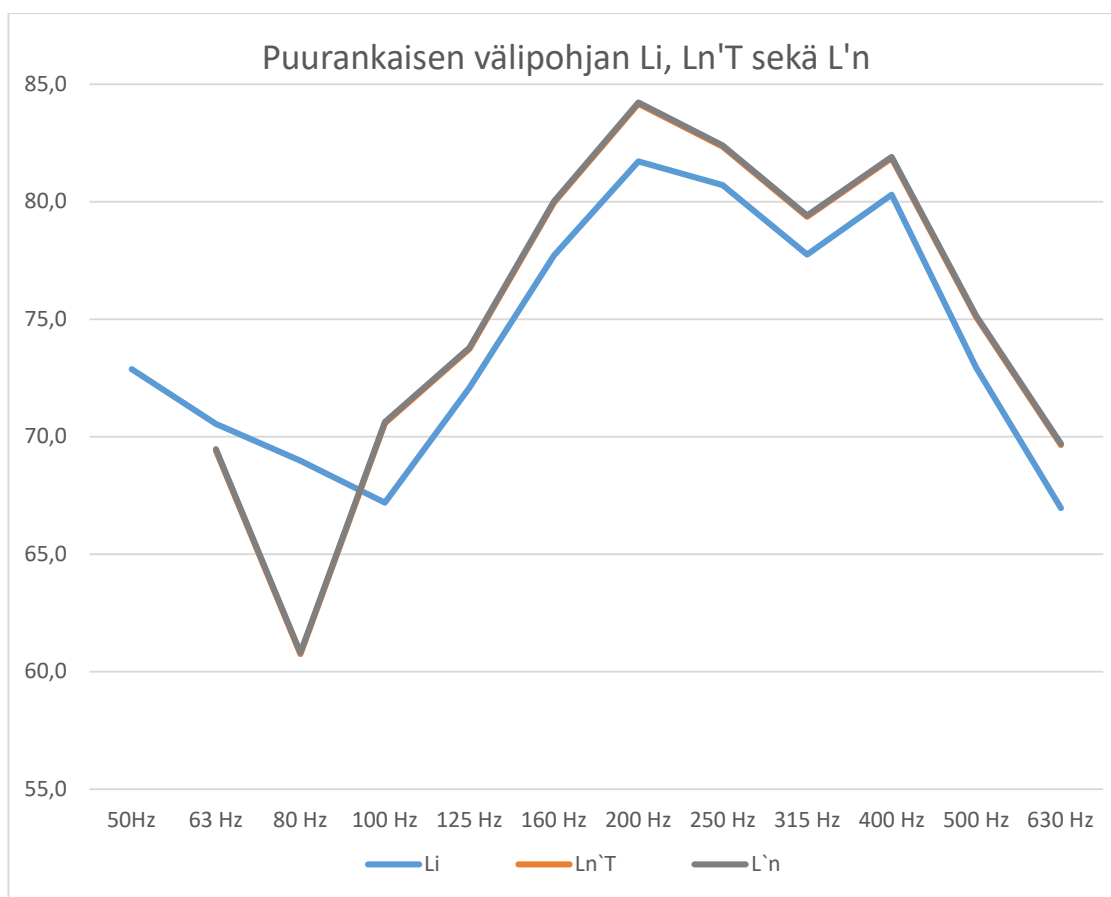
L _n	kenttämittauksien askeläänitaso
L _i	vastaanottavan huoneen energiakeskiarvo
A	tilan absorptioala m ²
A ₀	vertailu absorptioala, asunnoilla A ₀ =10m ² (SFS-EN ISO 16283-2 2018, 9-10).

9.2 Ilomantsin mittaukset japanilaisella pallolla

L'i,Fmax,V,T eli kuviossa 3 sinisellä käyrällä kuvataan japanilaisen pallon korjattua mittaustulosta, jossa on huomioitu mittaustuloksista saatu jälkikaiunta-aika. L'i,Fmax eli kuviossa 3 oranssiin käyrään on otettu huomioon taustamelukorjaus. Kuten kuviosta 3 voi huomata, laskentojen perusteella korjausarvolla saadaan vain muutaman desibelin erot tuloksiin.



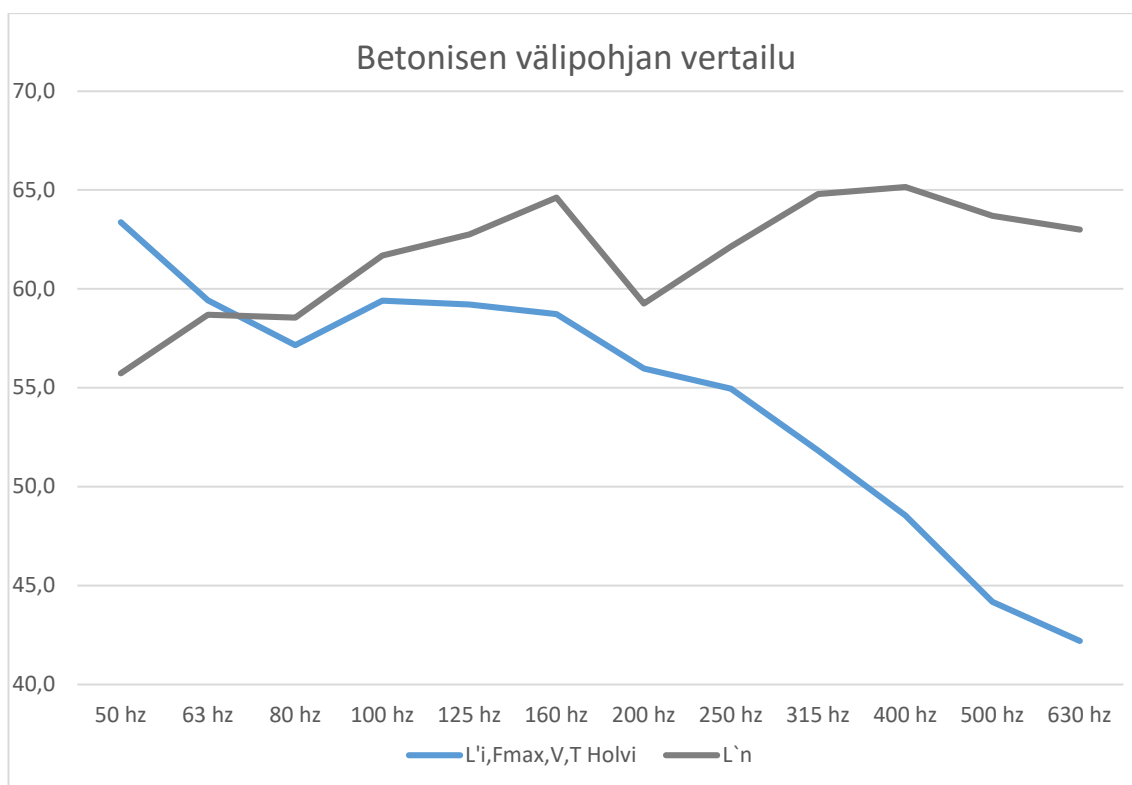
Kuvio 3. Puuranka japanilainen pallo.



Kuvio 4. Askeläänikoje puuranka välipohja.

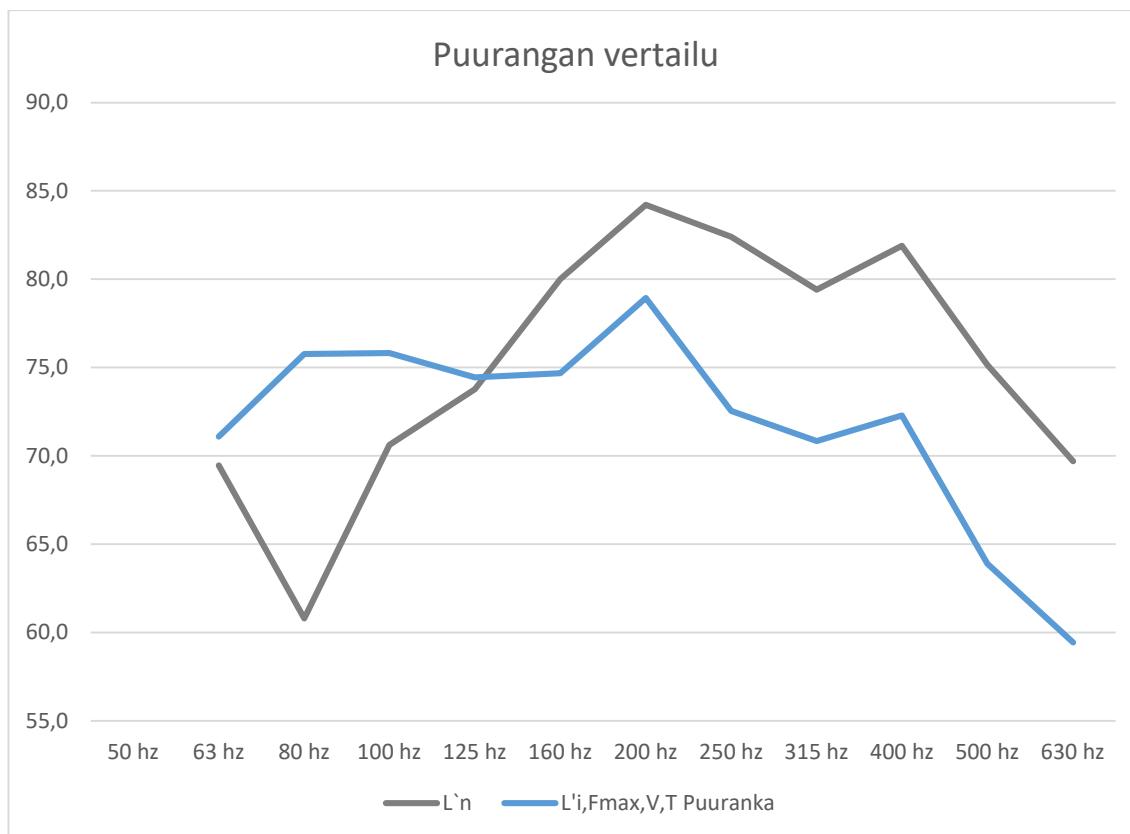
10 Tulosten vertailu

Vertaillessamme tuloksia keskenään tulimme siihen johtopäätökseen, että japanilainen pallo ei sovellu massiivisten betonirakenteiden mittauksiin samalla tavalla kuin askeläänikoje. Japanilaisen pallon ääni on pehmeä, joten sen tuottama ääni hukkuu helposti ympärillä oleviin taustameluihin, kuten ilmastointikoneiden ääniin. Japanilaisen pallon tuottama ääni lähtee 125 Hz kohdalla selvästi nopeaan laskuun (kuvio 1). Kaaviosta näkyy askeläänikojeen tuottama ääni, on selvästi korkeampi betonisessa rakenteessa kuin japanilaisen pallon, jolloin ääni kuuluu paljon korkeammin vastaanottavaan huoneeseen. Tämän vuoksi askeläänikoje on parempi vaihtoehto massiivisten rakenteiden ääneneristävyyden mittaukseen.



Kuvio 5. Japanilainen pallo ja askeläänikoje vertailu betonirakenteessa.

Japanilainen pallo toimii puurunkoisissa välipohja ratkaisuisissa paremmin kuin askeläänikoje. Japanilaisen pallon tuottama ääni vastaa paremmin elämisen ääniä tällaisissa kohteissa kuin massiivisissa betonirakenteissa. Askeläänikojeen tuottama ääni puurunkoisessa välipohja rakenteessa vastasi lähinnä raskaiden tavaroiden pudottelua, jonka äännet eivät vastaa normaaleja elämisen ääniä. Japanilaisesta pallosta lähtevä ääni vastaa mielestämme paremmin elämisen ääniä, koska ääni on pehmeä, joka vastaa lähinnä kävelyä ja tavaroiden siirtelyä. Kuten kuviosta 2 näkyy, pallon tuottama ääni on 63 Hz:stä 250 Hz:iin paljon tasaisempi kuin askeläänikojeen, joka vaihtelee suuresti 63Hz:n sekä 250 Hz:n välillä.



Kuvio 6. Puurangan vertailu japanilaisen pallon ja askeläänikojeen välillä.

11 Pohdinta

Opinnäytetyömme aiheena oli vertailla Lighthouse kerrostalon välipohjista askeläänikojeella otettujen mittaus tuloksien eroavaisuutta japanilaisen pallon mitaustuloksiin. Kävimme mittaamassa japanilaisella pallolla samat välipohjat kuin askeläänikojeella oli mitattu. Mittauskertoja kerrostalosta tuli yhteensä kolme kertaa ja mittaukset suoritettiin siten, ettei rakentamisesta tulevia ääniä tullut äänitteisiin.

Opettajamme kanssa mitaustuloksia tarkastellessa, mittaukset olivat epäonnistuneet. Tähän oli syynä vääränlainen mittauslaitteen ohjeistus Nor-140 mittauslaitteella. Saimme vääränlaisen ohjeistuksen mitaustapaan, valikosta otetulla askeläänikojeen mitaustyyllillä ei voinut mitata Japanilaisenpallon mittauksia. Mittaustapa on Suomessa uusi, eikä kukaan oikeastaan tiennyt varmuutta, miten

kyseinen mittaus tulisi suorittaa kyseisellä mittauslaitteella sillä hetkellä, kun mittasimme Lighthouse kerrostalossa. Tämän takia mittaustuloksia ei voinut vertailla aikaisemmin tehtyyn opinnäytetyöhön, Puukerrostalojen rakenteiden äänitekni- nen toimivuus - Case Joensuu Lighthouse Jäppinen ja Pesonen (2019) askelää- nikojeella keskenään, koska tuloksista ei saanut maksimi L_{flmax} ja minimi L_{flmin} arvoja.

Emme suorittaneet mittauksia uudestaan puukerrostalossa koska se oli otettu jo käyttöön ja asukkaat olivat muuttaneet kohteeseen. Mittaukset olisivat olleet epä- luotettavat elämisestä syntyvien äänien takia. Lighthouse kerrostalon välipohjista olisi ollut hyvä saada vertailutulos askeläänikojeelle, koska kyseistä vertailua ei ole aikaisemmin tehty puukerrostaloista. Kerrostalon välipohjissa kuulon perus- teella oli kuitenkin eroja, koska osa välipohjista päästi enemmän kävelyääntä läpi kuin toiset. Tämän vuoksi mittaustulokset olisivat olleet erityisen tärkeitä ja olisi ollut mielenkiintoisia verrata keskenään, pitäisikö tämä kojeiden tulosten perus- teella paikkaansa.

Tulosten epäonnistumisen takia, mittasimme uudet kohteet, jotka olivat Ilomant- sissa sijaitseva puurunkoinen kaksikerroksinen omakotitalo. Toinen kohde oli Ka- relia ammattikorkeakoulu Wärtsilän betoninen välipohja. Näin saimme tarvittavat mittaukset suoritettua, joten voimme vertailla puurakenteisen ja betonirakentei- sen välipohjan eroja.

Ilomantsissa mitattujen tulosten perusteella mittaukset eivät vastaa standardia, koska 50-63 Hz, emme saaneet jälkikaiunnasta arvoja. Tämän takia mittaukset eivät ole standardin mukaiset. Jälkikaiunta-ajan puutteellisuuden arvioimme vai- kuttavan mittauslaitteemme Nor-140 asetuksissa olevan jokin pielessä. Toinen vaikuttava tekijä voi olla huoneen kalusteet, jotka vaimentavat ääntä niin tehok- kaasti, joten kyseisillä hertseillä jälkikaiuntaa ei ollut tai se oli niin pientä, ettei mittarimme havainnut sitä. Tämän vuoksi käytimme mittauksissamme askelääni- kojeen tuloksista saatuja jälkikaiunta-aikoja, joista otimme keskiarvo tuloksen ja käytimme molemmissa laskelmissa samoja jälkikaiunta-aikoja.

Saimme laskettua ja vertailtua luotettavasti puurunkoisen ja betonisen välipohjan eroja.

Ilomantsin mittauksissa askeläänikojeella tehdyissä mittauksissa huomasimme kuulonvaraisesti eroja. Tähän vaikuttavia tekijöitä on puurunkoisen välipohjapalkkien sattuessa askeläänikojeen vasaroiden alle, ääni tuli suoraan alapuolella sijaitsevaan huoneeseen todella voimakkaana. Yhtenä vaikuttavana tekijänä pohdimme sen johtuvan siitä, että ääni kantautuu suoraan palkkia myöten alapuolella olevaan huoneeseen. Kun askeläänikoje oli muualla kuin palkkilinjalla ääni oli huomattavasti vaimeampi, tähän vaikutti välipohjan ilmatila sekä villaeristys.

Japanilaisella pallolla tehdyissä mittauksissa Ilomantsissa ei havaittu suurempia ongelmia. Kun pallon pudotti lattiaan, huomasimme selkeästi, milloin pallo osui välipohjapalkkiin ja milloin ei. Pallon osuessa lattiaan vastaanottavassa huoneessa kuului resonointia, joka johtui irtokalusteista. Mittaustulokset olisivat olleet luotettavimmat, jos huoneissa ei olisi ollut kalusteita.

Koulullamme tehdyistä betonisen välipohjan mittauksissa havaitsimme ongelmia pallon tulosten kanssa, koska pallon tuottama ääni ei meinannut erota taustameluista, jotka luokkahuoneessa vaikutti. Kun käsittelemme mittaustuloksia Excelissä, huomasimme pienen eron, jonka arvelimme olevan pallon tuottamaa ääntä. Ääni on niin matala taajuinen, joka hukkuu helposti taustameluihin kuten ilmastointikoneiden ja elektroniikkalaitteiden tuottamaan ääneen. Lisäksi betoninen välipohja on massiivinen rakenne, ettei pehmeän pallon tuottamaa ääntä havainnut kunnolla kuuloaistein. Kuitenkin mittauksissa saimme selvyuden mikä on pallon tuottamaa ääntä ja mikä ei.

Koululla askeläänikojeen mittaukset kuuluivat selkeästi alla olevaan auditorioon, joten tulokset saimme helposti selville. Tässäkin mittauksessa jälkikaiunta-ajan puutteellisuudet tuottivat ongelmia laskennoissa, koska jouduimme käyttämään samoja jälkikaiunta aikoja tuloksien vertailussa kuin pallolla. Tämän vuoksi mittauksemme eivät olleet standardien mukaiset, mutta kuitenkin vertailuarvoja sekä diagrammeja saimme välipohjasta.

Opinnäytetyömme haasteellisin osuus oli mittauksista saatujen tulosten laskeminen ja mittauslaitteiden oikeanlainen käyttö. Olisimme saaneet kaikki tarvittavat

mittaustulokset puukerrostalosta, jos olisimme tehneet harjoitus mittauksen opettajan kanssa, jolloin olisimme saaneet varmuuden laitteiden oikeanlaiseen käyttöön. Nor-140 mittalaitteen oikeanlaisilla asetuksilla puukerrostalon mittaukset olisivat onnistuneet ja olisimme saaneet vertailuarvot askeläänikojeelle. Tämän vuoksi puukerrostalon mittaustunnit ja valmistelut eivät tuottaneet tulosta.

Lähteet

- A-insinöörit Suunnittelu Oy. 2018. ent. Joensuun Juva Oy. 2018. Lighthouse Joensuu 14-kerroksinen puukerrostalo. Artikkel. <http://proofer.faktor.fi/epaper/Puu118/files/assets/common/downloads/page0062.pdf>. 11.10.2019.
- A-insinöörit Suunnittelu Oy. 2017c. ent. Joensuun Juva Oy Rakenneleikkaus. Välipohja 4. Alapinta alas laskettuna. 10.10.2019.
- A-insinöörit Suunnittelu Oy. 2017a.ent. Joensuun Juva Oy. Rakenneleikkaus. Välipohja 1. Alapinta palosuojattu. 10.10.2019.
- A-insinöörit Suunnittelu Oy. 2017b.ent. Joensuun Juva Oy. Rakenneleikkaus. Välipohja 2. Märkätilojen kohdalla. 10.10.2019.
- Arcadia. 2018. Referenssi / Light House Joensuu. <http://www.arcadia.fi/referenssit/lighthouse>. 4.9.2019
- Huusko, T. 2018. Suomen korkein puukerrostalo pian harjakorkeudessa Joensuussa. RIA-lehti 4/2018. <https://www.huzza.fi/wp-content/uploads/2019/02/Lighthouse-Joensuu.pdf>. 1.11.2019
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2018. Joensuu-Light-House tutkimus- ja kehitystoimenpiteet. <https://www.karelia.fi/puurakentaminen/tutkimus/joensuu-light-house-tutkimus-ja-kehitystoimenpiteet/>. 15.10.2019.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2019. Äänimittaustoiminta. Laatukäsikirja. SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. Taustamelun mittaaminen. SFS-EN ISO 16283-1. 30.8.2019.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2019. Äänimittaustoiminta. Laatukäsikirja. SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. Toiminta-ohje – Jälkikäytön ajan mittaaminen. SFS-EN ISO 3382-2. 30.8.2019.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2019. Äänimittaustoiminta. Laatukäsikirja. SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. Toiminta-ohje – standardisoidun askeläänitasoluvun ja normaalisoitun askeläänitasoluvun mittaaminen, SFS-EN ISO 16283-2 askeläänikonetta käyttäen.
- Karelia-ammattikorkeakoulu. 2019. Äänimittaustoiminta. Toimintaohje Äänimittauslaitteen Norsonic Nor-140 kalibrointi. SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. 25.8.2019.
- Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tampereen teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti 137. Tampere. 15.10.2019.
- Lahtela, T. 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>. 15.11.2019.
- MIP Electronics Oy. 2019b. Norsonic. <https://www.mip.fi/fi/tuotteet/manufactur/norsonic/results,25-48>. 16.09.2019.
- MIP Electronics Oy. 2019a. Äänitasomittarit. <http://aanitasomittari.fi/valikoimamme/tarkkuusluokan-1-mittarit/norsonic-nor-140/>. 15.09.2019.
- Norsonic AS. 2018. Impact Ball Nor279. https://web2.norsonic.com/product_single/impact-ball-nor279/. 4.9.2019.
- Puuinfo. 2018. Tiedote. Lighthouse Joensuu hyödyntää puuta täysimääräisesti. <https://www.puuinfo.fi/tiedote/lighthouse-joensuu-hyodyntaa-puuta-taaysimaaraisesti>. 20.10.2019.
- RIL ry. 2007. 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikanperusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

- Saint-Gobain Finland Oy. 2019. Jälkikaiunta- aika/Ecophon.
<https://www.ecophon.com/fi/knowledge/acoustic-knowledge/room-acoustic-descriptors/jalkikaiunta-aika/> 20.10.2019.
- SFS-EN ISO/IEC 17025:2005. Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys. Yleiset vaatimukset. (ISO 17025:2005)
- SFS-EN ISO 16283-2. 2018. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation (ISO 16283-2:2018).
- Stora Enso. 2013a. CLT massiivipuukurantaminen tekniset tiedot.
<https://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/>. 26.8.2019.
- Stora Enso. 2013g. CLT Documentation on fire protection – EN
<https://www.clt.info/clt-documentation-on-fire-protection/>. 29.8.2019.
- Stora Enso. 2013b. CLT:n vakiorakenteet. <https://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/cltn-vakiorakenteet/>. 26.8.2019.
- Stora Enso. 2013f. Paloturvallisuus. <https://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/>. 28.8.2019.
- Stora Enso. 2013d. CLT-rakentaminen <https://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/clt-rakentaminen/>. 27.8.2019.
- Stora Enso. 2013e. Soundproofing for CLT by Stora Enso
<https://www.clt.info/soundproofing-for-clt-by-stora-enso/>. 27.8.2019.
- Stora Enso. 2013c. CLT Surface qualities – EN <https://www.clt.info/clt-surface-qualities/>. 27.8.2019.
- Ympäristöministeriö. 1998.C1. Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Ääneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998.
https://www.ym.fi/fi/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Kumotut. 11.10.2019.

