



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Åkerman

Detaljrakenteiden kehittäminen

Opinnäytetyö
Kevät 2021
SeAMK Tekniikka
Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Joni Åkerman

Työn nimi: Detaljirakenteiden kehittäminen

Ohjaaja: Jouni Björkman

Vuosi:2021

Sivumäärä:33

Liitteiden lukumäärä:7

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja oli Kurikan Interiööri Oy. Työn tarkoituksena oli testata siirtoseinärakenteiden ääneneristävyyttä SeAMK:n tutkimuskontissa rakennustekniikan laboratoriossa. Opinnäytetyön tavoitteena oli etsiä ääneneristävyyden kannalta uusia rakenneratkaisuja yrityksen siirtoseinärakenteille. Näin saatiin vertailukelpoista mittaustietoa aiempiin siirtoseinäratkaisuihin nähden. Opinnäytetyössä mitattiin erilaisten rakennevaihtoehtojen vaikutukset tuotteen ääneneristävyyteen. Testatut rakenteet olivat:

Yrityssalaisuus

Äänenmittaukset tehtiin standardia ISO 140-3 noudattaen ja tulokset esitetään standardin ISO 717-1 mukaan.

Avainsanat: mittaus, ääneneristävyys, siirtoseinärakenne, rakenne

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Joni Åkerman

Title of thesis: Development of Detailed Structures

Supervisor: Jouni Björkman

Year:2021

Number of pages:38

Number of appendices:7

The client of this thesis was Kurikan Interiööri Oy. The purpose of the thesis was to test the sound insulation of movable partition wall structures in a research container at the construction technology laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. The aim of the thesis was to find new structural solutions for the company's movable partition wall structures in terms of sound insulation. This provided measurement data that could be compared with the previous solutions. The effects of different design alternatives on the sound insulation of the product were measured in the thesis.

Company secret

The sound measurements were performed according to ISO 140-3 and the results were presented according to ISO 717-1.

Keywords: measurement, sound insulation, movable partition wall, structure

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvaluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO	8
2 ÄÄNITEKNIIKAN PERUSTEITA.....	9
2.1 Ääni ja ilmaääni.....	9
2.2 Taajuus	10
2.3 Absorptio.....	10
2.4 Jälkikaiunta-aika.....	11
2.5 Absorption ja ääneneristyksen erottaminen toisista.....	12
2.6 Runkoääni, askelääni ja koinsidenssi-ilmiö.....	13
2.7 Ilmaääneneristävyys.....	14
3 MITTAAMINEN ILMAÄNENERISTÄVYYDELLE	15
3.1 Mittaus laboratorio-olosuhteissa.....	15
3.2 Intensiteettimenelmä	16
3.3 Äänikuvaus ja akustinen kamera.....	17
3.4 Ultraäänimittaaminen	17
3.5 Ilmaääneneristysluku.....	17
3.6 Erot kenttä- ja laboratoriotuloksissa.....	19
3.7 Mittaus äänen voimakkuudelle	19
4 TEHDYT MITTAUKSET	21
4.1 Mittaustavat ja mittaustulokset	22
4.2 Olosuhteet mittauksille	22
5 YLEISTÄ SIIRTOSEINISTÄ	25

6 Loppupohdintaa.....	28
LÄHTEET	32
Liite 1: Mittaustulokset	33

Kuvaluettelo

Kuva 1: Äänen absorptio.....	11
Kuva 2: Kohtisuoraan ilmasta tuleva ääni aiheuttaa materiaalissa taivutusaaltoa	14
Kuva 3: Taajuusjakauman vertailukäyrä standardin ISO 717-1 mukaisesti	18
Kuva 4: Kohteessa oleva valmis siirtoseinä(t).....	29
Kuva 5: Mitattava siirtoseinä mittausaukossa pienoismallina.....	29
Kuva 6: Äänilähde ja lähettävää ääntä mittaava mikrofoni omassa telineissään	30
Kuva 7: Harmonie 4210 -mittauslaitteisto kytkentöineen	30
Kuva 8: Vastaanottava mikrofoni kalibrointiasennossa 94 dB:llä	31

Käytetyt termit ja lyhenteet

Akustinen kamera	Kannettava kamera, joka toimii reaaliajassa. Kannettava kamera mittaa äänenpainetta, tällä laitteella saadaan mitattua myös äänenpaineen erot ja visualisoitua värikuvalla kuvatulla alueella olevan äänen.
dB	Desibeli, yksikkö on dimensioton. Määritetään akustisen signaalin taso vertailutason suhteen logaritmisella asteikolla. Desibeli ei ole SI-suure.
Diffuusi äänikenttä	Äänenpainetaso on huoneen jokaisessa kohdassa täsmälleen sama, mikä pitää paikkansa huoneen ollessa kuutiomainen ja kovapintainen muussa tapauksessa ei.
Jälkikaiunta-aika	Tätä kuvataan kirjaimella T, yksikkönä sekunti (s). Aika, mikä kuluu, kun huoneessa vaikuttaneen äänen amplitudi tippuu 60 dB äänilähteen sammuttua.
Koinsidenssi	Kyseinen ilmiö tapahtuu, kun ääni kohtaa rakenteen ja taivuttaa sitä eli tapahtuu taivutusaalto rakenteeseen.
Maksimiääneneristävyys	Maksimiääneneristävyys arvo luotettavasti tehtynä laboratorioolosuhteissa.
Resonanssi	Rakenne alkaa värähdellä voimakkaasti, kun ääniaallot ovat sen ominaistajuusalueella, tällöin rakenteen ääneneristyskyky heikkenee.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin puuteollisuusalan yritykselle nimeltään Kurikan Interiööri Oy, joka valmistaa siirtoseinäelementtejä julkisiin tiloihin. Työn aiheena oli siirtoseinäelementtien ääneneristyksen kehittäminen detaljirakenteissa. Kyseisiin detaljirakenteisiin haettiin äänieristyksen kannalta uusia rakenteita ja tarkoituksena oli testata eri vaihtoehtoja äänimittauksin. Rakennuttajat ja arkkitehdit vaativat siirtoseinäelementeiltä hyvää ääneneristävyttä ja kenttämittauksia saatetaan tehdä rakennuskohteissa ääneneristävyden varmistamiseksi. Ääneneristävyden testit tehtiin Frami H -rakennuksen vieressä olevassa merikontissa, joka on tehty ääneneristävyystestejä varten. Frami H -rakennus on yksi Seinäjoen ammattikorkeakoulun rakennuksista.

2 ÄÄNITEKNIIKAN PERUSTEITA

2.1 Ääni ja ilmaääni

Ääni on ilmanpaineessa tapahtuvaa vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Esimerkiksi ihmisen äänihuulet, värähtelyn lähteenä, saavat ympäristössään aikaan ilman harventumia ja tihentymiä. Ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeeseen. Näin ääni etenee pitkittäisaaltona äänilähteestä ympäristöön. (RIL-243-1-2007, 35.)

Ääni ei pysty etenemään väliaineetta. **Ilmaääneksi** sanotaan ääntä, jossa ilma toimii väliaineena. Esimerkiksi puhe, musiikki, äänentoistolaitteet, rakennuksen LVIS-laitteet ja erilaiset koneet aiheuttavat ilmaääntä. Äänen nopeus ilmassa ei riipu taajuudesta, mutta kuitenkin lämpötila, t [°C] vaikuttaa äänen nopeuteen, c [m/s] seuraavalla tavalla:

$$c = 331 + 0,6t \quad (1)$$

jossa

t on lämpötila [°C]

c on nopeus äänelle [m/s]. (RIL-243-1-2007, 35.)

Sisätilojen tyypillisessä lämpötilassa on äänen nopeus 340-345 m/s. Taajuudella, äänen nopeudella ja ilmaäänien pitkittäisaallon aallonpituudella on seuraavan kaavan kaltainen yhtymä toisiinsa:

$$F = c / \lambda \quad (2)$$

jossa

c on nopeus äänelle [m/s]

λ on pitkittäisaallonpituus ilmaäänelle [m]. (RIL-243-1-2007, 36.)

2.2 Taajuus

Kuuloaistimuksen syntyessä ilmanpaineen vaihtelu saa aikaan korvan rumpukalvon värähtelyn. Värähtelyn ollessa tiheää, ääni koetaan korkeaksi. Matalina ääninä koetaan taas pienitaajuiset värähtelyt. Taajuus tarkoittaa värähtelyjen lukumäärää sekunnissa. Ihminen voi kuulla taajuuksien 20 Hz:n ja 20000 Hz:n välillä olevia ääniä. Infraääniä ovat alle 20 Hz:n taajuudet ja nämä aistitaan tärinänä. (RIL-243-1-2007, 35.)

Äänen taajuus f [Hz] äänelle voidaan laskea värähtelyjen määrä n jaettuna aikajaksolla T [s], jonka aikana värähtelyt tapahtuivat:

$$f = n / T \quad (3)$$

jossa

n on värähtelyiden lukumäärä

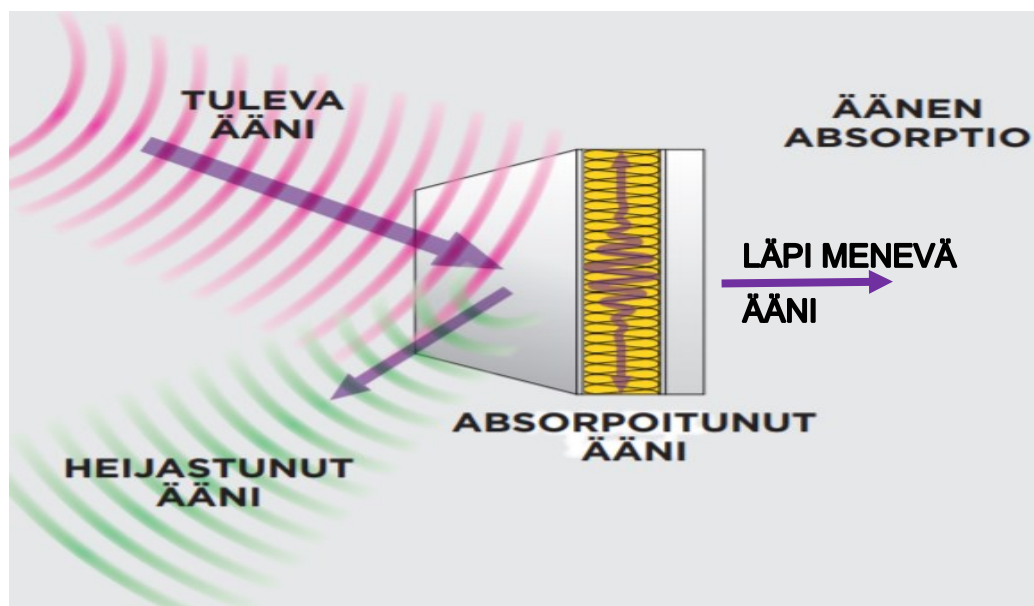
T on aikajakso [s]. (RIL-243-1-2007, 35.)

2.3 Absorptio

Melua voidaan vaimentaa tekstiileillä, vuorivillalla, lasivillalla ja avosoluisilla vaahtomuoveilla. Vaahtomuovi, joka on umpisoluinen, vaimentaa ääntä vähemmän kuin avosoluinen. Osa äänestä heijastuu, kun ääni osuu pintaan, osa läpäisee pinnan ja osa absorboituu. Absorptiokerroin a pinnalle määritellään suhteena, jossa pintaan osuvan äänen

teho on P_0 , heijastuvan äänen teho P_h , absorboituvan äänen teho P_a , ja läpimenevän äänen teho P_l . (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2018, 151.)

$$a = \frac{P_a + P_l}{P_0} = 1 - \frac{P_h}{P_0} \quad (4)$$



Kuva 1: Äänen absorptio (SAINT-GOBAIN 2021.)

2.4 Jälkikaiunta-aika

Äänenpaine ei heti pienene nollaan kun äänilähde sammutetaan. Tätä kyseistä aikaa, jolloin äänenpaine on laskenut 1/1000-osaan alkuperäisestä eli äänenpaine on laskenut 60 dB, sanotaan nimellä **jälkikaiunta-aika**. Jälkikaiunta-ajan määrittämiseen on olemassa Sabinen kaava, jolla saadaan jälkikaiunta-aika, T [s], selville alla kaavasta 5, jossa huoneen tilavuus on ($[V] = m^3$) ja huoneen absorptiopinta-ala on ($[A] = m^2$). Sabinen kaava toimii äänikentän ollessa diffuusi. Parhaiten Sabinen kaava sopii pienehköille kaikuille tiloille. Sabinen kaavassa jää huomiotta esimerkiksi ilman aiheuttama äänen vaimeneminen, joka on suurissa huonetiloissa merkittävä. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2018, 153.)

Jälkikaiunta-aika vaikuttaa esimerkiksi puheen selkeyteen. Jos jälkikaiunta-aika on pitkä, se aiheuttaa puheessa sanojen kuulumista päällekkäin, jolloin puheesta on hankala saada selvää. Lyhyellä jälkikaiunta-ajalla saadaan usein miellyttävät ääniolosuhteet tiloihin, joissa puheen selkeys on tärkeää. (RIL-243-1-2007, 50).

Sabinen kaava:

$$T = 0,16 * \frac{V}{A} \quad (5)$$

jossa

T on jälkikaiunta-aika [s]

V on huoneen tilavuus [m^3]

A on huoneen absorptiopinta-ala [m^2]. (RIL-243-1-2007, 50.)

Esimerkkinä mainittakoon erillisten tilojen jälkikaiunta-aikoja:

- elokuvateatteri tilavuudesta riippuen 0,3 s...0,8 s
- hyvin suunniteltu luokkahuone 0,5 s...0,8 s
- suuri aula, jossa ei vaimennusta 2 s...3 s (RIL-243-1-2007, 50).

2.5 Absorption ja ääneneristyksen erottaminen toisista

Usein **absorptio** ja **ääneneristys** sekoitetaan keskenään. Määritetään nämä termit nyt tässä. Pintarakenteiden ominaisuus on äänen absorptio, joka huonetilan sisällä heikentää syntyvää ääntä. Äänen kuulumista huoneesta toiseen estää ääneneristys. Tämän kaltainen ääneneristys tarkoittaa tiiviiden rakenteiden ominaisuutta. (RIL-243-1-2007, 46.)

Seuraavana on neljä esimerkkitapausta ääneneristävytydestä ja absorptiosta:

- A) Erittäin massiivisella ja kovapintaisella kiviaineksisella seinällä absorptiosuhde pinnalle on hyvin alhainen, mutta huomioitavaa tällöin on, että ääneneristävyys on huimaa luokkaa, jopa 70dB.
- B) Levyrakenteinen seinä, minkä ilmvälissä on absorboivaa materiaalia. Tässä sama tilanne kuin A - kohdassa eli hyvin pieni absorptio äänen kohdattaessa heikosti absorboivan levyn, mutta tämä heikentää ilmatilassa kaiuntaa. Matalilla taajuuksilla taasen absorboi levyrakenne melko vähän ääntä.
- C) Hyvin korkean absorptiosuhteen sekä ääneneristävyyden voi saavuttaa sellainen seinä, jonka pinnalla on absorboivaa materiaalia.
- D) Absorptiomateriaali pelkästään saa parhaan absorptiosuhteen. Tällöin ääneneristävyys on heikko siksi, että absorptiomateriaali päästää hyvin äänen huokostensa läpi. Kankaisissa paljeovissa ja paksuissa verhoissa esiintyy tätä ilmiötä. (RIL-243-1-2007, 48.)

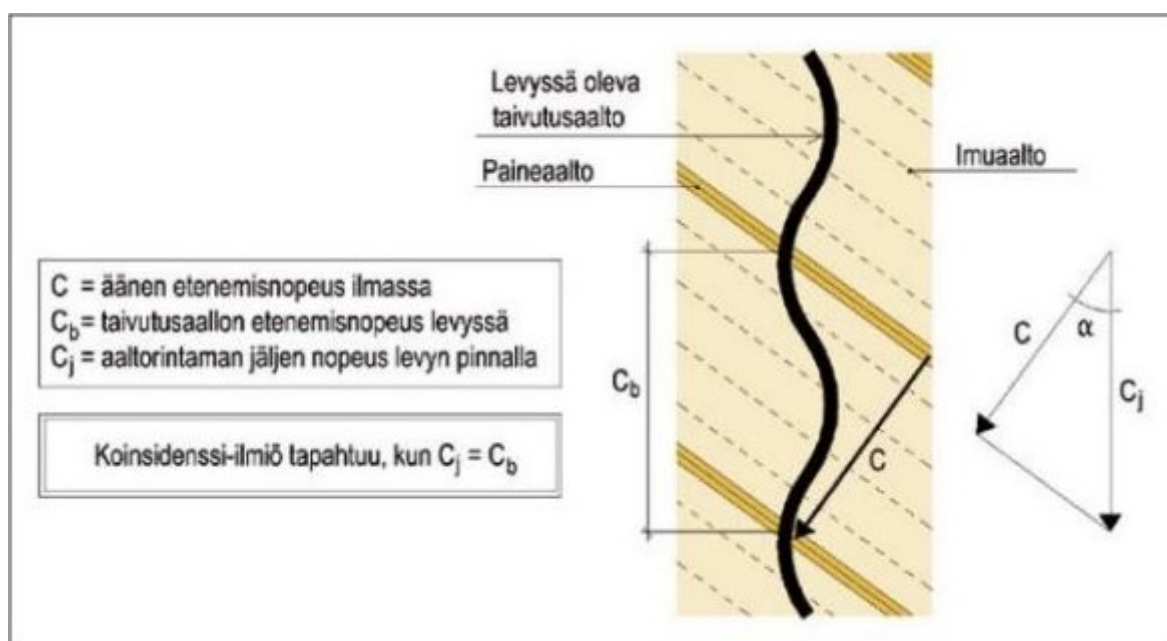
2.6 Runkoääni, askelääni ja koinsidenssi-ilmiö

On hyvin mahdollista, että kiinteä aine voi olla väliaineena äänen etenemiselle. Kiinteänä aineena voi toimia maakerros tai vaikkapa rakennuksen runkorakenteet. Ilmaääni saa rakennuksen rakenteet värähtelemään. Tällöin ääni kulkee eteenpäin erityisesti taivutusaaltona rakennuksen rungossa. Kohtisuorassa suunnassa äänen etenemissuuntaan syntyy taipumia rakenteessa ja tätä kutsutaan taivutusaalloiksi. Runkoääni on rakenteissa eteenpäin kulkeva ääni. Esimerkiksi runkoääntä voi synnyttää pesukone, joka on kiinnitetty rakenteeseen ja on värähtelevä. (RIL-243-1-2007, 36.)

Rakenteeseen kohdistuvia iskuja, jotka ovat runkoääniä synnyttäviä, ovat huonekalujen siirtely, kävely, lasten leikkiminen lattialla ja vaikkapa esineiden putoaminen. Tällaisten äänilähteiden synnyttämiä runkoääniä kutsutaan askelääniksi. (RIL-243-1-2007, 36.)

Silloin kun levyssä ja ilmassa kulkevilla ääniaalloilla on samat vaiheet, syntyy **koinsidenssi-ilmiö**. Tällöin ääneneristävyys huononee, eikä rakenne estä aallon kulkemista nimeksikään.

Tietyille korkeammille taajuuksille mentäessä koinsidenssistä puhuttaessa, tällaista rajataajuutta sanotaan koinsidenssin rajataajuudeksi. Esimerkiksi levyn rajataajuus on 3150 Hz. Äänentulokulma tällaisessa rajataajuudessa on 90 astetta. Tällöin ääni saapuu levyn pintaan levyn pinnan suuntaisesti. Taajuuden suurentuessa koinsidenssiä tapahtuu äärettömän isolla taajuudella. Koinsidenssikuopaksi sanotaan koinsidenssin myötä tapahtunutta kuoppaa, joka näkyy ääneneristävyyden käyrässä. Rajataajuuden yläpuolella ääneneristävyys kasvaa tasaisesti, kun myös taajuus suurenee koinsidenssi-ilmiön heikentyessä. Ääntä tulee rakennuksen huoneesta joka suunnasta. Tällöin kyseistä ilmiötä tapahtuu kaikilla rajataajuutta isommilla taajuuksilla. (RIL-243-1-2007, 72.)



Kuva 2: Kohtisuoraan ilmasta tuleva ääni aiheuttaa materiaalissa taivutusaaltoa (Lahtela 2004, 21).

2.7 Ilmaääneneristävyys

Ääni etenee vain väliaineessa, joka voi olla neste, kiinteä aine tai kaasu. Sellaista ääntä, joka kulkee ilmassa, sanotaan **ilmääneksi**. Mekaanisista laitteista, kaiuttimista ja puheesta syntyy ilmaääntä. Ilmaääneneristävyys riippuu ilman lämpötilasta. (RIL-243-1-2007, 35.)

3 MITTAAMINEN ILMAÄNENERISTÄVYYDELLE

3.1 Mittaus laboratorio-olosuhteissa

Mittauksen tavoitteena on selvittää jonkin rakennusosan ilmaääneneristävyys. Laboratorio sisältää kaksi peräkkäistä huonetilaa, ja näiden välissä on mittausaukko tutkittavaa rakennusosaa varten. (RIL-243-1-2007, 58.)

Koejärjestelyssä tavoitellaan tilannetta, jossa pystytään tarkasti mittaamaan ääntä, joka kulkee lähetyshuoneesta vastaanottohuonetilaan tutkittavan näytteen välityksellä. Tämän takia sivutiesiirtymät on eristetty huonetilojen välillä mahdollisimman hyvin. Mittaushuonetilat ovat usein isohkoja ja runkoäänieristettyjä. Myöskään huonetilojen välillä olevissa rakenteissa ei ole äänivuotoja. Tämän takia laboratorioarvoja ei saavuteta rakennuksessa kuin pelkästään tapauksissa, joissa sivutiesiirtymät ovat pieniä, eikä äänivuotoja ole ollenkaan. (RIL-243-1-2007, 58.)

Tavallisesti rakennusosan ilmaääneneristävyys R [dB] määritellään standardin ISO 140-3 mukaisesti laboratorio-olosuhteissa äänenpainetason mittauksiin seuraavalla kaavalla:

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (6)$$

Tämä alempi kaava on avattu kaavan alapuolella.

$$A_2 = 0,16 \frac{V_2}{T_2} \quad (7)$$

jossa

$L_{p,1}$ on lähetyshuoneen äänenpainetaso [dB]

$L_{p,2}$ on vastaanottohuoneen äänenpainetaso [dB]

R on rakennusosan ilmaääneneristävyys [dB]

S on tiloja erottavan rakenneosan pinta-ala [m^2]

T_2 on huoneen jälkikaiunta-aika [s]

V_2 on huoneen tilavuus [m^3]

A_2 on vastaanottohuoneen absorptiopinta-ala [m^2]. (RIL-243-1-2007, 58.)

Lähetysruoneen äänenpainetaso [dB] lähetysruoneelle on $L_{p,1}$, vastaanottohuoneen äänenpainetaso [dB] on $L_{p,2}$ ja tiloja erottavan rakenneseosan pinta-ala [m^2] on S . Vastaanottohuoneen absorptio-ala [m^2 -Sab] on A_2 , joka pystytään laskemaan edellä mainitun alemman kaavan mukaan siinä tapauksessa, jos huoneen jälkikaiunta-aika T_2 [s] tiedetään ja vielä tiedetään tilavuus V_2 [m^3]. Akustisissa suureissa kaikki määritellään useiden mittauspisteiden keskiarvoina tai logaritmisina keskiarvoina. (RIL-243-1-2007, 59.)

Laboratorio-olosuhteissa ääneneristävyyden testauksessa tulee jossakin kohtaa vastaan raja, jonka jälkeen rakenteen ääneneristävyys kipuua hyvin korkeaksi sellaisin seurauksin, että ei voida luottaa varmuudella mittaustuloksiin. Maksimiääneneristävyys esiintyy kaikissa laboratorioissa. Tätä suurempia ääneneristävyyden arvoja ei voi luotettavasti mitata. Jos näytteen ääneneristävyys on isompi verrattuna maksimiääneneristävyyteen, tuloksena voidaan esittää pelkästään alalikiarvo näytteen totuuden mukaisesta arvosta. (RIL-243-1-2007, 59.)

3.2 Intensiteettimenelmä

Äänenpainetason mittaamiseen tarvitaan yksi mikrofoni, jolla saadaan mitattua äänenpainetaso. Hyvin moni akustisista mittauksista tehdään näin. Äänenpainetta mitattaessa saadaan vain yhdessä pisteessä oleva äänenpaine eikä ollenkaan äänen tulosuuntaa. Suunta voidaan saada selville intensiteettimittausmenetelmällä. (RIL-243-1-2007, 67.)

Kaksimikrofonianturilla mitataan intensiteettiä. Anturissa on kaksi toisiaan lähellä olevaa vaihesovitettua mikrofonia, joiden äänenpainesignaaleista pystyy laskemaan intensiteetin. Sekä laboratorioissa että kentällä pystyy käyttämään intensiteettimenetelmää. Kyseisestä menetelmästä on varsinkin hyötyä, jos ja kun halutaan paikallistaa äänen vuoto- tai

säteilykohtia näytteessä, tai osoittaa rakenteellista sivutiesiirtymää tekemä pinta. (RIL-243-1-2007, 67.)

3.3 Äänikuvaus ja akustinen kamera

Ääneneristävyys saadaan selville tavallisella äänenpaineen mittauksella, mutta ongelmatilanteessa ongelmakohtien paikallistaminen on tuloksen kuuntelun ja tulkinnan varassa. Akustinen kamera on kamera, joka toimii reaaliajassa ja näyttää värikarttana, mistä suunnasta tulee eniten ääntä kuvatulla alueella. Ääneneristävyiden ongelmakohdat paikannetaan sijoittamalla toiselle puolelle rakennetta laajakaistaista kohinaa tekevä äänilähde, jonka jälkeen toiselta puolelta kuvataan kameralla reaaliajassa lämpökuvan kaltainen kuva, jossa osoitetaan väreillä, mistä paikkaa rakennetta menee eniten ääntä läpi. (Saksela & Nyberg 2015.)

3.4 Ultraäänimittaaminen

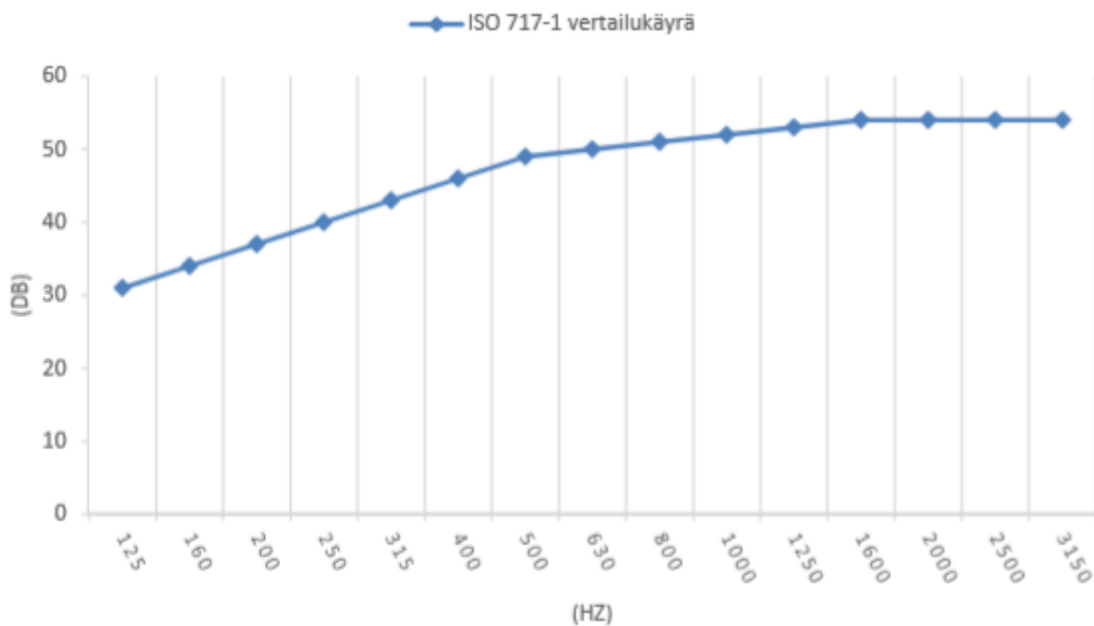
Ultraäänen taajuus on tyypillisesti 20 kHz – 10 THz. Ultraääni on liian korkealla kuuloalueella, ettei ihminen voi kuulla sellaista ääntä. Ultraääni ja tavallinen ääni kulkevat tismalleen samankaltaisella nopeudella väliaineessa, jos taajuus ei ole liian suuri. Ultraäänellä mittaava vuotokohtien paikannin toimii kuulonvaraisesti. Seinän toiselle puolelle laitetaan ultraäänilähetin ja tämän jälkeen seinän toiselta puolelta vastaanottavalla mikrofonilla voidaan tutkia vaikka saumapaikoista, miten paljon ääntä kulkee lävitse hyvin saumattuun verrattuna. Vuotopaikannin muuntaa ultraäänen kuulokkeeseen kuultavaksi ja äänen voimakkuus ilmaisee, miten paljon ultraääntä kulkee mitattavan kohdan läpi. (Peltonen, Perkkiö & Vierinen 2018, 158.)

3.5 Ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristävyys on taajuudesta riippuvainen. Testaustulos esitetään taajuus alueella 100–3150 Hz, mutta parempi taajuus alue on 50–5000 Hz. Näin saadaan 16 kpl tai 21 kpl kolmasosaoktaavikaistan mittauservoja. On vaikeaa käyttää eristävyiden arvioinnissa näin

suuria lukuja. Nämä luvut onkin pelkistetty yhdeksi ilmaääneneristyslukuksi R_w , joka määritellään standardin ISO 717-1 esittämällä tavalla. Kenttäolosuhteissa on käytössä pilkullinen merkintä R'_w . Arvoa R'_w käytetään rakentamismääräyksissä ja suosituksissa. (RIL 243-1-2007, 59.)

Ilmaääneneristävyys on eräänlainen painotettu keskiarvo. On olemassa standardin ISO 717-1 esittämä vertailukäyrä, joka perustuu ylhäältä puheäänien taajuusjakaumaan ja toisaalta korvan herkkyteen. Ilmaääneneristysluku on luotu pelkistämään kysymystä, kuinka paljon rakenteet eristävät puheääntä asuintilojen välillä. Huomioon on otettu korvan herkkyys eri taajuusalueiden äänille. Optimaalinen ääneneristävyys on siis erilainen eri taajuuksille. (RIL 243-1-2007, 60.)



Kuva 3: Taajuusjakauman vertailukäyrä standardin ISO 717-1 mukaisesti (ISO-243-1-2007, 60).

3.6 Erot kenttä- ja laboratoriotuloksissa

Ilmaääneneristyksen mitoittaminen rakennustiloissa pyrkii tulokseen, jossa vaikutus sivutiesiirtymille ilmaääneneristävyyden kannalta olisi mahdollisimman pieni. Tämä yleensä merkitsee, että $R_w - R'_w < 3$ dB. Näin isoin osa äänienergiasta vielä siirtyy erottavan rakenteen välityksellä. Betonirakenteisissa asuinhuoneistossa ovat erot käytännössä isompia. Tavoitetasot ovat korkeita ja niitä sivuavat rakenteet eivät saa poiketa oleellisesti massaltaan erottavasta rakenteesta. (RIL 243-1-2007, 66.)

Yleinen periaate on, että mittausarvot kenttäolosuhteissa olisivat 3–6 dB laboratorioarvoja pienempiä. Yleistää näin ei voi. Jos vaikka vuotokohtia on rakenteessa, voi olla hyvin mahdollista, että ero on yli 20 dB. Jopa 5-10 dB:n eroavaisuuksia R'_w :n ja R_w :n välillä voivat hyvin aiheuttaa väärin suunnitellut sivuavat rakenteet. Kenttä- ja laboratoriomittausten ero voi olla hyvinkin pieni, jopa alle 1 dB tapauksessa, jossa rakenteet ovat tiiviitä ja taas sivutiesiirtymää ei ole lainkaan. (RIL 243-1-2007, 65.)

Optimaalisinta olisi, että ero olisi suuruusluokkaa välillä 3–5 dB:n, kun sivuteitä pitkin kulkeutuvat äänitehot väliseinän lävitse olisivat arviolta samansuuruiset. Rakenteelliset sivutiesiirtymät eivät ole hallinnassa, jos erot ovat suurempia. Tässä tilanteessa ei ole kannattavaa parantaa rakennetta tilojen välillä, vaan pitää ensin parantaa sivuavia rakenteita. Äänivuodot tai muut vastaavat ilmaa pitkin kulkevat äänet selittävät suurimman osan erosta. (RIL 243-1-2007, 66 - 67.)

3.7 Mittaus äänen voimakkuudelle

Kuuloaistimus, jonka ihmisen korva antaa, on hyvin erilainen äänillä, jotka ovat korkeita, keskikorkeita tai matalia ääniä. Aistimus riippuu myös äänen voimakkuudesta 3000–4000 Hz:n alueella, jolla ihmisen kuulo on herkimmillään foniasteikolla. Ihmisen kuulokyky heikentyy, kun mennään yli 4000 Hz:n alueen. (Siikanen 1996, 121.)

Mikrofoni, joka muuntaa äänenpaineen vastaavanlaiseksi jännitteen värähtelyksi, vahvistin ja äänen voimakkuuksia osoittava mittari kuuluvat laitteistoon, jolla mitataan äänenpainetta tai -paineistoa. Äänitasomittari antaa desibeleitä äänenpaine-arvoiksi. (Siikanen 1996, 121.)

On olemassa IEC:n maailmanlaajuisesti standardoima melumittari, jota kutsutaan äänitasomittariksi. Siinä vahvistimen taajuuskäyrä ei ole lineaarinen. Neljä erilaista painotussuodatinta on standardisoitu, ne ovat A-, B-, C- ja D-suodattimet. Äänenpainetaso mittauksissa käytetään näistä seuraavia:

- A-painotusta äänenpainetason ollessa pienempi tai yhtäsuuri kuin 55 dB
- B-painotusta äänenpainetason ollessa 55-85 dB:n välissä
- C-painotusta äänenpainetason ollessa suurempi tai yhtäsuuri kuin 85 dB
- D-käyrä korostaa ääntä, joka on voimakkain. Tämä käyrä on pitkälti pelkästään lentomelun mittaamista varten. (Siikanen 1996, 121.)

Nykyään on tapana käyttää A-painotusta melkein pä joka tilanteessa, mutta ei missään, missä on tosi voimakkaita ääniä, vaikka esimerkiksi lentomelu ja ampumamelu. (Siikanen 1996, 121).

4 TEHDYT MITTAUKSET

Äänimittauksia suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoululla. Rakennuslaboratorion vieressä sijaitsee merikontti, johon on tehty ilmaääneneristyksen testaukseen soveltuva kammio. Mittaukset suoritettiin kenttämittauksena, koska tilat liikuteltavuuden ja pienuuden vuoksi eivät ole kokonaan sivutiesiirtymättömiä. Kontin eri osastojen välinen ilmaääneneristävyys on mittausten mukaan 70 dB ja siirtoseinärakenteen ääneneristävyys jää selvästi tämän lukeman alle. Näin äänimittauksia voidaan pitää luotettavina, koska isoin äänivuoto tapahtuu siirtoseinärakenteen kohdalta, jonka ääneneristys pitää mitata. Siirtoseinärakenteet, joita testattiin olivat:

Yrityssalaisuus

Yllä olevat siirtoseinärakenteiden mittaustulokset ovat liitteenä juuri tässä järjestyksessä tämän opinnäytetyön lopussa. Äänenmittaukset tehtiin standardia ISO 140-3 noudattaen ja tulokset esitetään standardin ISO 717-1 mukaan.

4.1 Mittaustavat ja mittaustulokset

Mittauksissa käytetään 01dB-Stell- ja Harmonie 4210 -laitteita ja määritetään 1/3-oktaavikaistoittain ilmaääneneristävyyttä 100–3150 Hz:n taajuuksilla. Ääni tuotetaan tilaan ympäri säteilevän äänilähteen avulla. Äänimittauksissa käytetään vaaleanpunaista kohinaa. Äänilähdettä pidetään äänen lähetyshuoneessa kahdessa eri paikassa, joiden korkeus lattiasta on 1,5 metriä. Mikrofonien sijainti valitaan niin, että välimatka kattoon, lattiaan ja seiniin on minimissään 0,5 metriä. Äänilähteen ja mikrofonin etäisyys toisistaan pitää olla vähintään yksi metri.

Laitteet kalibroitiin ennen jokaista mittausta laittamalla mikrofoni tarkasti 94 dB:n äänenpainetta tuottavaan laitteeseen. Ennen ilmaääneneristävyyttämittauksia äänen vastaanottotilasta täytyy mitata jälkikaiunta-aika ja taustamelu. Jälkikaiunta-ajaksi mitattiin 0,5 sekuntia. Seuraavaksi mitattiin lähetyshuoneen emissio ja vastaanottohuoneessa vastaanotettu signaali. Näiden kaikkien perusteella ja huoneiden mittasuhteet huomioon ottaen laskettiin ilmaääneneristävyytluku.

Yrityssalaisuus

4.2 Olosuhteet mittauksille

Ääneneristävyyttämittaukset tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun Frami H-laboratoriorakennuksen vieressä sijaitsevassa merikontissa. Taustamelu paikan päällä oli suurin piirtein 20-30 dB:n luokkaa, mutta vaihteli suuremmaksi raskaan liikenteen johdosta. Myös ilmastointi aiheutti nopeita äänenpainetasojen nousuja taustamelussa. Mittauksia

pyrittiin välttämään taustamelun piikkien aikana ja muutenkin pyrittiin minimoimaan muuta taustamelua mahdollisuuksien mukaan.

Kurikan Interiöörin edellisten kokemustensa mukaan tilan lämpötilalla ja ilmankosteudella on huomattavan suuri vaikutus oikeisiin mittaustuloksiin. Tavoitteena pidettiin sitä, että testit tehdään täsmälleen samoissa olosuhteissa. Mittaukset suoritettiin tammikuun lopulla, jolloin merikontin ulkopuolella lämpötila saattoi laskea jopa $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Kurikan Interiöörin edellisten kokemuksien mukaan merikontin ilmankosteuden piti olla 40 %:n lähetyvillä ja sisälämpötila $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Lämpötilaa ylläpidettiin säteilylämmittimellä jo ennen mittauksia seitsemän vuorokauden ajan, jotta saatiin haluttu mittaustulokset. Aina mittaustulosten mentäessä sisälle tai tullessa ulos piti antaa huoneen lämmitä takaisin tavoitelämpötilaan ja poistaa lumet kengistä näin välttämällä ilman kosteuden nousua.

Sabine oli ensimmäinen henkilö vuonna 1929, joka huomasi, että jälkikaiunta-ajan puolesta tyhjälle tilalle oli merkitystä erilaisilla sääolosuhteilla. Knudsen näytti 1931 vuonna toteutuneen, että ilmiö ei johtunut pintamateriaaleista, vaan se johtui absorptio-ominaisuuksien muutoksesta ilmankosteuden ja lämpötilan vaihdellessa. Jälkikaiunta-aikaa ei pysty ennustamaan tarkasti, koska tästä ilmiöstä ei löydy kirjallisuutta. (Wenmaekers, Hak and Hornikx 2014.)

Edellisen tiedon valossa mittaustulosten vaihtelua syntyy ilmanabsorptiokyvyn ja jälkikaiunta-ajan muutoksista erilaisissa olosuhteissa. Jälkikaiunta-aika on mitattu vastaanottohuoneesta moneen kertaan ja tällä ei ole ollut isoja eroja mittaustuloksiin, mikä johtuu todennäköisesti siitä, että äänenvastaanotto-tila on pieni. Mittaustuloksissa on pienehköjä heittoa, koska äänimittauslaboratorio on ulkona, jonka läheisellä tiellä on runsas liikenne ainakin arkipäivisin. Mittaustilassa lattiaan merkittiin teipillä kaiutinjalustan sijainti, jotta sekä paikka ja etäisyys pysyvät jokaisella mittauskerralla vakiona. Lähetyshuoneessa merkittiin lattiaan merkit kaiutinjalustaa varten kahteen eri kohtaan ja vastaanottohuoneessa mikrofonijalustaa varten merkittiin merkit kolmeen kohtaan lattiaan. Kun lähetyshuoneessa kaiutinjalusta kaiuttimineen oli yhdessä kohdassa lähettämässä 100 dB :n kohinaa, niin vastaanottohuoneessa kierrätettiin mikrofonijalustaa mikrofonineen kolmessa eri kohdassa. Tämän jälkeen lähetyshuoneessa kaiutinjalusta kaiuttimineen siirrettiin toiseen kohtaan ja vastaanottohuoneessa kierrätettiin mikrofonijalustaa mikrofonineen kolmessa kohdassa.

Tällä tavoin saatiin kuusi mittaustulosta, esimerkiksi taustamelusta (dB), ja laskettiin keskiarvo näille. Muita mittaustuloksia piti saada sama määrä ja tismalleen samalla tavoin. Näitä olivat: lähettävä ääni (dB), vastaanottava ääni (dB) ja jälkikaiunta-aika (s).

5 YLEISTÄ SIIRTOSEINISTÄ

Jos suuria tiloja halutaan tilapäisesti jakaa pienempiin, käytetään siirtoseiniä. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi urheiluhallit, ravintolat, monitoimitilat ja kokoustilat. (RIL 243-1-2007, 95.)

Siirtoseinät ovat isoja 600–1200 mm leveitä elementtejä, jotka usein roikkuvat kiskojen varassa ja ovat usein huoneen korkuisia seinäelementtejä. Siirrettävyyden vuoksi ne rakennetaan yleensä kevyiksi. Tiivisteet ovat sekä ylä-, pysty- ja alasaumoissa, ja ne tiivistyvät, jos seinäelementtiä kiristellään. Purkuvaiheessa ne on helppo varastoida sivummalle. Kehysrakenteet tehdään siirtoseinän kaikille sivuille. Niihin tehdään sitten kiskot ja muut urat, joita asennuksessa tarvitaan. Hyvän tiiviiden edellytys on, että kehysrakenteet ovat mahdollisimman suorina. (RIL 243-1-2007, 95-96.)

Samat puutteet, joita esiintyy järjestelmäväliseinissä ja ovissa, löytyvät myös siirtoseinistä ääneneristävyyden puolesta. R_w , joka on laboratorioarvo siirtoseinille, voidaan miltei saavuttaa, mikäli sivuavat rakenteet siirtoseinässä on asennettu tiiviisti, suunniteltu oikein ja toteutettu oikein. (RIL 243-1-2007, 96.)

Teoriassa ääneneristävyyden voi hyvinkin mitoittaa jopa 50 dB:n tienoille. Käytännössä hyvin harvoin päästään yli $R_w = 40$ dB:n. Rakenteisiin liittyvät ääneneristävyysoingelmat eivät liity aina itse siirtoseinään. Ongelmat johtuvat usein äänen sivutiesiirtymistä, joita on lueteltu alla. Puutteellinen ääneneristävyys tiloissa, joissa on erotettu tilat siirtoseinillä johtuu, usein seuraavista asioista:

- Ääni vuotaa siirtoseinän yläkiskojärjestelmästä.
- Ääni vuotaa saumoista, jos elementit eivät ole tiivistyneet tarpeeksi hyvin toisiaan vasten.
- Ääni kantautuu sivuavia rakenteita pitkin.
- Siirtoseinää varten tehdyt kehyskotelot eristävät heikosti ääntä.
- Tiloja yhdistävä ilmanvaihtokanava on eristämätön.

- Siirtoseinään kytketty ovi ei täytä ääneneristävyysvaatimuksia.
- Epätasaiset seinä- ja lattiapinnat aiheuttavat sen, että tiivisteet siirtoseinässä eivät tiivisty toivotulla tavalla. (RIL 243-1-2007, 96.)

Siirtoseinille on tarvetta, jos halutaan, että tilojen käyttö tehostuu ja monipuolistuu. Ääneneristävyysvaatimusta ei ole useinkaan asetettu rakennussuunnitelmissa tilojen välille. Siksi ilmanvaihtojärjestelmä tai vaikkapa sivuavat seinärakenteet voivat hyvin aiheuttaa melko suuria sivutiesiirtymiä. (RIL 243-1-2007, 96.)

Alla on listattu huomioon otettavia asioita, kun tavoitteena on ilmaääneneristysarvo $R'_w > 40$ dB siirtoseinällä eristettyjen tilojen välillä:

- Suunnittelun alkuvaiheessa on otettava siirtoseinät huomioon suunnittelussa. Näin sivuavat rakenteet ja niiden äänieristysratkaisut on mahdollista ottaa huomioon jo arkkitehtipiirustuksissa.
- Rakennukseen valitaan siirtoseinätyyppi, josta on luotettava standardin ISO 140-3 mukainen laboratoriotestitulokäytettävissä, normaalisti tiivistettynä.
- Välittömät levyrakenteet ja kotelot tehdään riittäviksi ääneneristykseltään sekä tiivistetään.
- Siirtoseinän paikasta katkaistaan lattiapäällyste.
- Siirtoseinän paikasta katkaistaan seinien levyrakenteet.
- Ovea ei sijoiteta siirtoseinään ja ihmisten kulkeminen ohjataan viereisten tilojen kautta.
- Mikäli ovi tarvitaan siirtoseinään, oven on oltava yhtä hyvä ääneneristävyydeltään kuin siirtoseinäkin.

- Vältetään huoneiden välisiä suoria ilmanvaihtokanavien läpivientejä ja kanavat varustetaan äänenvaimentimella.
- Muiden läpivientien puolesta on otettava huomioon tiiviysnäkökohdat.
- Siirtoseinien tiivisteet tarkastetaan ja aika ajoin huolletaan. (RIL 243-1-2007, 96.)

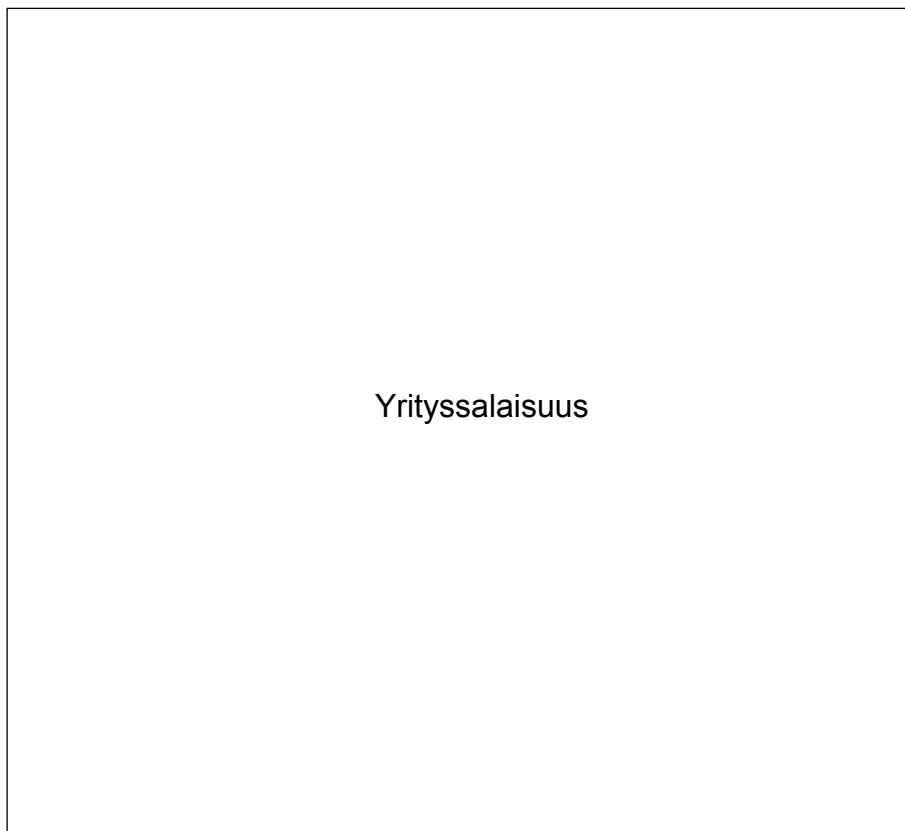
Olemassa oleviin tiloihin ei saa jälkikäteen siirtoseinällä parasta mahdollista ääneneristävyyttä, kun edelliset seikat olisi otettava huomioon. Siirtoseiniä, joita olisi kaksi peräkkäin, voi joissakin erikoistapauksissa harkita vakavasti. (RIL 243-1-2007, 97.)

6 Loppupohdintaa

Mittauksia oli tehty muutamia kappaleita Kurikan Interiöörin puolesta tutkimuskontissa Seinäjoen ammattikorkeakoululla ennen allekirjoittaneen opinnäytetyötä ja näin saatiin jo opitulla tietotaidolla mittauksia suoritettua melko jouhevasti. Merikonttiin tehty mittaustila asetti osaltansa tiettyjä rajoitteita, kuten rakenteiden leveys ja tilan pienehkö koko ja näin tulokset eivät ole tarkkoja, verrattuna täydellisiin laboratorio-olosuhteisiin. Lumen kulkeutumista mittaustiloihin on tulevaisuudessakin vältettävä mahdollisimman hyvin, kun tällä on merkitystä ilmankosteuteen ja tätä kautta tarkkoihin mittaustuloksiin. Tällä opinnäytetyöllä saatiin kuitenkin riittävän tarkat mittaustulokset eri rakennevaihtoehtojen vertailemiseksi tuotekehitystarkoituksessa. Kurikan Interiöörillä on monia julkisia kohteita, joissa rakennuttaja tai arkkitehti on määritellyt siirtoseinille hyviä ääneneristävyysvaatimuksia. Tätä kautta nämä tehdyt mittaukset ovat olleet hyödyllisiä.



Kuva 4: Kohteessa oleva valmis siirtoseinä(t).



Kuva 5: Mitattava siirtoseinä mittausaukossa pienoismallina.



Kuva 6: Äänilähde ja lähetävää ääntä mittaava mikrofoni omassa telineissään.



Kuva 7: Harmonie 4210 mittauslaitteisto kytkentöineen.



Kuva 8: Vastaanottava mikrofoni kalibrointiasennossa 94 dB:llä.

LÄHTEET

ISOVER. Teollisuuden ääneneristys ja -vaimennus. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Saint-Gobain Finland Oy. [Viitattu 1.4.2021]. Saatavana: <https://www.isover-tekniset-eristeet.fi/teollisuus/kayttokohteet/teollisuuden-aanieristys-ja-vaimennus>

Lahtela, T. 2004. Ääneneristys puutalossa. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Wood Focus Oy. [Viitattu 10.3.2016]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa>

Peltonen, H., Perkiö, J. & Vierinen, K. 2018 Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II. 9. painos. Lahti: Lahden Teho-Opetus Oy.

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

Saksela, K. & Nyberg, J. 2015. Akustinen kamera ilmaäänieristävyysongelmien selvittämisessä. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Akustinen seura ry. [Viitattu 15.1.2020]. Saatavana: https://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2015/09/AP2015_Paperin_palautus_48.pdf

SFS-EN ISO 10140-4:en Acoustics. Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 4: Measurement procedures and requirements

SFS-EN ISO 717-1:en Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation (ISO 717-1:2013)

Siikanen, U. 1996. Rakennusfysiikka perusteet ja sovellukset. Helsinki: Rakennustieto Oy

Wenmaekers, R.H.C, Hak, C.C.J.M and Hornikx, M.C.J, 2014. The effective air absorption coefficient for predicting reverberation time in full octave bands. [Verkkodokumentti] Journal of the Acoustical Society of America 1/2014 [Viitattu 29.7.2016]. Saatavana: <https://pure.tue.nl/ws/files/3963155/711965225981798.pdf>

Liite 1: Mittaustulokset

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus

Yrityssalaisuus