

OPINNÄYTETYÖ
ANTTI ALATÖRMÄNEN

KOTISTUDIONSUUNNITTELUOHJE



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences

RAKENNUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikka ja liikenne

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

KOTISTUDIONSUUNNITTELUOHJE

Antti Alatörmänen

2010

Seppo Sääskilahti

Hyväksytty _____ 2011 _____

Tekijä	Antti Alatörmänen	Vuosi	2010
Työn nimi	Kotistudion suunnitteluohje		
Sivu- ja liitemäärä	33		

Opinnäytetyössä selostetaan kotistudiorakentamisessa käytettävien akustisten materiaalien toimivuuden perusteet. Työn tarkoituksena oli selvittää ammattitason musiikkistudiossa suoritetuista mittauksista, miten valmiin studion tulisi toimia.

Ensimmäinen mittaus on tekijän sovellus soittoinstrumenttien avulla suoritettavasta ääneneristävyysmittauksesta. Muissa mittauksissa pyritään selvittämään absorptio-ala, jälkikaiunta-aika ja ääneneristävyysluku ISO-140 standardia soveltaen.

Instrumenttimittauksesta saadut tulokset tukevat teoretista tietoa matalien taajuuksien käyttäytymisestä. ISO-140 standardia mukailevien mittauksien tuloksista voidaan päätellä studiossa tarvittava akustinen ympäristö. Absorptioalan mittaus jäi laitteiston teknisen vajavuuden takia puutteelliseksi.

Kotistudio- ja tarkkaamotilat voidaan saada hyvin toimiviksi. Edellytyksenä kuitenkin on, että rakentaja tai tilojen suunnittelija on perehtynyt akustiikkaan.

Avainsana(t) kotistudio, studioakustiikka, musiikkistudio, diffraktio, huonemoodit, absorbtio

Author	Antti Alatörmänen	Year	2010
Subject of thesis	Planning recommendations of home recording studio		
Number of pages	33		

The idea of this thesis was to find out the functional basis of acoustic materials used in home music studio. The aim was to find out how does a properly builded recording studio work, using measurements made in a professional music studio.

The first measurement is applied sound reduction measurement with music instruments. In other measurements the standard ISO-140 is applied to find out the absorption area, reverberation time, and the sound reduction index.

The results of the first experiment back up the theory of low frequencies behaviour. The acoustic surrounding of the music studio can be deduced from the applied measurements of the ISO-140 standard. The measuring of absorption area was left imperfect due to technical limits of the equipment.

The recording space and the monitoring room can be made to be quite workable. Still conversancy with acoustics is a sine qua non.

Key words

Home Studio, Studio Acoustics, Music Studio, Diffraction, Room Modes, Absorption

SISÄLTÖ

TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO	1
1 JOHDANTO.....	2
2 PERUSTIETOJA AKUSTIIKASTA.....	3
2.1 Akustiikka	3
2.2 Ääni	3
2.3 Äänen tulkinta.....	4
2.4 Äänispektri.....	7
2.5 Äänen eteneminen väliaineessa, absorptio ja ääneneristys	8
2.5.1 Huonemoodit.....	9
2.5.2 Diffraktio ja heijastuminen	10
2.5.3 Sivutiesiirtymä	11
2.6 Ammattilaisten mietteitä.....	12
3 AINEISTO JA MENETELMÄT	14
3.1 Mittaukset	14
3.2 Seinärakenteen eristävyys todellisille instrumenteille	15
3.3 Studion jälkikaiunta-aika	15
3.4 Ilmaääneneristävyys ISO 140 -standardia mukaillen.....	16
4 TULOKSET.....	17
4.1 Seinärakenteen eristävyys todellisille instrumenteille	17
4.2 Studion jälkikaiunta-aika	21
4.3 Ilmaääneneristävyys ISO 140 -standardia mukaillen.....	22
4.4 Mittausten häiriötekijät.....	24
4.5 Mittaustulosten analysointi.....	26
5 PÄÄTELMÄT	31
LÄHTEET	33

TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Pythagoraan lause (13,12).....	4
Kuvio 2. Siniaalto (2,6).....	5
Kuvio 3. Sinivärähtely ilmanpaineen, taajuuden ja ajan suhteen. (1,24).....	7
Kuvio 4. Jaksollinen värähtely ilmanpaineen, taajuuden ja ajan suhteen. (1,24)	8
Kuvio 5. Iskuääni ilmanpaineen, taajuuden ja ajan suhteen. (1,24).....	8
Kuvio 6. Äänen heijastuminen erimuotoisista pinnoista. (4,162).....	11
Taulukko 1. Studiossa mitatut basson dB -arvot.....	17
Taulukko 2. Tarkkaamossa mitatut basson dB -arvot.....	18
Taulukko 3. Studiossa mitatut rumpujen dB -arvot	18
Taulukko 4. Tarkkaamossa mitatut rumpujen dB -arvot.....	19
Taulukko 5. Absorptiokertoimia (5,288-289)	22
Taulukko 6. Oktaavikaistoittain määritetyt ilmaääneneristävyydet (5,288-289)	22
Taulukko 7. Ilmaääneneristysluku R_w	23
Taulukko 8. Tarkkaamotilan vasen nurkka	26
Taulukko 9. Tarkkaamotilan oikea nurkka	26
Taulukko 10. Tarkkaamotilan keskellä.....	26
Kuvio 8. Seinä GT 70/145 101 M 70+70 (3,34).	27
Kuvio 9. Seinä GT 70/300 202 (3,34).	27
Kuvio 7. Piirrossarja sivutiesiirtymään vaikuttavista tekijöistä. (5,175).....	29

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää ammattistudiota tutkimalla, mitä kotistudiorakentajan tulee projektissaan ottaa huomioon ja miten valmiin studion tulisi toimia. Idea työhöni tuli musiikkiharrastukseni kautta. Minulla on myös kokemusta studiotyöskentelystä eritasoisissa studioissa.

Studiorakentaminen poikkeaa rakenneratkaisuiltaan ja toimintatavoitteiltaan normaalista talonrakentamisesta. Rakenteille asetetaan tiukempia vaatimuksia esimerkiksi resonoinnin ja äänen vaimentavuuden puolesta. Studiotiloissa syntyvien äänien tulee pysyä tilojen sisällä. Samoin on estettävä ulkopuolisten äänien pääsy tiloihin. Eroavaisuutena ammattistudiorakentamiseen ovat kotistudion pienemmät materiaalikustannukset, sekä jo valmiin, yleensä eri käyttötarkoitukseen suunnitellun pohjaratkaisun asettamat rajoitukset.

Työssä keskitytään lähinnä materiaaliratkaisuihin soittotilan ja tarkkaamon osalta. Tavoitteena on suorittaa kaksi, lähestymistavoiltaan erilaista seinän ääneneristävyys- ja jälkikaiunta-aikamittausta. Tällä halutaan havainnollistaa mittaustulosta ja siihen johtaneita syitä, niin että akustiikkaan ennen perehtymätön, studiota rakentava henkilö voi ne ymmärtää. Mittauksilla pyritään selvittämään absorptioala, jälkikaiunta-aika ja ääneneristävyysluku ISO 140 -standardia soveltaen. Lisäksi verrataan käytännön jälkikaiunta-aikamittauksen tulosta teoreettiseen Sabine kaavalla määritettyyn jälkikaiunta-aikaan.

Mittauskohteena on Rovala-Opiston musiikkistudio, jonka rakennustekninen taso on verrattavissa ammattistudion tasoon. Asiasta kiinnostuneena yritin löytää yleistä ohjeistusta kotistudiota rakentavalle. Internetistä löytyy muutamia artikkeleita alan lehdistä, mutta nekin keskittyivät yhteen tiettyyn tilaan, eivät yleisiin ohjeisiin.

2 PERUSTIETOJA AKUSTIIKASTA

2.1 Akustiikka

Todistetusti ensimmäisiä saliakustiikkaan perehtyneitä olivat antiikin kreikkalaiset. He käyttivät seiniin upotettuja ruukkuja resonaattoreina teattereidensa äänenlaadun parantamiseksi jo lähes 2500 vuotta sitten. Nykyajan teoreettinen akustiikka perustuu englantilaisen Lordi Rayleighin vuonna 1877 ilmestyneeseen akustiikan oppikirjaan *Theory of Sound*. Rayleighin kehittämässä oppijärjestelmässä akustiikka on mekaniikan haara, joka tutkii kielten, kalvojen, levyjen, sauvojen, palkkien, onteloiden ja muiden rakenteiden värähtelyä. Tämä samainen oppijärjestelmä tutkii myös äänen säteilyä ja siitä muodostuvia äänikenttiä täsmällisten voima- ja liikeyhtälöiden avulla. (1,7.)

Akustiikassa värähtelyliikkeitä ja -kenttiä joudutaan tarkastelemaan paljon tarkemmin ja hieman eri näkökulmista, kuin mihin mekaniikassa ja kimmo- ja lujuusopissa on totuttu. Akustiikassa värähtely, joka vähäisyydessään ei ole lujuusopillinen pulma on usein melupulma, jolloin joudutaan tarkastelemaan kiinteän kimmoisan kappaleen ja ilman värähtelyä sekä vuorovaikutusta. (1,8.)

Vaikka akustiikka mielletään fysiikan alatieteeksi, on se yksi monitieteellisimmistä luonnontieteiden aloista. Ääni ei ole vain energian eräs esiintymismuoto vaan se on myös elollisen luonnon informaatiojärjestelmän perusta. (1,8.)

2.2 Ääni

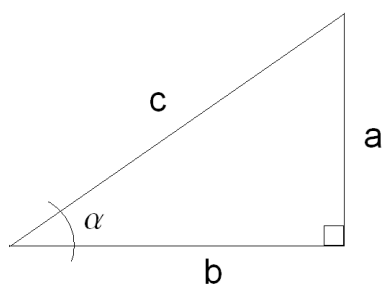
Ääni määritellään kimmoiseksi väliaineessa eteneväksi mekaaniseksi värähtelyksi(1,25). Ihmisen kokemilla ja tiedostamilla äänillä on aina etäisyys ja suunta. Ääni kuullaan myös tietyn pituisena, ja sen kesto ja korkeus vaihtelevat. Äänen havaitsemista ja kokemista ei voida yksiselitteisesti ilmaista pelkillä fysikaalisilla äänisuureilla, kuten taajuudella ja äänitasolla. Kuulokokemuk-

seen vaikuttavat kuulijan ikä, mielentila, ympäristö ja ajankohdan muutokset. Näitä ilmiöitä tutkii tarkemmin psykoakustiikka. (1,9.)

Fysikaalisesti määriteltynä ääni on paineaalto, tarkemmin sanottuna puristuskimmoisuusaalto, eli elastinen aalto, jonka ansiosta se kulkee missä tahansa kokoonpuristuvassa väliaineessa, jossa on sekä massaa, että kimmoisuutta. Aallossa energia siirtyy ja aine pysyy paikallaan. Ääniaaltona siirtyvä energia esiintyy massaan liittyvänä liike-energiana ja kimmoisuuteen liittyvänä potentiaalienergiana. Tapahtumassa on mukana myös häviömekanismia, esim. hankausta, joilla mekaaninen värähtelyenergia, tässä tapauksessa äänienergia, muuttuu muotoaan lämpöenergiaksi. (1,14.)

2.3 Äänen tulkinta

Teknisissä piirroksissa ääni kuvataan siniaaltona, sillä se on yksinkertaisen muotonsa ansiosta helposti käsitettävä esimerkki. Siniaalto on harmoninen, joka tarkoittaa että se värähtelee yhdellä taajuudella. Nimensä siniaalto on saanut siitä, että sillä kuvattava suure, tässä tapauksessa ääni, muuttuu ajan suhteen trigonometrisen sin-funktion mukaisesti. Sin-funktion määritelmä on seuraava: kulman α vastaisen kateetin a suhde hypotenuusaan c .

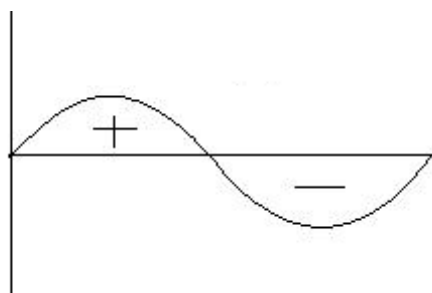


Kuvio 1. Pythagoraan lause (13,12)

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

jossa α = kulma
 a = kateetti
 c = hypotenuusa. (2,12.)

Äänen fysikaalisista perusmuuttujista taso, eli voimakkuus/amplitudi, ilmaisee hiukkasten poikkeamaa lepoasennosta. Muutos positiiviseen suuntaan tarkoittaa ilman tihentymistä, muutos negatiiviseen suuntaan taas ilman harvennuttumista. Sinikäyrä kuvaa paineen vaihtelua, jossa ilmamolekyylit liikkuvat lähemmäs ja kauemmas toisiaan. Paineen vaihtelu on siis ääntä ja keskiviiva vastaa hiljaisuutta eli staattista tilaa, jossa ei ole muutosta. (2,5–6.)



Kuvio 2. Siniaalto (2,6)

Jakso, eli sykli, kuvaa sinimuotoisen värähtelyn säännöllisyyttä. Se tarkoittaa sitä kokonaisuutta, jonka jälkeen värähtelyn vaiheet toistuvat uudestaan samanlaisina. Yleensä jakso mitataan lähtien nollakohdasta, jossa nouseva aaltomuoto leikkaa nollaviivan päätyen seuraavaan vastaavaan pisteeseen. (2,5-6.)

Äänen taajuus määrää äänen sointikorkeuden. Se kuvaa, miten nopeasti kokonaiset jaksot seuraavat toisiaan.(2,7.) Kun erikorkuisten äänten aallonpituuksia verrataan käytännössä esiintyvien melulähteiden, ääntä heijastavien pintojen tai ääntä läpäisevien aukkojen mittoihin, huomataan, että matalilla äänillä aallonpituudet ovat pitkät ja korkeimmilla äänillä lyhyet. Tällä seikalla on vaikutus äänen etenemiseen ja säteilyyn. (1,17.) Pieniä taajuuksia, eli hitaita värähtelyjä sanotaan mataliksi ääniksi, bassoiksi. Suuria taajuuksia, eli nopeita värähtelyjä sanotaan korkeiksi ääniksi, diskanteiksi. Taajuutta ilmaistaan mittayksiköllä hertsi (Hz). Nimitys tulee saksalaisen tutkijan Rudolf Herz mukaan. (2,7.) Taajuuden dimensio on 1/s. Tämä tarkoittaa yhtä sykliä, eli negatiivista ja positiivista puolialtoa, yhdessä sekunnissa. Taajuutta kutsutaan usein tämän vuoksi myös jaksoluvuksi. (1,12; 2,7.)

$$f = \frac{1}{T}$$

jossa f = taajuus
 T = jakso. (1,12.)

Kaikki kotistudiossa tehtävä äänityö tehdään sen taajuusalueen sisällä, jonka ihmiskuulo pystyy erottamaan. Ihminen havaitsee taajuudeltaan 20 Hz:n bassoäänestä, 20 000 Hz:n diskantti ääneen. Tätä aluetta kutsutaan audiotajuusalueeksi eli audiokaistaksi. Yli 20 000 Hz:n ääni on ultraääntä ja alle 20 Hz:n ääni infraääntä. (2,7.) Nämä äänet ovat ihmisen kuuloalueen ulkopuolella, sillä infraäänet aistitaan tärinänä (4,35).

Äänen nopeutena voidaan kuivissa sisätiloissa, + 20 °C, pitää 344 m/s. Kun äänennopeus jaetaan tietyllä taajuudella, saadaan halutun taajuuden aallonpituus metreinä.

$$\frac{v_{\text{ääni}}}{f} = \lambda$$

jossa $v_{\text{ääni}}$ = äänennopeus
 f = taajuus. (2,13.)

Tästä voimme laskea, että 100 Hz:n ääniaallon pituus on n. 3,4 m. (2,13.)

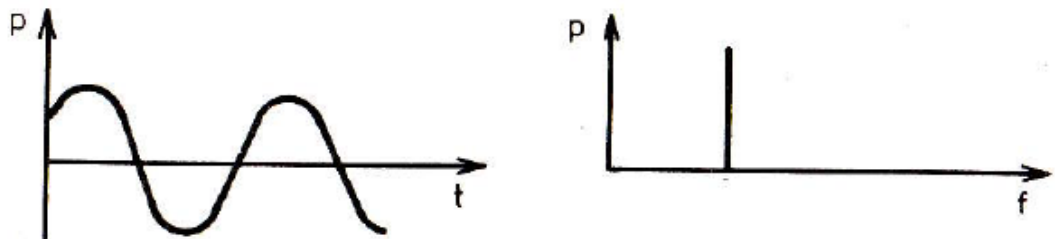
Äänessä mekaaninen työ välittyy ilmaan, jonka paineen muutokset saavat tärykalvon värähtelemään. Puheäänien ilmanpaine on n. $1 \cdot 10^{-6}$ -kertainen staattiseen ilmanpaineeseen verrattuna. (1,16.)

Audioalalla ehkäpä käytetyin ja väärinymmärretyin käsite on puhelimenkeksijä Alexander Graham Bellin mukaan nimetty mittayksikkö desibeli, dB (2,24). Kyseisen yksikön lähtökohtana on ollut intensiteettiasteikko, joka on äänenvoimakkuuden mitta. Intensiteetti ilmaisee äänitehon, joka osuu tietyn kokoiselle pinnalle, ja sen yksikkö on W/m^2 . Intensiteettiä ei pystytä suoraan mittaamaan, mutta se toimii apusuurena. (1,18.) Ihmisen aisteista kuulo toimii logaritmisesti. Käytännössä se tarkoittaa, että äänenpaineen kymmenkertaisuus tuntuu aina samansuuruiselta muutokselta. Desibeliyksikkö vastaa

tätä muutosta. Saadulle mittatulokselle täytyy kuitenkin aina esittää nollassa, eli vertailukohta. On merkitykseltä sanoa signaalin tason olevan 30 dB, ellei sillä ole vertailukohtaa. Äänitstekniikassa äänen voimakkuus määräytyy äänenpaineesta, jolloin nolla- eli vertailutason muodostaa ihmisen kuulokynnyks: 20 mikropascalina, μPa . Tämän vuoksi mittaustulosten perässä voi nähdä lyhenteen SPL, joka muodostuu sanoista Sound Pressure Level.(2,25).

2.4 Äänispektri

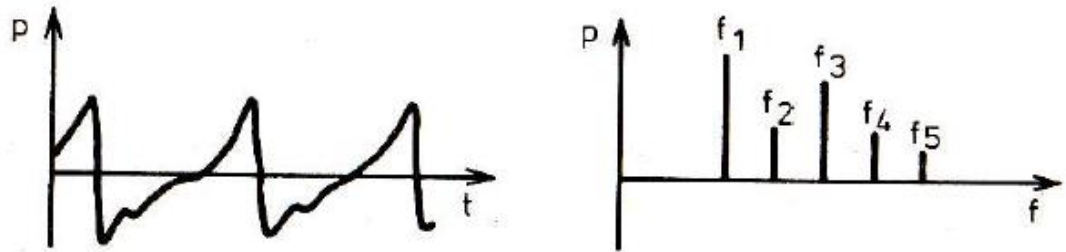
Äänispektriesitys ilmaisee, miten äänen energia tai paine on jakautunut eri taajuuksille.(1,23.) Käytännön mittauksissa äänilähteenä toimivat oskilloskoopin ja kaiuttimen yhdistelmä. Aiemmin käsitelty siniaalto on kaiken värähtelyliikkeen yksinkertaisin perusmuoto. Käytännössä yksinkertaista harmonista värähtelyä ei juurikaan esiinny, vaan äänessä on matalimman perustaajuuden lisäksi joukko yläääniä, jotka eroavat taajuudeltaan toisistaan.



Kuvio 3. Sinivärähtely ilmanpaineen, taajuuden ja ajan suhteen. (1,24)

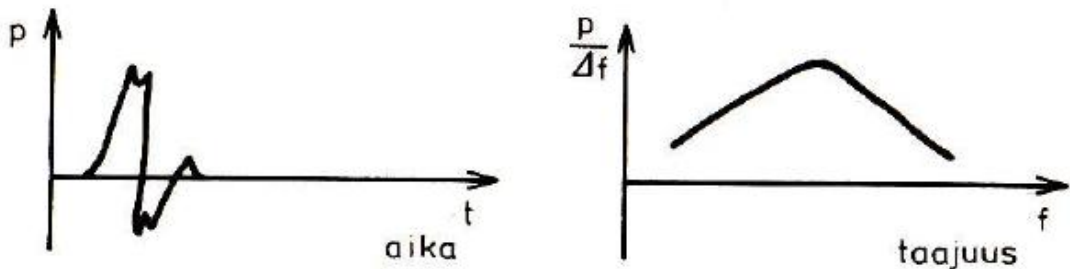
Useiden musiikki-instrumenttien ääni on jaksollista värähtelyä. Se voidaan jakaa harmonisiin komponentteihin, joista matalin, ns. perustaajuus määrää äänen korkeuden. Lisäksi ääni sisältää joukon yläääniä, joiden taajuudet ovat kokonaislukusuhteessa perustaajuuteen. Äänen väri määräytyy ylääänten mukaan. (1,23.)

Tähän ryhmään kuuluvat esim. kordofonit eli kielisoittimet.



Kuvio 4. Jaksollinen värähtely ilmanpaineen, taajuuden ja ajan suhteen. (1,24)

Iskuäänet edustavat kertailmiötä. Samanlaisten nopeasti toistuvien iskujen tai pulssien jono muodostaa jaksollisen ilmiön, eli soivan äänen.(1,24.) Studiossa näitä ääniä tuottavat membranofonit, eli kalvosoittimet kuten esim. rummut.



Kuvio 5. Iskuääni ilmanpaineen, taajuuden ja ajan suhteen. (1,24)

2.5 Äänen eteneminen väliaineessa, absorptio ja ääneneristys

Edetäkseen ääni tarvitsee väliaineen. Tyhjiössä ääni ei etene. (4,35.) Kaasuissa ja nesteissä aaltoliike etenee vain pitkittäisenä, eli longitudiaalisena aaltoliikkeenä, lukuun ottamatta poikittaisia eli transversaalisia pinta-aaltoja. Erilaiset poikittaiset aaltoliikkeet, kuten taivutus-, leikkaus- ja vääntövärähtelyt ovat mahdollisia kiinteissä kappaleissa ja rakenteissa. (1,17.) Useiden instrumenttien, kuten rumpukalvojen liike ja kielisoittinten kielten värähtely, on transversaalista aaltoliikettä, mutta muodostuva ääni luonnollisesti longitudiaalista aaltoliikettä. Tämä tarkoittaa, että soittimen kielen aaltoliike on poikittaista, mutta värähtelystä aiheutuva ääni etenee pitkittäisenä aaltoliikkeenä. Käytännön esimerkkinä transversaalista pinta-aallosta voidaan käyttää veteen heitetyn kiven aiheuttamaa aaltoliikettä, jossa veden pinta nousee ja laskee aaltoliikkeen edetessä havaintopaikan ohi. (1,15.)

Äänilähteen ollessa pienikokoinen, ääni etenee pallomaisesti joka suuntaan. (1,15.) Studioissa käytettävät käytännön äänilähteet, soittimet ja vahvistimet, eivät kuitenkaan ole tällaisia ihanteellisia pistemäisiä äänilähteitä vaan säteilevät erikorkuisia ääniä eri tavalla eri suuntiin. (2,5.)

Puhuttaessa äänen etenemisestä väliaineessa ja rakenteissa, törmätään termeihin absorptio, sekä ääneneristys. Virheellisesti nämä kaksi sekoitetaan arkikielessä toisiinsa. Absorptio vaimentaa tilan sisällä syntyvää ääntä. Se on pintamateriaalien ominaisuus. Materiaalille annettu absorptiokerroin kertoo pintaan kohdistuneen ja siihen imeytyneen äänitehon suhteen. Ääneneristykellä sen sijaan estetään äänen kulkeutuminen huonetilasta toiseen. Erona absorptioon on se, että eristävyys on tiiviiden rakenteiden ominaisuus. Hyvin toteutetussa ääneneristyksessä rakenteen kautta kulkee vain vähän äänienergiaa. (4,46-47.)

Täydellisesti ääntä imevän materiaalin absorptiokerroin on 1 ja täydellisesti heijastavalla materiaalilla tämä luku on 0. Absorptioala tarkoittaa juuri sitä materiaalipinta-alaa, jonka absorptiokerroin on 1. Lähes kaikki materiaalit imevät ääntä, mutta voimakkainta se on huokoisilla aineilla. Huokoisiksi aineiksi luokitellaan esim. erilaiset tekstiilit, mineraalivilla ja avosoluiset vaahdotuovat ja -kumit. Akustisesti toimiva absorptio edellyttää, että käytettävän materiaalin huokokset ovat yhteydessä toisiinsa. Tästä syystä umpisoluisissa materiaaleissa akustinen absorptio on yleensä vähäistä. (1,52-53.)

2.5.1 Huonemoodit

Äänitystyössä lopputuloksen kannalta oleellimmat, aksiaaliset moodit, syntyvät, kun vastakkaisesta seinästä heijastuva ääni törmää itseensä. Tällöin painemaksimit ja paineminimit asettuvat kummallakin aallolla keskenään kohdakkain. (14,42–43.) Hiukkasnopeuden maksimi- eli kupukohta on neljännesaallon päässä seinän pinnasta (1,57). Maksimit korostavat ja minimi vaimentavat toisiaan. Pienessä huoneessa kyseiset taajuudet sijoittuvat audio-alueelle, eli alueelle, joka voimakkuudeltaan on kuuloaistin havaittavissa. Huonemoodit, eli resonanssitaajuudet, ovat ongelmallisimpia juuri matalilla

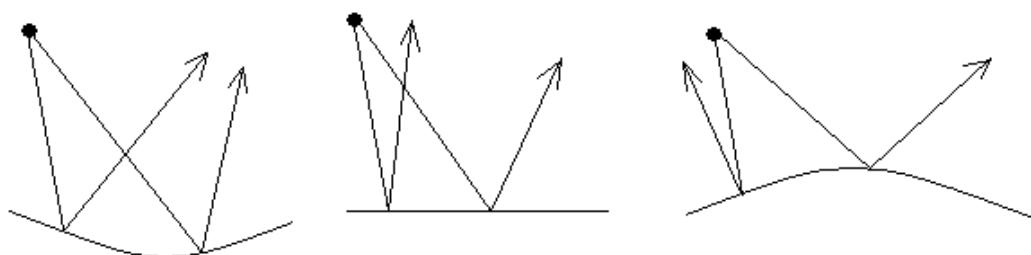
taajuuksilla, joissa samanvaiheiset kohdat ovat etäällä toisistaan ja tämän vuoksi erottuvat vallitsevasta äänenpainetilasta selvästi. Tällaisen ilmiön aiheuttaa tilanne, jossa huoneeseen syntyvä taajuusaalto on samaa suuruusluokkaa huoneen mittojen kanssa. Aalto tunnetaan myös nimellä seisova aalto. Yksittäiset moodit vaikuttavat eniten ala- ja keskitaajuuksilla, joilla aallonpituudet ovat suhteellisen suuria. Koska huonemoodien aallonpituudet ovat kerrannaisia keskenään, esiintyy niitä ylemmillä taajuuksilla niin tiheästi, että niiden vaikutus on olematon. (14,42–43.)

2.5.2 Diffraktio ja heijastuminen

Taipuminen eli diffraktio on samanlainen kaikelle aaltoliikkeelle. Esim. aallonmurtajan kärjessä aaltojen huomataan kääntyvän ja etenevän jonkin matkaa kärjen ympäri. Aallonpituudella on tässä oleellinen merkitys. Kun kohdatavan esteen mitat ovat äänen aallonpituuden suhteen pienet, on esteen vaikutus mitätön. Jos taas aallonpituus on samaa suuruusluokkaa tai pienempi kuin aaltojen tiellä oleva este, on esteen vaikutus aaltojen etenemiseen merkittävä. Esim. luokkahuoneessa oleva pilari ei mainittavasti vaikuta matalien äänien etenemiseen, mutta voi tehokkaasti estää korkeampien äänten kulua. Esteen vaikutuksesta ääniaaltojen etenemissuunta voi muuttua. Diffraktion ansiosta aaltoliike voi kiertää kulman ympäri.(1,47.)

Heijastuminen tapahtuu ääniaallon osuessa kohtaan, jossa väliaineen ominaisuudet muuttuvat. Diffraktiolla on vaikutuksensa myös heijastukseen. Kyse on aallonpituuden ja ääntä heijastavien pintojen koon välisestä suhteesta. Tiedossa on, että voimakkaan heijastuksen aiheuttavat vain pinnat, jotka ovat suuria äänen aallonpituuteen verrattuna. (1,48.) Näin akustisia ilmiöitä voidaan selittää ns. geometrisen akustiikan keinoin, jossa äänen etenemistä havainnollistetaan äänisäteiden avulla.

Käytännössä äänisäteet merkitään äänen etenemissuuntaa seuraavin viivoin (1,48).



Kuvio 6. Äänen heijastuminen erimuotoisista pinnoista. (4,162)

2.5.3 Sivutiesiirtymä

Kahden huonetilan välinen eristävyys riippuu paitsi välissä olevan rakenteen eristävydestä, myös sivutiesiirtymistä. Siinä ääni siirtyy tilasta toiseen muuta reittiä kuin suoraan tiloja erottavan rakenteen välityksellä. Rakenteelliseen sivutiesiirtymään osallistuu ainakin yksi huoneita sivuava rakenne. Siinä energialla on äärettömän monta rakenteellista kulkureittiä. Rakenteellista sivutiesiirtymää esiintyy aina rakennuksessa, sillä äänilähde saa kaikki tilaa rajaavat pinnat värähtelemään. Voidaankin sanoa että sen merkitys on sitä suurempi mitä parempi varsinaisen eristävän rakenneosan ääneneristävyys on.

Sivutiesiirtymää voidaan vähentää:

- tekemällä eristävyys yhtä hyväksi kuin eristävällä rakenteella
- kiinnittämällä huonetta rajaavat ohuet seinät massiiviseen jäykkään rakenteeseen
- katkaisemalla sivuavat rakenteet joustavalla saumalla ja jättämällä sideteräkset pois saumasta
- päällystämällä sivuava rakenne säteilyä vähentävällä lisärakenteella
- päällystämällä sekä sivuava että eristävä rakenne säteilyä vähentävällä lisärakenteella.

Sivutiesiirtymä voi heikentää eristävyttä jopa 15...20 dB (5,14). Erityisen tehokkaina säteilevinä materiaaleina voidaan mainita betoni, kevytbetoni, kipsi ja tiili. (4,106; 5,14–15,174.) Ilmanvaihtokanavien kautta tapahtuu myös sivutiesiirtymää, mutta siinä äänen kulkumeکانismi on toisenlainen kuin rakenteiden kautta tapahtuvan rakenteellisen sivutiesiirtymän (4,106). Työssä keskitytään rakenteellisen sivutiesiirtymän vaimentamiseen.

2.6 Ammattilaisten mietteitä

Pauli Ruuskanen on rovaniemeläinen musiikkialan ammattilainen. Haastattelun aikana hän toimii omassa yrityksessään, Studioala ky:ssä, äänittäjänä ja tuottajana. Tilaa on n.30 m², eikä erikoisrakenteita juurikaan ole. Studio sijaitsee kotitalon kellarissa. Pauli ei pidä rakenteita laatuun vaikuttavana tekijänä, tärkeintä on soittaja. Ruuskasen mukaan soittotilan akustinen suunnittelu on hyvä juttu, mutta ei määräävä tekijä musiikin teossa. ”Mikrofonit ovat melko tunnettomia. Esim. kitaraäänityksissä kelluvan lattian merkitys on olematon”, sanoo Ruuskanen. Tarkkaamon tärkeyttä hän kuitenkin korostaa ja mm. tarkkaamon tarkkailumonitorien paikat tulisi mitoittaa ammattilainen. Studioissa kuunteluhuoneen seinille on sijoitettu akustolevyjä. ”Villaa tällaisen tilan seinissä on hyvä olla reilusti”, toteaa Ruuskanen. (10.)

Ammattilaistason äänitysstudio Finnvoxilta kerrotaan rakenneratkaisuiden olevan äänityön ammattilaisten mielestä keskeisessä asemassa studion toimivuuden kannalta. Ilmastointikanavat ovat äänelle helpoin tie ohi eristävien ja vaimentavien seinärakenteiden, joten niiden toimivuuteen kannattaa panostaa, ainakin ammattistudiossa. Myös liikenteen aiheuttaman melun eristäminen koetaan tärkeäksi ammattistudio Finnvoxilla. Erikoisrakenteet, kuten kelluvalattiarakenne, on tärkeä halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. (11.)

Mika Nurmela on aloittanut muusikon uransa 1991 ja siirtynyt hiljattain musiikin tuotantoon. Hänen studionsa on 75m². Nurmelan mukaan akustiikka on tärkeää, mutta ei tärkeintä. ”Tietysti ulkopuolinen melu, kuten liikenteen äänet on saatava vaimennettua, mutta muuten painottaisin työtilan viihtyvyyttä. Alan teoksiin oli kuitenkin hieman perehdyttävä tarkkaamon ja soittotilan vä-

listä seinää rakennettaessa. Netistä ja kirjoista sai hyviä vinkkejä”, Nurmela sanoo. Hänen tapauksessaan rajoittavana tekijänä on myös se, että tila on vuokrattu, joten suuriin rakennemuutoksiin kuten esim. kelluvaan lattiarakenteeseen ei haluta lähteä. Sekä soittotilaan, että tarkkaamon seiniin ja kattoon on sijoitettu akustolevyjä. Lisäksi rumpusettiä ympäröivät seinät on vuorattu kovavillalla ja hajautetuin puurimoin. ”Olen nähnyt tuollaisia seiniä muissa studioissa, joten näkömuistista rakensin itse samanlaisen. Jos se hieman pehmentäisi”, sanoo Nurmela. (12.)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Mittaukset

Tarkoituksena on suorittaa kaksi erilaista mittausta. Ensimmäisessä mitataan todellisten instrumenttien tuottamia äänenpainetasoja ja seinärakenteen eristävyyttä prosenttilukuina. Soittimista valitaan rummut ja basso. Nämä kaksi kuuluvat kotistudion ongelmallisimpiin äänentuottajiin. Basso asettaa haasteita äänenvaimennukselle, matalien ja pitkäaaltoisten taajuuksiensa vuoksi. Akustisena soittimena, rumpujen äänenvoimakkuuden säätö on erittäin vaikeaa. Rumpu on lyömäsoitin ja sen oikeanlainen sointi edellyttää ajoittain varsin suurta lyönti- ja iskutehoa.

Toisessa mittauksessa pyritään mukailemaan ISO 140 -standardin mittausohjeistusta. Äänilähteestä tuotetaan kohinaääntä, joka sisältää kaikkia standardien ja normien edellyttämiä taajuuksia. Mittaustulokset tallentuvat mittarin muistiin automaattisesti 1/3 oktaavin välein. Näiden tulosten perusteella pyritään laskemaan tilan absorptioala ja ääneneristävyysluku tarkkaamoja ja studiota erottavalle seinälle. Lisäksi mitataan studiotilan jälkikaiunta-aika lähteessä 6, kohdassa 1.5.2.3 ohjeistetulla tavalla. Äänilähteenä toimii kaksi vierekkäin sijoitettua passiivista Sony musiikkikaiutinta, sekä erillinen Sony TA-F461R -viritinvahvistin. Äänilähteen lähettämää taajuutta säädellään tietokoneelta Room EQ Wizard V4,11 -ohjelmalla. Äänen ohjaukseen tietokoneelta vahvistimelle liitetään ulkoinen Creative E-MU 0404 USB 2.0 -äänikortti.

Kaikissa mittauksissa käytettiin Cirrus CR:800 C -desibelimittaria. Mittauksiin valittiin frequency weighting A, eli A- painotus, sillä sen painotus mitattuihin taajuuksiin mukailee ihmisen kuuloaistia. Mittarin mittaustoiminnoksi valittiin laajakaistamittaus, Broadband Mode -toiminto, jossa A-painotus on mahdollinen.

3.2 Seinärakenteen eristävyys todellisille instrumenteille

Mittauksen aikana instrumentit soittavat vuorollaan valmiiksi sovittuja soitannollisia yhdistelmiä. Tämä tarkoittaa että bassolla soitetaan toistuvasti matalinta kieltä, jotta pisimpien taajuuksien vaikutus rakenteeseen voidaan selvittää. Rummuille määrätään n. 10 s:n välein toistuva soitannallinen yhdistelmä, jonka aikana lyödään kaikkia setin rumpuja. Erityisesti peltien, eli symbaalien ja bassorummun päällekkäin soitettut äänet halutaan mukaan tarkasteluun.

Akustisina soittimina rummut ovat äänellisesti bassoa tehokkaampi instrumenttiryhmä. Mitattuun rumpusettiin kuuluivat perus rumpusetin sisältämät rummut. Bassokitaran taajuusalue on rakenteiden kannalta merkittävin. Jotta matalat äänet kuulutaisiin samanvahvaisina kuin keskialueen äänet (2,28), tarvitsevat ne energiaa, eli äänenpainetta paljon muita ääniä enemmän. Tämä johtuu ihmiskorvan taajuusvasteen vaihtelusta. Mittauksissa käytetty basso oli 5-kielinen, eli sen alin kieli värähtelee n. 41 Hz:n alueella. Voidaan sanoa, että tämä on matalin kotistudiossa kuultava värähtelytaajuus.

3.3 Studion jälkikaiunta-aika

Huoneessa toiminnassa olevat äänilähteet aiheuttavat huoneeseen heijastuksia. Kun huonetilassa toimiva äänilähde sammutetaan, heijastukset vaimenevat vähitellen pois. Tämä ilmiö tunnetaan nimellä jälkikaiunta. Jälkikaiunta-aika on se aika, jonka kuluessa äänenpainetaso heikentyy 60 dB. Sanoetaan että jälkikaiunta-ajan kuluessa voimakas musiikkiääni vaimentuu salissa kuulumattomiin. (3,16.) Mittaus aloitetaan äänilähteen käynnistämällä. Tämän jälkeen käynnistetään äänitasomittari. Äänisignaali katkaistaan, mutta mittari jatkaa mittaamista. Tulokset näkyvät mittarin asteikosta, josta voidaan laskea 60 dB:n vaimeneminen. Äänilähde toimii luotettavimmin 500 Hz:n taajuusalueella. 500 Hz:n taajuus edustaa myös keskiääniä, joita studiossa esiintyy runsaasti.

3.4 Ilmääneneristävyys ISO 140 -standardia mukaillen

Absorptioalasta käytetään merkintää $m^2\text{-Sab}$. Luku saadaan kertomalla tilan materiaalikohtaiset pinta-alat, kunkin materiaalin absorptiokertoimella. (4,49).

Rakenteen ilmääneneristävyys lasketaan seuraavasti:

$$R = L1 - L2 + 10 \lg S/A$$

jossa R = ilmääneneristävyys (dB)

$L1$ = lähetyshuoneen keskimääräinen äänenpainetaso (dB)

$L2$ = vastaanottohuoneen keskimääräinen äänenpainetaso (dB)

S = mitattavan rakennusosan pinta-ala (m^2)

A = vastaanottohuoneen absorptioala (m^2). (4,49.)

Laskutoimituksista saadut arvot sijoitetaan taulukkoon jossa vaaka-akseli ilmoittaa siniäänten taajuudet hertseinä ja pystyakseli äänenpainemäärät desibeleinä. Mittaustulosten lisäksi taulukkoon lisätään ISO 717-1 -standardin mukainen vertailukäyrä. Vertailukäyrä sijoitetaan siten, etteivät vertailukäyrältä saadun arvon ja mittauksista saadun ilmääneneristävyysluokan ero ylitä 10 dB:ä. Ei-toivottu poikkeama toteutuu, kun mittaustulos on pienempi kuin vertailukäyrän arvo, eli mittaustulos on vertailukäyrän alapuolella. Vertailukäyrää siirretään 1 dB -arvon verran kerrallaan. Kun vertailukäyrä on paikoillaan, saadaan rakenteen ilmääneneristävyysluku R_w vertailukäyrältä 500 Hz:n kohdalta. Ei-toivottujen poikkeamien summa ei saa ylittää 32,0 dB:ä (4,60). ISO 717-1 – normin vertailukäyrä perustuu puheäänien taajuusjakaumaan ja ihmiskorvan herkkyyteen.

4 TULOKSET

4.1 Seinärakenteen eristävyys todellisille instrumenteille

Mittaustulosten avulla määritetään tarkkaamon ja studion välisen seinän eristävyys prosentteina, 41 Hz:n alueella. Bassolla soitettiin vahvistimen kautta alinta ääntä, tässä tapauksessa B -kieltä. Mittauksesta saatiin seuraavia arvoja

Taulukko 1. Studiossa mitatut basson dB -arvot

Basso stud.	Value	unit
Date	10.5.2010	
Time	14:44:03	
Run Time	00:00:59	hh:mm:ss
Leq	85,5	dBA
LAE	103,1	dBA
LAFmax	91,6	dBA
Peak	114,1	dBC
L1,0	89,6	dBA
L10,0	87,9	dBA
L50,0	84,6	dBA
L90,0	81,2	dBA
L95,0	80,1	dBA
Lmin	76,4	dBA
Range	60-130	dB
Overload	no	
Serial No.	D20871FD	
Recal Due	30.4.2010	

Taulukko 2. Tarkkaamossa mitatut basson dB -arvot

Basso tark.	Value	unit
Date	10.5.2010	
Time	14:46:03	
Run Time	00:00:59	hh:mm:ss
Leq	40,3	dBA
LAE	57,9	dBA
LAFmax	45,7	dBA
Peak	71,9	dBC
L1,0	43,6	dBA
L10,0	42,4	dBA
L50,0	39,7	dBA
L90,0	36,7	dBA
L95,0	35,7	dBA
Lmin	32,6	dBA
Range	10-80	dB
Overload	no	
Serial No.	D20871FD	
Recal Due	30.4.2010	

Taulukko 3. Studiossa mitatut rumpujen dB -arvot

Rummut stud.	Value	unit
Date	10.5.2010	
Time	12:44:16	
Run Time	00:00:53	hh:mm:ss
Leq	102,8	dBA
LAE	119,9	dBA
LAFmax	111,8	dBA
Peak	131,3	dBC
L1,0	108,8	dBA
L10,0	106,2	dBA
L50,0	100,4	dBA
L90,0	94,0	dBA
L95,0	92,1	dBA
Lmin	58,2	dBA
Range	70-140	dB
Overload	no	
Serial No.	D20871FD	
Recal Due	30.4.2010	

Taulukko 4. Tarkkaamossa mitatut rumpujen dB -arvot

Rummut tark.	Value	unit
Date	10.5.2010	
Time	12:57:47	
Run Time	00:00:59	hh:mm:ss
Leq	46,5	dBA
LAE	64,1	dBA
LAFmax	60,0	dBA
Peak	75,7	dB
L1,0	50,0	dBA
L10,0	48,1	dBA
L50,0	45,7	dBA
L90,0	42,4	dBA
L95,0	40,4	dBA
Lmin	32,0	dBA
Range	10-80	dB
Overload	no	
Serial No.	D20871FD	
Recal Due	30.4.2010	

joissa

- Leq = jatkuva äänenpainetaso. Ilmoittaa keskimääräisen äänenpaineen tason mittausajassa "t".
- LAE = vallitseva äänitaso, SEL.
- LAFmax = äänenpainetaso fast - aikapainotuksella ja A-taajuuspainotuksella.
- Peak = äänenpaineen suurin arvo koko mittausajalta.
- L1 = melutason kesto prosentteina mittausajasta
- L10 = melutason kesto prosentteina mittausajasta
- L50 = melutason kesto prosentteina mittausajasta
- L90 = melutason kesto prosentteina mittausajasta
- L95 = melutason kesto prosentteina mittausajasta
- Lmin = äänitason pienin arvo
- Range = äänen voimakkuuden mitta-alue
- Overload = ilmoittaa voimakkuuden mitta-alueen ylityksestä (9, 55-57.)

Seinän eristävyyskannalta oleelliset arvot ovat mittauksista saadut Peak sekä Leq. Lasketaan seinärakenteen eristävyys prosentteina äänenpaineen suurimmasta arvosta Peak sekä keskimääräisestä äänenpaineen tasosta Leq.

$Peak_{basso}$:

$$\frac{114,1 \text{ dBC} - 71,9 \text{ dBC}}{114,1 \text{ dBC}} * 100 \% = 31 \%$$

$Peak_{rummut}$:

$$\frac{131,1 \text{ dBC} - 75,7 \text{ dBC}}{131,3 \text{ dBC}} * 100 \% = 42\%$$

Leq_{basso} :

$$\frac{85,5 dBA - 40,3 dBA}{85,5 dBA} * 100 \% = 53 \%$$

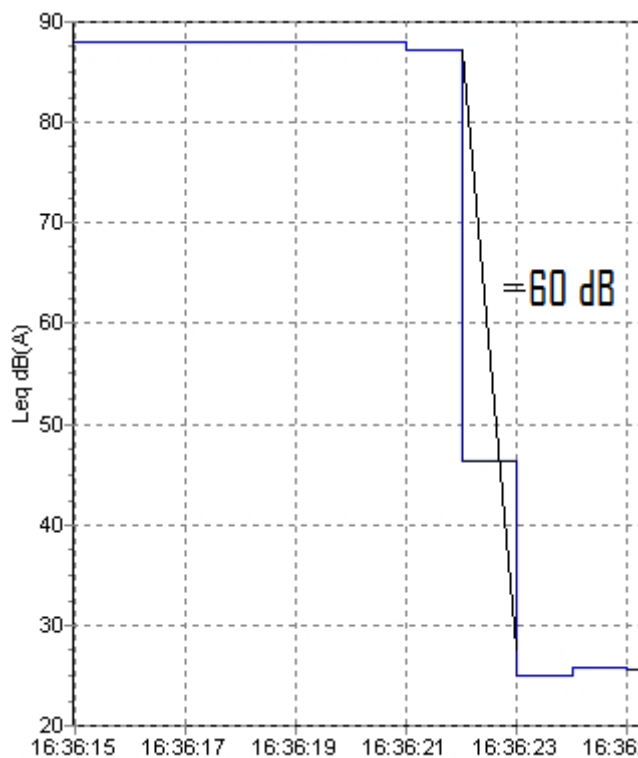
Leq_{rummut} :

$$\frac{102,8 dBA - 46,5 dBA}{102,8 dBA} * 100 \% = 55 \%$$

Oikeilla instrumenteilla suoritettu mittaus on lähellä totuutta. Tulokset puoltavat teoriaa ja auttavat kotistudiota rakentavaa ymmärtämään matalien taajuuksien ja paksujen ainekerrosten yhteyden. Tuloksista voidaan todeta, että alataajuuksien jaksollinen värähtely läpäisee seinärakenteen iskuäänien äänenpainetta pienemmällä äänenpaineteholla. Näitä taajuuksia vaimennetaan paksuilla huokoisilla ainekerroksilla. Suuntaa antavat paksuuksien dimensiot voi laskea vaikkapa kaavan 1 mukaisesti.

4.2 Studion jälkikaiunta-aika

Laskutoimituksessa käytettävät arvot valitaan silmämääräisesti mittarin kuvio-osta. Äänenpainetaso laskee 60 dB 88,6 dB:stä 28,6 dB:n, 0,9 s:ssa ääniläh-teen sammuttamisesta. Studion jälkikaiunta-aika on siis 0,9 s 500 Hz:n sini-äänitaajuudella.



Kuvio 7. Jälkikaiunta-aika

Äänenpainetaso laskee 60 dB, 88,6 dB:stä 28,6 dB:n, 0,9 s:ssa äänilähteen sammuttamisesta. Studion jälkikaiunta-aika on siis 0,9 s 500 Hz:n sini-äänitaajuudella.

Lasketaan jälkikaiunta-aika myös Sabinen kaavaa käyttäen:

$$T = 0,16 * \frac{V}{A}$$

jossa T = jälkikaiunta-aika s

V = huoneen tilavuus m³

A = huoneen absorptioala. (3,16.)

Absorptiokertoimeksi valitaan keskiääntä edustava 500 Hz.

Taulukko 5. Absorptiokertoimia (5,288-289)

Pintamateriaali	α_{500}	m ²	A_{500} m ² -Sab	m ³
Kipsilevy 13 mm, takana villa 200-300 mm	0,20	53,8	10,76	78,8
Linoleumpäällyste suoraan betonin päälle	0,03	11,8	0,35	
Desibel 40 kattoakustolevy	0,50	15,8	7,9	
Tarkkaamon ikkuna, kaksinkertainen	0,20	1,54	0,31	
Yhteensä			19,32	78,8

$$T = 0,16 * \frac{78,8 \text{ m}^3}{19,32 \text{ m}^2 - \text{Sab}}$$

Sabinen kaavalla tulokseksi saadaan:

$$T = 0,65 \text{ s}$$

4.3 Ilmaääneneristävyys ISO 140 -standardia mukaillen

Taulukosta saadut tulokset sijoitetaan kohdassa 3.4 esiteltyyn kaavaan.

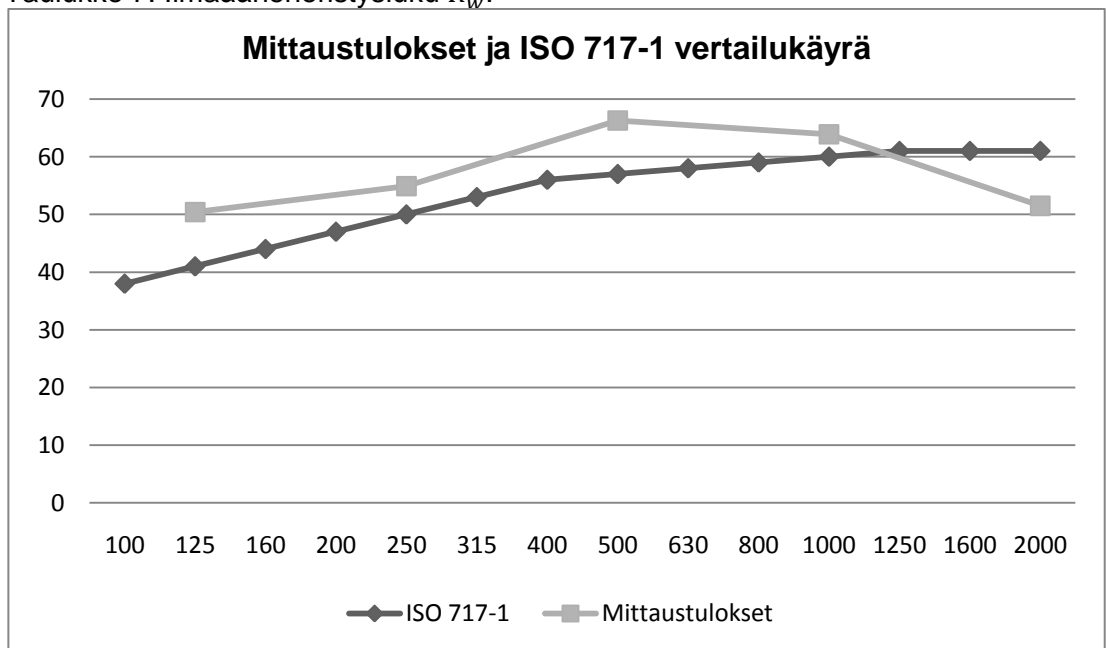
Taulukko 6. Oktaavikaistoittain määritetyt ilmaääneneristävydet (5,288-289)

Absorptiokertoimia α

Materiaali/rakenne	m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Kipsilevy 13 mm, takana villa 200-300 mm	46,8	0,6	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
Linoleumpäällyste suoraan betonin päälle	21,9	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Desibel 40 kattoakustolevy	19	0,25	0,25	0,5	0,95	0,96	0,96
Tarkkaamon ikkuna, kaksinkertainen	1,5	0,4	0,3	0,2	0,17	0,15	0,1
Absorptioalat $A = m^2 * \alpha$							
Kipsilevy 13 mm, takana villa 200-300 mm		28,08	18,72	9,36	9,36	9,36	9,36
Linoleumpäällyste suoraan betonin päälle		0,438	0,438	0,657	0,657	0,876	0,876
Desibel 40 kattoakustolevy		4,75	4,75	9,5	18,05	18,24	18,24
Tarkkaamon ikkuna, kaksinkertainen		0,6	0,45	0,3	0,255	0,225	0,15
Yhteensä m²		33,868	24,358	19,817	28,322	28,701	28,626
Äänenpainetasot Db							
L 1, lähetyshuone		79,7	79,8	88,5	83,6	69,3	75,4
L 2, vastaanottohuone		28,9	24,6	22	19,3	17,4	21
Seinärakenteen pinta-ala S	12,4						
R=		50,4	54,9	66,3	63,9	51,5	54,0

Laskutoimitusten jälkeen arvot sijoitetaan taulukkoon. Mittauksista saadut arvot muodostavat pistejonon, jota verrataan ISO 717-1 vertailukäyrään.

Taulukko 7. Ilmääneneristysluku R_w .



ISO 140 -standardia mukailevan mittauksen mukaan seinärakenteen ilmääneneristysluku R_w on 57 dB.

4.4 Mittausten häiriötekijät

Kaiunta-ajan mittaustulosten tulkinnassa virhettä syntyy, sillä mittarin antama tulos ei ole logaritminen, vaan kuvaa tilan äänikenttää ja tulos täytyy tulkita sitä kautta silmämääräisesti. Koska tila on aktiivisessa käytössä, eivät mittausten vaatima ylimääräisten pintojen peittäminen tai tilan tyhjennys olleet mahdollisia. Mittauksen jälkikaiunta-aikaa pidensi varmasti tilassa säilytettävien rumpujen kalvojen resonointi. Todellisessa äänitystilanteessa herkätkondensaattorimikrofonit reagoivat Sabine kaavalla määritettyyn jälkikaiuntaan, mutta voidaan kuitenkin katsoa, ettei 0,65 s:n kaiku ole ratkaiseva kotistudiossa. Ratkaisuna esitetään studion kipsilevyseinien vuoraamista esim. akustolevyillä. Tämän tulisi pienentää 0,65 s:n kaiunta-aikaa. 500 Hz:n taajuus edustaa keskiääniä ja sen vaimentaminen parantaa myös tilan yleisakustiikkaa.

Eniten ongelmia ilmaäänieristysluvun mittauksissa aiheuttivat hallitsematon taustamelu ja äänilähteen kovaäänisten äkilliset katkokset. Akustisten olosuhteiden hallinta mittausten aikana oppilaitoksena toimivassa rakennuksessa on lähes mahdotonta. Nämä näkyivät piikkeinä diagrammeissa, ja kyseinen mittaus oli tehtävä uudestaan.

Suomen rakentamismääräykset ilmaääneneristävyydestä perustuvat kansainväliseen ISO 140 standardiin. Sen mukaan ilmaääneneristävyys mitataan 1/3-oktaavin levyisillä kohinaäänikaistoilla kuudellatoista eri taajuusalueella välillä 100...3150 Hz. Käytettävissä olleesta mittarista kuitenkin puuttui oktaavikaistamittaus-toiminto. 1/3-oktaavitoiminnon puuttuessa mittauksia tuli suunniteltujen 6 mittauksen sijaan peräti 48. Mittarilla ei voitu mitata äänenpainetasoja eri taajuuksille suoraan kohinaäänestä. Tulosten saamiseksi äänet tuotettiin siniääninä ohjeissa määrättyin taajuuksin. Mittausten kertautuminen kasvatti näppäilyvirheiden mahdollisuutta.

ISO 140 -standardin mukaisessa ilmaääneneristävyyden mittauksessa absorptioala määräytyy mitattujen jälkikaiunta-aikojen mukaan. Taustamelun epäsäännöllisyys kuitenkin esti jälkikaiunta-ajan luotettavan mittauksen tarvit-

tavilla taajuuksilla. Standardissa määrättyjen taajuuksien ääriarvot vaativat, suhteellisen korkean taustamelun ja seinän rakennepaksuuden vuoksi, enemmän tehoa kuin äänilähteen kovaäänisillä pystyttiin puhtaasti toistamaan. Lisäksi soittotilassa olleet rummut resonoivat äänilähteen tuottamiin ääniin ja pidensivät jälkikaiunta-aikaa. Lopulta päädyttiin aikaisemmin määriteltyihin rakennekohtaisiin absorptiokerroin -arvoihin, joita on lueteltuna lähteessä 5, sivuilla 288-290. Äänenpainetasomittarin, Cirrus CR:800 C:n, viimeinen kalibrointi on suoritettu 19.4.2009, joten tämä voi osaltaan vaikuttaa heikentävästi tulosten luotettavuuteen.

Myös äänilähteen musiikkikaiuttimien pieni taajuusalue vääristi taajuuksien ääriarvojen äänenpainetasotuloksia. Kaiuttimien kapasiteetti ei riittänyt toistamaan kaikkia taajuuksia puhtaasti.

4.5 Mittaustulosten analysointi

Tutkittavan studion seinän ja lattian saumat oli kitattu lattialistan alta akryyliki-
tillä. Voidaan päätellä, että tällä on yritetty minimoida sivutiesiirtymien osuutta
äänen etenemisessä. Vaikka eristäminen on tehty, nähdään mittaustuloksista,
että tilojen väliset nurkat vuotavat ääntä muuta seinää enemmän. On
myös hyvin todennäköistä että ääni on kulkeutunut sivutiesiirtymänä tilojen
sisäänkäyntejä yhdistävän käytävän kautta.

Taulukko 8. Tarkkaamotilan vasen nurkka

Leq	38,8	dBA
Peak	75,5	dBC

Taulukko 9. Tarkkaamotilan oikea nurkka

Leq	43,5	dBA
Peak	79,8	dBC

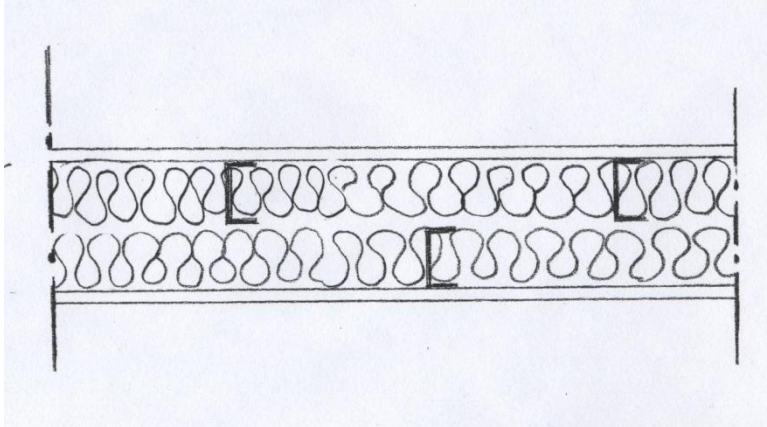
Taulukko 10. Tarkkaamotilan keskellä

Leq	36,2	dBA
Peak	70,8	dBC

Ilman leikkauskuvia seinän eristeet ja rakenne on arvioitava ISO 140 sovelta-
vista mittauksista saatujen tulosten perusteella. Tiedetään että seinä on kevyt
väliseinä ja että sen pinnat ovat maalattua kipsilevyä.

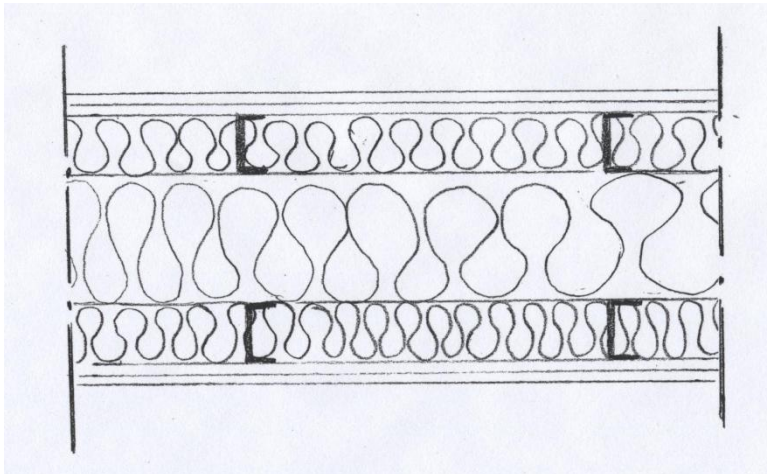
Lähteessä 5 esitellyistä seinärakenteista ISO 140 -mittausten tulosta suoraan
vastasi seinä numero 23, tunnus GT 70/145 101 M 70+70. Seinässä on te-
räksinen erillisrunko, kumpikin omilla ylä- ja alajuoksuilla. Runko ratkaisu
tunnetaan myös nimellä siksak-runko. Runkojen rinnakkaiset ylä- ja alajuok-
sut ovat 5 mm irti toisistaan. Yhden runkotolpan paksuus on 70 mm. Itse run-
kotilan leveys on yhteensä 145 mm ja se sisältää runkotolpat sekä 70+70
mm, eli yhteensä 140 mm mineraalivillaa. Pintamateriaalina on kummallakin
puolella kaksinkertainen kipsilevy. (5,34).

Seinärakenteen ilmaääneneristävyydeksi ($R_{w,lab}$) mainitaan 57 dB.



Kuvio 8. Seinä GT 70/145 101 M 70+70 (3,34).

Mittasuhteiltaan mittauskohdetta lähimpänä on seinä numero 26, tunnus GT 70/300 202 70+70. Rakenteen kokonaispaksuus 350 mm. Seinässä on kaksinkertainen runko, jossa runkojen rinnakkaisten ylä- ja alajuoksujen välinen etäisyys on 110 mm. Yhden runkotolpan paksuus 70 mm ja runkotilan kokonaisleveys 300 mm. Eristeenä seinässä on mineraalivillaa 70+300+70 mm ja pintamateriaalina on kummallakin puolella kaksinkertainen kipsilevyvuoraus. Rakenteen ääneneristävyyksiluvuksi ($R_{w,lab}$) luvataan 69 dB. (5,34).



Kuvio 9. Seinä GT 70/300 202 (3,34).

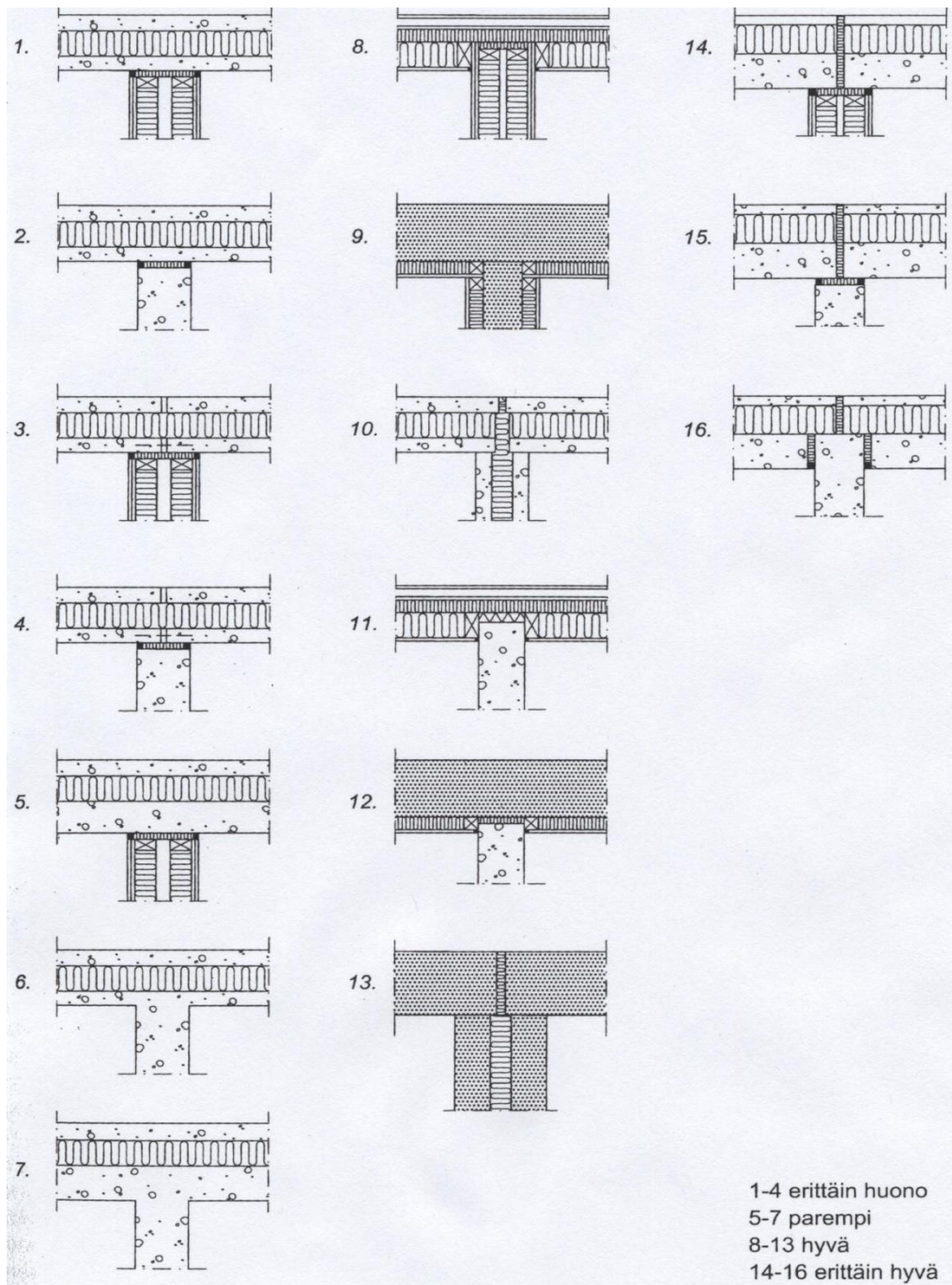
Mittauskohteena olleen seinän paksuus on 400 mm. Seinärakenteella GT 70/300 paksuus on 50 mm vähemmän, 350 mm. Kun näiden kahden seinän ilmaääneneristävyytuloksia verrataan suoraan toisiinsa, näyttää siltä, että ohuempi seinärakenne on ääneneristävyydeltään parempi. Tulos on ohuemman rakenteen eduksi on peräti 12 dB. Tulokset eivät kuitenkaan ole suoraan verrattavissa keskenään. Seinän GT 70/300 ilmaääneneristävyyysluku on

määritetty laboratoriomittauksin, mittauskohteen vastaava arvo kenttämittauksessa. Kuten kohdassa 2.5.3 todettiin, rakenteen hyvä ääneneristävyys korostaa sivutiesiirtymien vaikutusta ja voi heikentää R_w - tulosta jopa 15...20 dB. Tätä sivutiesiirtymän vaikutusta laboratoriomittauksen tulos $R_{w,lab}$ ei sisällä, sillä laboratoriomittauksissa sivutiesiirtymä on niin pieni, että sen vaikutus mittaustulokseen on olematon (6,19). Kun huomioidaan edellä mainitut seikat, sekä mahdolliset mittausvirheet, voidaan päätellä että mitatun seinärakenteen $R_{w,lab}$ - tulos olisi saatua tulosta 15...20 dB parempi. Tällöin seinien $R_{w,lab}$ - arvot olisivat vertailtavissa ja tulokset ovat todellisen rakenteen eduksi.

Sivutiesiirtymän vaikutusta voidaan vähentää säteilyä heikentävällä materiaallilla. Säteilyä vähentävä lisärakenne on yleensä rakenneyhteyden katkaiseva tai peittävä huokoinen materiaalikerros sisäverhouksineen. Hyviä, säteilyä vähentäviä materiaaleja ovat esim. 8...12 mm paksut kipsi-, lastu- tai puukuitulevyt. Levyt tulee kiinnittää seiniin rimoin tai metallirangoin tiiviisti niin, että seinän ja levyn väliin jäävä tila on 30...50mm. Tähän väliin sijoitetaan mineraalivilla. Eristävyys on sitä parempi mitä harvemmassa ja joustavammin levyt on kiinnitetty.(5,13.)

Lähteessä 5 esiteltyt seinän ilmaääneneristävyyssarvot on saavutettu laboratoriomittauksissa, eivätkä rakenteet saavuttaisi annettuja arvoja todellisessa rakennuksessa. Eniten tähän vaikuttaa sivutiesiirtymä, jota laboratorioolosuhteissa suoritettavissa mittausjärjestelyissä voi sanoa olemattomaksi. Lisäksi voidaan pohtia onko todellisessa kohteessa tehty rakennustyö yhtä laadukasta kuin laboratoriossa? Vaikka mittaus toteutettiin kohinaäänien sijasta siniaalto äänistä, saatujen tulosten perusteella mittausta voi sanoa suuntaa-antavaksi, jopa onnistuneeksi.

Kuviossa 7 on piirrettynä sivutiesiirtymää vähentävät rakennerratkaisut.



Kuvio 7. Piirrossarja sivutiesiirtymään vaikuttavista tekijöistä. (5,175)

Toinen mittauksen aikana huomattu seikka oli huonemoodien selvä kuultavuus. Jo pelkkä mittalaitteen liikuttaminen vaikutti äänenpainearvoihin tietyillä taajuuksilla. Resonanssitaajuuksista eroon pääsy edellyttäisi vähintään 10 asteen kulman muutosta, vastakkaisten seinien, sekä lattian ja katon kesken (15,63). Rovalan studiossa ja tarkkaamossa ei tarkoituksen mukaisia kulmanmuutoksia ollut tehty. Huoneresonansseja voidaan vaimentaa myös

huokoisen kerroksen sijoittamisella seisovan aallon kupukohtaan, neljännesaallon päähän seinäpinnasta. Tässä kohdassa ilmamolekyylit värähtelevät voimakkaimmin. Kun kupukohta saadaan eristeen sisään, muuttuu osa ääniaallon energiasta kitkan vaikutuksesta lämmöksi ja heikentää seisovaa aaltoa. (1,54.) Samaa ideaa käytetään alas lasketuissa sisäkattorakenteissa. Huokoisen aineen absorptio on tehokkainta, kun aallonpituus on vähintään nelinkertainen huokoiseen rakennepaksuuteen verrattuna (4,149). Studion käyttötarkoitus määrää vaimennusta vaativat taajuudet.

5 PÄÄTELMÄT

Mittaustuloksiin vaikuttivat eniten äänilähteen sekä mittarin puutteelliset ominaisuudet. Audioalan mittarit ja äänilähteet ovat erittäin arvokkaita, joten mittauksissa käytetyt laitteet ovat mittaria lukuun ottamatta mittaajan omaa laitteistoa. Vaikka osa laitteistosta on korkealaatuista, ne eivät yllä ISO 140 -standardin asettamalle vaatimustasolle. Voidaan kuitenkin sanoa, että näillä laitteilla saatiin suhteellisen hyviä tuloksia ja että tuloksilla halutut asiat saatiin todettua. Standardia mukailevia mittauksia ei voida sanoa standardin mukaisiksi. Todellisilla instrumenteilla mitatut arvot tukevat teoriaa ja ovat yleistettävissä kaikkiin kotistudioihin. Matalien äänien läpitukenavuus ja niiden aiheuttamat resonanssit ja huonemoodit ovat ongelmallisia, tilasta riippumatta. Yksi tarpeellinen tutkimuksen kohde olisi varmasti parhaiten ääntä vaimentavan rakennusmateriaalin määrittäminen. Lisäksi muodon merkitys eri taajuuksien vaimentamisessa olisi aiheellista selvittää.

Kelluvien rakenteiden käyttö ei ole perusteltua kotistudioissa, ellei tila ole yhteydessä toiseen meluisaan tilaan tai häiritsevän melun lähteeseen, kuten maantieliikenne. Poikkeuksen aiheuttaa myös yhteys hiljaisuutta vaativaan tilaan, kuten esim. makuu- tai työhuoneeseen. Akustisesti toimivien materiaalien valinta ja niiden oikeanlainen sijoittelu pienentää rakennuskustannuksia pienessäkin tilassa. Se säästää myös neliöitä. Studiota rakennettaessa työ tulisi aloittaa riittävällä tilan ääneneristämällä. Akustinen suunnittelu on helpompaa, kun tilassa vallitseva äänikenttä on tasainen. Lisäksi on huomioitava, että basso-alueen eristäminen ja vaimentaminen vaatii kookkaita rakenteita ja näiden oikeanlainen asettelu on helpompaa projektin alussa. Kotistudiorakentajalle tärkeimpinä ilmiöinä voidaan pitää huonemoodeja, jotka hankaloittavat erityisesti matalien taajuuksien todenmukaista kuulemista, sekä heijastumista joka vääristää kaikkea ääntä. Nämä ilmiöt huomioimalla suunnittelun voi aloittaa. Myös ilmastoinnin äänettömyys ja äänenjohtamattomuus on tutkimisen arvoinen asia. Perussäännöt ja toteutustavat auttaisivat kaikkia kotistudiorakentajia.

Kotistudion soitto- ja tarkkaamotilat voidaan saada akustisesti hyvin toimiviksi. Edellytyksenä kuitenkin on, että rakentaja tai tilojen suunnittelija on perehtynyt akustiikkaan ja sen eri ilmiöihin.

LÄHTEET

- 1 Borenius, J.–Jauhiainen, T.–Lampio, E.–Nuotio, J.–Pesonen, K.–Pyykkö, I. 1981. Akustiikan perusteet. Helsinki: Insinööritieto Oy
- 2 Laaksonen, J. 2006. Äänityön kivijalka. Ammattiaudiotekniikka, sen teoria, perinteet ja nykytila. Helsinki: Riffi -julkaisut.
- 3 Gyproc Oy 1992. Gyproc äänikirja. Rakennusakustiikan keskeisiä ohjeita. Helsinki: AKT/BBDO Business Communications Oy.
- 4 RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 5 Halme, A.–Halme-Salo, E. 2003. RIL 129. Äänieristyksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 6 Weppling, T.–Niemi, S. 1991. Äänikirja 1991. Helsinki: Oy Länsi-Suomi.
- 7 Paroc Oy Ab 2010. Akustiikka. Esitteet. osoitteessa www.paroc.com. 4.4.2010
- 8 Cirrus Research plc. 2008. User Manual for the CR:800C Series of Sound Level Meters. North Yorkshire. United Kingdom: Cirrus Research plc.
- 9 Technical Committee ISO/TC 43, Acoustics. 1978. ISO 140 / IV. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part IV: Field measurement of airborne sound insulation between rooms. Switzerland: International Organization of Standardization.
- 10 Ruuskanen, P. 2010. Studioala Ky:n toimitusjohtajan haastattelu 10.5.2010.
- 11 Oinonen, M. 2009. Finnvox -studioiden äänittäjän ja miksaajan haastattelu 30.10.2009.
- 12 Nurmela, M. 2010. Tuottaja Mika Nurmelan haastattelu 21.4.2010.
- 13 Mäkelä, M.–Soininen, L.–Tuomola, S.–Öistämö, J. 2002. Tekniikan kaavasto. Tammertekniikka.
- 14 Möller, H. 1998. Studioakustiikka 10:ssä minuutissa. Riffi extra 2/98, 42–45.
- 15 Palokoski, L. 2000. Rakennetaanpa studio – kelpo akustiikka syntyy tekemällä. Riffi 2/00, 62 – 64.