



Ääniympäristön arviointi palvelutalojen yhteisissä tiloissa

Jaakko Huhtala

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2020

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

HUHTALA, JAAKKO:
Ääniympäristön arviointi palvelutalojen yhteisissä tiloissa

Opinnäytetyö 98 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Toukokuu 2020

Opinnäytetyössä tutkitaan sisätilojen ääniympäristöä palvelutaloissa sekä hoivakodeissa. Työ toteutettiin Saint-Gobain Finland Oy:n alaisuudessa toimivalle Ecophonille kevään 2020 aikana. Tarkoituksena opinnäytetyössä oli saada selville, kuinka sisätilojen ääniympäristöstä annetut asetukset toteutuvat tutkimukseen valitussa kohteessa. Palvelutaloissa sekä hoivakodeissa vallitsevasta ääniympäristöstä on valmista tutkimustulosta saatavilla vähäisesti. Alkuperäisen suunnitelman mukaan opinnäytetyö oli tarkoitus toteuttaa mittauksin useammassa eri kohteessa. Vallitsevan koronaepidemian vuoksi tutkimus toteutettiin vain laskennallisesti yhdestä kohteesta.

Opinnäytetyö käsittelee ääntä, akustiikkaa, äänenvaimennusmateriaaleja, ohjeistuksia ja näihin liittyviä käsitteitä sekä kaavoja. Lisäksi työssä arvioidaan hoivakodin jälkikaiunta-aikaa laskennallisesti, saatuja tuloksia sekä näistä tehtäviä johtopäätöksiä.

Jälkikaiunta-ajat kohteessa laskettiin kolmesta eri tilasta: ruokailu- ja oleskelutilasta, käytävästä sekä asukashuoneesta. Ruokailu- ja oleskelutilasta sekä käytävästä saadut tulokset täyttivät ympäristöministeriön asetuksen raja-arvot. Asukashuoneesta saadut tulokset ylittivät raja-arvon. Tutkimuksessa saaduista tuloksista tehtiin johtopäätöksiä sekä parannusehdotuksia.

Laskennallisesti ruokailu- ja oleskelutilan jälkikaiunta-ajaksi saatiin 0,46 sekuntia, käytävän 0,28 sekuntia ja asukashuoneen jälkikaiunta-ajaksi 1,29 sekuntia. Tilan muotojen vaikutuksesta johtuen ruokailu- ja oleskelutilan jälkikaiunta-aika on todellisuudessa laskettua arvoa suurempi. Parannuksina ehdotetaan tilojen seinäpinnoille asennettavaksi akustiikkalevyjä ja asukashuoneeseen lisäksi akustoitavan sisäkaton asennusta.

Asiasanat: akustiikka, ääni, ääniympäristö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

HUHTALA, JAAKKO:

Evaluation of the Sound Environments in the Common Areas of Elderly Care Centers

Bachelor's thesis 98 pages, appendices 8 pages
May 2020

The subject of the thesis was to study indoor sound environments in elderly care centers. The work was commissioned by Ecophon under Saint-Gobain Finland Oy. The purpose of the thesis was to find out how the regulations for the indoor sound environments are implemented in the elderly care center selected for the research. Referring to the original plan, the research was to be carried out by taking measurements in several different locations. Due to the prevailing COVID-19 epidemic, the measurements were taken from one elderly care center.

The thesis deals with sound, acoustics, sound-absorbing materials, regulations and related concepts and formulas. Besides, the thesis evaluates the elderly care center's reverberation time. Reverberation time at the elderly care center was calculated from three different rooms: the dining and living room, the corridor, and the resident room. While the results obtained from the dining and living room 0.46, and the corridor, 0.28, met the limit values of the Ministry of the Environment's regulations, the results obtained from the resident room, 1.29 exceeded the limit value.

The shapes of the rooms affected the calculated values of the reverberation time of the dining and living room. As a result, it is proposed that acoustic panels should be installed on the wall surfaces of the premises and an acoustic ceiling in the resident room.

Key words: acoustics, sound, sound environment

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ÄÄNI.....	8
	2.1 Taajuus.....	8
	2.2 Ilmaaäni.....	8
	2.3 Runko- ja askelääni.....	9
	2.4 Äänenpaine sekä äänenpainetaso	10
	2.5 Taajuuskaistat	11
	2.6 A-painotus ja äänitaso.....	12
	2.7 Keskiäänitaso (ekvivalenttitaso).....	14
	2.8 Enimmäisäänitaso	15
	2.9 Ääniteho ja äänitehotaso.....	15
	2.10 Intensiteetti ja intensiteettitaso.....	17
	2.11 Puheen tuottaminen ja ymmärtäminen	18
3	AKUSTIIKKA.....	21
	3.1 Mitä on akustiikka.....	21
	3.2 Äänenvaimentamisen ja ääneneristämisen ero	23
	3.3 Äänen leviämismuuttuminen.....	23
	3.4 Ääneneristys.....	27
	3.5 Absorptio	29
	3.5.1 Äänen absorptiosuhde.....	29
	3.5.2 Absorptioala.....	30
	3.6 Jälkikaiunta-aika.....	31
	3.6.1 Sabinen kaava.....	32
	3.7 Huonevaimennus sekä leviämismuuttuminen sisätiloissa	34
	3.7.1 Lähikenttä ja kaukokenttä.....	35
	3.8 Puheensirtoindeksi STI.....	36
	3.9 Äänen heijastuminen.....	37
	3.9.1 Tärykaiku	38
	3.10 Tilan muodon merkitys.....	39
	3.11 Pinnan muodon merkitys	40
4	ABSORPTIOMATERIAALIEN LUOKITTELU.....	43
5	ABSORPTIOMATERIAALEJA	45
	5.1 Huokoiset materiaalit.....	45
	5.2 Reikälevyt.....	46
	5.3 Mikroreikäiset levyt.....	47
	5.4 Ohuet reikälevyt	48

5.5	Levyresonaattorit.....	48
6	ÄÄNIYMPÄRISTÖ PALVELUASUMISEN YKSIKÖISSÄ.....	50
6.1	Ääniympäristön vaikutus terveyteen.....	52
6.1.1	Ikäkuulo	53
6.2	Akustiset luokitukset.....	54
6.2.1	Ympäristöministeriön asetus ja ohje rakennuksen ääniympäristöstä	55
6.2.2	Standardi SFS 5907	55
6.2.3	Sisäilmastoluokitus 2018	56
6.2.4	Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon terveydellisistä olosuhteista	58
7	MITTAUS	60
7.1	Haastattelu	60
7.2	Laskenta.....	61
7.3	Mittaaminen.....	61
7.3.1	Mittaustapahtuma	62
7.4	Mallintaminen	63
8	PALVELUTALO.....	65
8.1	Palvelutalojen akustiset vaatimukset.....	65
8.2	Seniorihotelli Ainola.....	67
8.3	Kohteen rakenteet ja materiaalit.....	67
8.3.1	Ecophon Master F	68
8.3.2	Ecophon Focus Ds	68
8.3.3	Ecophon Solo Circle	69
8.3.4	Ecophon Akutex™ FT.....	70
8.4	Ruokailu- ja oleskelutilan jälkikaiunta-ajan laskenta	70
8.5	Käytävän jälkikaiunta-ajan laskenta	74
8.6	Asukashuone.....	76
9	POHDINTA.....	78
9.1	Lasketun kohteen parannusehdotukset	79
9.1.1	Ruokailu- ja oleskelutila	80
9.1.2	Käytävä.....	82
9.1.3	Asukashuone.....	84
9.2	Jatkotoimenpiteet	86
	LÄHTEET	87
	LIITTEET	91
	Liite 1. Eri materiaalien ja rakenteiden absorptiokertoimia.....	91
	Liite 2. Ruokailu- ja oleskelutilan jälkikaiunta-ajan laskenta.....	92

Liite 3. Ruokailu- ja oleskelutilan jälkikaiunta-ajan laskenta muutosten jälkeen	93
Liite 4. Käytävä jälkikaiunta-ajan laskenta	94
Liite 5. Käytävä jälkikaiunta-ajan laskenta muutosten jälkeen	95
Liite 6. Asukashuone jälkikaiunta-ajan laskenta valmiilla pohjalla	96
Liite 7. Asukashuone jälkikaiunta-ajan laskenta.....	97
Liite 8. Asukashuone jälkikaiunta-ajan laskenta muutosten jälkeen	98

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö toimii osana Tampereen ammattikorkeakoulun rakennusmestarin tutkinto-ohjelman kokonaisuutta. Opinnäytetyö käsittelee sisätilojen ääniympäristön arviointia palvelutaloissa sekä hoivakodeissa. Työ toteutettiin Saint-Gobain Finland Oy:n alaisuudessa toimivalle Ecophonille kevään 2020 aikana.

Tarkoituksena oli tutkia mittaamalla sekä laskennallisesti useampien erikunnissa sijaitsevien palvelutalojen sekä hoivakotien ääniympäristöä. Tällä tarkoitetaan sisätiloissa jatkuvasti vaikuttavaa melutasoa, tilan kaikuisuutta sekä puheen selkeyttä. Valmista tutkittua tietoa palvelutalojen ääniympäristöstä on olemassa vähäisesti. Sisätilojen ääniympäristöllä on merkittävä vaikutus palvelutaloissa tai hoivakodeissa asuvien ja siellä työskentelevien henkilöiden terveydelle sekä tilojen viihtyisyydelle.

Tilojen ääniympäristöstä on ympäristöministeriön asetuksella annettu vähimmäisvaatimuksia, joiden tulee täyttyä. Näiden raja-arvojen toteutumista tutkittiin työssä laskennallisesti. Saatuja tuloksia vertailtiin asetuksen raja-arvoihin sekä standardiin. Vertailun pohjalta tehtiin johtopäätöksiä sekä parannusehdotuksia sisätilojen ääniympäristön parantamiseksi. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää palvelutalojen ääniympäristöä kehittäessä. Tuloksien pohjalta voidaan myös arvioida, miten esimerkiksi ikäkuulo on otettu huomioon osana yksiköiden suunnittelua.

Alkuperäiseen opinnäytetyösuunnitelmaan tehtiin muutoksia vallitsevan koronaepidemian vuoksi. Koska paikan päällä tehtävät mittaukset eivät olleet mahdollisia, toteutettiin työ laskennallisesti. Kohteeksi valittiin Espoossa sijaitseva Seniorihotelli Ainola, joka on erikoistunut dementiaa kärsivien vanhempien henkilöiden lyhytaikaisiin hoitojaksoihin.

2 ÄÄNI

Ääni on ilmanpaineessa tapahtuvaa vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden. Ilmassa kappaleen värähtely saa aikaan tihentymiä ja harventumia. Ilmahiukkasten liike saa seuraavat hiukkaset liikkeelle, jolloin ääni etenee pitkitäisäältäöina ympäristöön. Tilaa, jossa ääni-ilmiö syntyy, kutsutaan äänikentäksi. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 35; Siikanen, U. 2014. 136; Puranen, J. 2016. 65)

2.1 Taajuus

Ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään, mikä aiheuttaa kuuloaistimuksen. Värähtelyn ollessa tiheää, koetaan ääni korkeaksi. Pienitaajuiset värähtelyt koetaan vastaavasti matalina ääнинä. Kaavan 1 mukaan äänen taajuus on värähtelyiden määrä jaettuna aikajaksolla, jonka aikana värähtelyt on havaittu. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 35)

$$f = \frac{n}{T} \quad (1)$$

Kaavassa 1 f on taajuus, mikä ilmoitetaan hertseinä. Värähtelyiden määrää kappaleina kuvaa n sekä jakajana toimii ajanjakso T , mikä kerrotaan sekunneissa.

Tällöin taajuus tarkoittaa värähtelyjen määrää sekunnissa. Ihmisen kuulema taajuusalue on noin 20 Hz:stä ja 20kHz:iin. Infraäänit eli alle 20 Hz:n taajuudet aistitaan tärinänä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 35)

2.2 Ilmaääni

Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen. Tämä voi olla kaasumainen kuten ilma, tai kiinteä kuten esimerkiksi kupari. Tyhjiössä ääni ei voi edetä väliaineen puuttumisen johdosta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 35)

Ilmassa etenevästä äänestä käytetään nimitystä ilmaääni. Ilmaääntä aiheuttaa esimerkiksi äänihuulet, soittimet, äänentoistolaitteet sekä erilaiset koneet. Ilmassa äänentaajuudella ei ole merkitystä äänen nopeuteen, mutta kuten kaava 2 osoittaa, sen sijaan lämpötilalla t on vaikutusta äänen nopeuteen c . (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 35)

$$c = 331 + 0,6t \quad (2)$$

Kaavassa 2 c kertoo äänen nopeuden metreinä sekunnissa. Lämpötila t ilmoitetaan celsiusasteina.

Normaalissa huonelämpötilassa äänennopeus ilmassa on noin 340–345 m/s. Yhteys äänen nopeuden, taajuuden ja ilmaäänen pitkätaajuisuuden aallonpituudella λ on kaavan 3 mukainen (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 36)

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

Kaavassa 3 f kuvastaa taajuutta hertseinä. c kertoo äänen nopeuden metreinä sekunnissa ja λ aallon pituuden metreinä

2.3 Runko- ja askelääni

Kuten edellä kappaleessa 2.1 mainittiin väliaineena voi toimia myös kiinteät aineet, kuten rakennusten runkorakenteet. Runkoääntä voi aiheuttaa ilmaääni, rakenteeseen kiinnitetyn laitteen aiheuttama värinä tai rakenteeseen kohdistuva isku. Tällöin ääni etenee rakenteissa erityisesti taivutusaaltoina. Taivutusaallossa rakenteeseen syntyy taipumia äänen etenemissuuntaan kohtisuorassa suunnassa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 36)

Esimerkiksi kävely ja huonekalujen siirtely aiheuttavat runkoääntä, joita kutsutaan askelääniksi. Tällöin rakenteen värähtely ympärillään olevan ilman värähtelemään, mikä voidaan aistia ilmaääninä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 36)

2.4 Äänenpaine sekä äänenpainetaso

Kuten aikaisemmin mainittiin, ääni etenee ilmassa pitkittäisaaltoina, jossa on tihenemiä sekä harvenemia. Tihentämissä on ilmanpaineeseen nähden pieni yli-paine, ja harvenemissa vastaavasti pieni alipaine. Nämä vaihtelut ovat tavalliselle äänelle staattiseen ilmanpaineeseen nähden erittäin pieniä. (Puranen, J. 2016. 65)

Ilmakehän ilmanpaine on noin 100 kPa. Pienin ilmanpaineen muutos, jonka ihminen pystyy aistimaan, on $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$. Paineen ylittäessä 20 Pa, muuttuu ääni-aistimus kipuaistimukseksi. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 36)

Koska kuulokynnyksen ja kipukynnyksen välinen ero on hyvin suuri, mutta äänenpaineiden lukuarvot hyvin pieniä, kuvataan äänen voimakkuutta äänenpainetasona L_p , jonka yksikkö on desibeli dB. Tätä arvoa on helpompi käyttää käytännön laskenta- ja suunnittelutyössä. Kaavassa 4 tarkasteltavaa äänenpainetta p verrataan vertailuäänepaineeksi otettuun kuulokynnykseen p_0 . Kaavassa 4 tarkasteltavat äänenpaineen p ja p_0 ilmoitetaan pascalleina Pa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 36)

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

Määritelmän mukaan pienin havaittavissa oleva äänenpainetaso on 0 dB ja suurin kipukynnyksen rajan äänenpainetaso 120 dB. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 36)

Desibeliasteikon logaritmisuus tulee ottaa huomioon laskiessa laitteiden yhteensä tuottamaa äänenpainetasoa. Kyseessä siis ei ole laitteiden yksittäin tuottamien äänenpainetasojen summa. Mikäli tilassa on kaksi laitetta, jotka molemmat tuottavat saman äänenpainetason, on näiden yhteensä tuottama äänenpainetaso 3 dB suurempi, kuin yksittäisen laitteen tuottama äänenpainetaso. Mikäli näiden kahden samassa tilassa olevan laitteen äänenpainetasojen erotus on yli 10 dB, ei hiljaisemmän laitteen sammuttamisella juurikaan ole merkitystä tilan yleiseen äänenpainetasoon. Tällöin voimakkaampi äänilähde käytännössä määrää tilan äänenpainetason. Kun käytössä on useampi äänilähde lasketaan näiden

yhteensä tuottama äänenpaine $L_{p,tot}$ kaavan 5 mukaisesti. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 37)

$$\begin{aligned} L_{p,tot} &= 10 \log_{10} (10^{L_{p,1}/10} + 10^{L_{p,2}/10} + \dots + 10^{L_{p,n}/10}) \\ &= 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \end{aligned} \quad (5)$$

Kaavassa 5 $L_{p,tot}$ kertoo useamman äänilähteen tuottaman äänenpaineen desibeleinä dB. Jolloin $L_{p,n}$ kertoo yhden laitteen tuottaman äänenpaineen desibeleinä.

2.5 Taajuuskaistat

Äänilähteiden tuottamat äänenpainetasot ovat erilaisia yksittäisillä taajuuksilla. Tästä johtuen akustiikassa äänen taajuusjakauma eli äänispektri jaetaan pienempiin osiin, joita kutsutaan taajuuskaistoihin. Näistä yleisimpiä ovat oktaavikaista sekä terssikaista, joka on kolmanneksen oktaavista. Kaistanleveys eli taajuusalue, jolta mitattu ääni sisältyy taajuuskaistalla ilmoitettuun äänenpainetasoon, on aina suhteellisesti sama osuus keskitaajuudesta. Taajuuskaistojen määrittely johtuu kuuloaistin ominaisuuksista. Oktaavikaistan kaistanleveys hertseinä on noin 70 % keskitaajuudesta. Taajuuden kaksinkertaistuessa äänen korkeus kasvaa oktaavin. Kuuloaistimuksena yhden oktaavin muutos ylöspäin taajuudessa tuntuu yhtä suurelta, vaikka taajuuksien erotus hertseinä kasvaa jokaisen muutoksen yhteydessä. Terssikaistan kaistanleveys on hertseinä noin 23 % keskitaajuudesta. Seuraavan terssikaistan keskitaajuus saadaan kertomalla edellinen arvolla $\sqrt[3]{2}$. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 37–38)

Terssikaistat ovat käytössä mitattaessa ääneneristyksiä rakenteista, tai rakennuksista. Tämä johtuu siitä, että terssikaistat antavat tarkemman kuvan melusta, kuin oktaavikaistoina mitattuna. Oktaavikaistoja vastaavasti käytetään mitattaessa eri materiaalien absorptio-ominaisuuksia sekä erinäisten koneiden ja LVIS-laitteiden kanssa. Käytettävät keskitaajuudet lähtevät 50 Hz:stä tai 100 Hz:stä, päättyen 3150 Hz, tai 5000 Hz. Oktaavikaistan taajuudet lähtevät 63 Hz:stä ja päättyvät 4000 Hz. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 38)

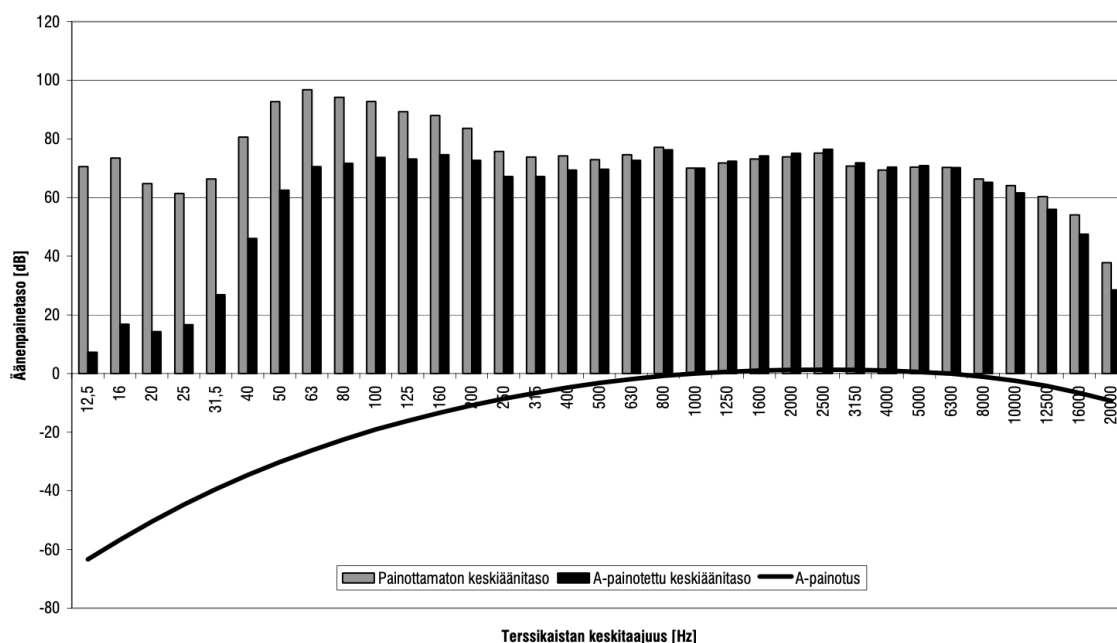
Käyttämällä kaavaa 5 voidaan terssikaistat muuttaa oktaavikaistoiksi käyttämällä oktaavikaistan keskitajuutta vastaavaa terssikaistaa. Terssikaistan äänenpainetaso lasketaan yhteen edellisen ja seuraavan terssikaistan äänenpainetason kanssa. Esimerkiksi haluttaessa selvittää oktaavikaistan 1000 Hz äänenpainetasoa, lasketaan yhteen kaavan 5 mukaan terssikaistojen 800 Hz, 1000 Hz ja 1250 Hz summa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007 38)

2.6 A-painotus ja äänitaso

Ihmisen kuuloaisti on herkimmillään taajuusalueella 2000–5000 Hz. Tämän alueen molemmin puolin kuulon herkkyys lähtee alenemaan. Äänen voimakkuuden ollessa pieni, ei ihminen aisti matalia taajuuksia samalla tavalla, kuin korkeampia taajuuksia. Äänen voimakkuuden kasvaessa tämä ero tasoittuu. Kuuloaistin herkkyys otetaan huomioon äänenpainetasoon L_p A-painotuksella. A-painotus lisää jokaisen äänenpainetason L_p keskitajuuteen. Kuulon herkkyys on myös riippuvainen äänen voimakkuudesta. A-painotuksen lisäksi on myös olemassa B-, C- ja D-painotus millä tämä voidaan ottaa huomioon. Näistä muista painotuksista C-painotus on yleisin. D-painotusta käytetään lähinnä lentomelua mitattaessa. Käytännössä A-painotusta kuitenkin käytetään lähes kaikissa tilanteissa, paitsi ampuma- ja lentomelua mitattaessa ja muita voimakkaita tai impulssimaisia ääniä mitattaessa. Oktaavikaistoille tehtävät korjaukset desibeleinä A- ja C-painotuksen yhteydessä on havainnollistettu taulukossa 1. Kuviossa 1 havainnollistettu kuvaajassa A-painotuksen vaikutus keskiäänitasoon terssikaistoittain. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 39; Siikanen, U. 2014. 143; Puranen, J. 2016. 73)

TAULUKKO 1. A- ja C-painotuksen vaikutus äänenpainetasoon taajuuskaistoilla (Puranen, J. 2016. 73)

Taajuus (Hz)	A-painotus (dB)	C-painotus (dB)
63	-26,2	-0,7
125	-16,1	-0,2
250	-8,6	0,0
500	-3,2	0,0
1000	0,0	0,0
2000	1,2	-0,2
4000	1,0	-0,8
8000	-1,1	-3,0



KUVIO 1. A-painotuksen vaikutus keskiäänitasoon terssikaistoittain (Kylliäinen, M. 2006. 35)

Kaavan 6 mukaan A-painotettu kokonaisäänitaso terssi- ja oktaavikaistojen äänitasoista $L_{A,i}$ taajuuskaistoilla i , saadaan laskemalla taajuuskaistojen logaritminen summa. Tästä käytetään nimitystä äänitaso, L_A

$$L_A = 10 \log_{10} \sum 10^{L_{A,i}/10} \quad (6)$$

Rakentamismääräykset perustuvat sallittujen äänitasojen ilmoittamiseen yksilokuisine arvoina. Melumittauksissa käytetään aina äänitasomittaria, joka ilmoittaa

äänitason koko kuuloalueelta 20-20000 Hz. Äänitasomittarit ovat rakennettu siten, että ne mittaavat äänenpainetta p . Tämä on se paineen vaihtelu, joka syntyy korvan tärykalvolla äänen kohdatessa kalvon. Esimerkiksi ilmastointimelua mitattaessa käytetään vain oktaavikaistoja 63-4000 Hz. Tällöin on varmistuttava siitä, että muilla taajuusalueilla ei merkittävää melua synny, mikä voi johtaa laskettua suurempaan melutasoon. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 39; Siikanen, U. 2014. 144)

2.7 Keskiäänitaso (ekvivalenttitaso)

Osa rakennuksissa toimivista laitteista tuottaa ääntä jatkuvasti, mikä ei juurikaan muutu ajan myötä. Esimerkkinä tästä voidaan pitää ilmanvaihtoa, minkä ääni pysyy jatkuvasti lähes samana. Osa äänilähteistä tuottaa ääntä satunnaisesti toimessaan, esimerkiksi hissi. Se kuinka ihminen äänen kokee, riippuu muun muassa siitä, kuinka kauan ääni kestää. Lyhytkestoinen hetkellinen ääni koetaan yleensä häiritsevämpänä, kuin jatkuvasti taustalla oleva hiljainen kohina. Tästä syystä äänilähteitä koskevassa äänenhallinnassa on otettava huomioon pitkäaikainen keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ sekä hetkellinen enimmäisäänitaso $L_{A,max}$. Kummankin äänitason arvot ilmoitetaan desibeleinä dB. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 40)

Keskiäänitasolla tarkoitetaan jatkuvaa äänitasoa, jonka vakioäänitaso on sama, kuin vaihtelevan äänitason keskiarvo jollakin tietyllä ajanjaksolla T . Hetkellisten äänitasojen huiput korostuvat laskettaessa keskiäänitasoa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 40)

keskiäänitaso riippuu siitä ajasta, minkä äänilähde ääntä tuottaa sekä siitä, kuinka pitkä mittaus aika on. Mitä pidempään mittausta suoritetaan äänilähteen toiminta-aikaan verrattuna, sitä alhaisempi arvo keskiäänitason saadaan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 40)

Keskiäänitason tarkkaan määrittämiseen vaaditaan jatkuvaa mittausta ajan T aikana integroivalla äänitasomittarilla. Integroiva äänitasomittari antaa automaattisesti tuloksen keskiäänitasona. Aina yhtämittainen mittaustapahtuma ei ole mah-

dollista. Tällöin tulee pystyä arvioimaan keskiäänitaso lyhytkestoisemmista mittauksista siten, että aika T tulee täytettyä. Tällöin keskiäänitaso lasketaan kaavan 7 mukaan hetkellisistä äänitasoista $L_{A,i}$ sekä niihin käytetystä ajasta T_i . (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 40)

$$L_{A,eq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \sum_i T_i * 10^{L_{A,i}/10} \right\} \quad (7)$$

Esimerkkinä: aikavälillä 12-18 ensimmäiset 4 tuntia mitattu äänitaso on 45 dB ja loput 2 tuntia 56 dB. Kaavan 8 avulla saadaan laskettua keskiäänitasoksi 52 dB.

$$L_{A,eq,12-18} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{6} (4 * 10^{45/10} + 2 * 10^{56/10}) \right\} = 52 \text{ dB} \quad (8)$$

Laskelmilla voidaan saavuttaa tarkka tulos vain, mikäli mittaukset, jotka on suoritettu äänitason laskelmaa varten, ovat laadukkaita. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 41)

2.8 Enimmäisäänitaso

Enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ on tarkasteluajanjaksona esiintynyt voimakkuudeltaan korkein äänitaso. Mikäli tarkasteluajanjaksoa ei ole erikseen määriteltä käytetään aikapainotusta F eli fast $L_{A,fast,max}$. Tällöin äänitasomittari antaa tulokset keskiäänitasosta 250 ms jaksoissa. Tämän on todettu vastaavan hyvin sitä, kuinka kuuloaisti arvioi lyhytaikaisten äänten voimakkuutta. Tämä nopea aikapainotus on myös yleisin, mitattaessa enimmäisäänitasoa. Yleensä enimmäisäänitaso $L_{A,fast,max}$ lyhennetään perusmuotoon $L_{A,max}$. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 40; Siikanen, U. 2014. 144)

2.9 Ääniteho ja äänitehotaso

Laitteiden melupäästö ympäristöön ilmoitetaan yhä useammin äänitehotasona. tällöin laitteen äänitehotason perusteella voidaan laskea sen äänenpainetaso millä tahansa etäisyydellä äänilähteestä. Äänitehotason perusteella ei kuitenkaan

voida arvioida sitä, miltä ääni kuulostaa erilaisissa olosuhteissa. Tilan tai ympäristön erilaisilla ominaisuuksilla on vaikutusta äänilähteen synnyttämiin äänenpainetasoihin. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 41)

Äänitehotason ja äänenpainetason eroa voidaan verrata lämpötehon ja lämpötilan väliseen suhteeseen. Patterin lämpöteho ilmoittaa patterin tuottaman lämpöenergian sekuntia kohden. Patterin tuottama lämpöteho pysyy vakiona riippumatta siitä, millä menetelmällä lämpöteho mitataan. Patterin tuottama lämpötila jossakin huoneen pisteessä sen sijaan riippuu pisteen etäisyydestä, sijainnista, lämpöhäviöstä sekä virtauksista suhteessa patteriin. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 41)

Äänilähteen äänitehon ja sen tuottaman äänenpainetason välillä on vastaavanlainen riippuvuus, kuin yllä olevan esimerkin kohdalla. Tällöin syyt ovat tosin osittain erilaisia. Vaikka äänilähteen tuottama äänitehotaso pysyy samana, muuttuu sen tuottama äänenpainetaso riippuen mittauspisteen etäisyydestä, äänilähteen suuntauksesta, esteistä sekä tilan absorptiopinta-alasta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 41)

Kaavassa 9 ääniteho W kuvastaa äänilähteen tuottamaa kokonaisäänienergiaa sekuntia kohti. Toisin kuin äänenpaine, ei äänilähteen tuottama ääniteho riipu tilan kaiunnasta tai mittausetäisyydestä. Myös ääniteho muutetaan äänitehotasoksi L_w , kuten äänenpaine muutetaan yleensä äänenpainetasoksi. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (9)$$

Vertailutehona käytetään $W_0 = 10^{-12}$ W. Tämä vertailuteho on myös sama, kuin ihmisen kuulokynnys. Kaavassa 9 äänitehojen W ja W_0 arvot ilmoitetaan wateina W , jolloin äänitehotason tulos L_w saadaan desibeleinä dB. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

Yleensä äänitehotaso ilmoitetaan terssi- tai oktaavikaistoittain. Oktaavikaistoina ilmoittaminen on laitteiden osalta yleisin tapa. Tällöin ilmoitetaan se taso, kuinka paljon laite pitää ääntä toimiessaan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

2.10 Intensiteetti ja intensiteettitaso

Äänen intensiteetti I kuvaa äänitehon jakautumista jollekin pinta-alalle. Kaavassa 10 äänen intensiteetti I saadaan jakamalla ääniteho W pinta-alalla S . Tällöin intensiteetti I saa arvon x W/m^2 . Intensiteettitaso vastaavasti saadaan kaavan 11 avulla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

$$I = \frac{W}{S} \quad (10)$$

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (11)$$

Tässäkin vertailuindeksi I_0 on sama kuin ihmisen kuulokynnys. Jolloin I_0 saa arvon 10^{-12} W/m^2 . Korva aistii äänen voimakkuuden kaksinkertaistuvan, kun äänen intensiteetti kymmenkertaistuu. Korvan kipukynnyksen kohdalla äänen intensiteetti on 1 W/m^2 . (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42; Puranen, J. 2016. 66)

Äänilähteen äänitehotason selvittämiseksi voidaan käyttää vain intensiteettiä. Myös äänilähteiden suuntaavuus selvitetään intensiteettisuhteiden avulla. intensiteetin määrittämiseksi on myös olemassa omia mittalaitteita. Yleisin käytettävistä standardeista intensiteetin selvittämiseksi on ISO 9614-2. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

Selvitettäessä äänilähteen äänitehotasoa voidaan se selvittää mittaamalla äänilähteen keskimääräinen intensiteettitaso L_I . Tällöin äänilähteen ympärille muodostetaan kuvitteellinen pinta. Yksinkertaisimmillaan tämä voi olla kuutio. Keskimääräinen intensiteetti taso saadaan mittaamalla useasta kiinteästä pisteestä, tai liikuttamalla anturia mittauspinnalla riittävän tihein välein. Kaavassa 12 arvo S vastaa kuvitteellisen pinnan pinta-alaa neliömetreinä m^2 . (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

$$L_W = L_I + 10 \log_{10} S \quad (12)$$

Heijastuksettomassa tilassa ulkona äänilähteen läheisyydessä on äänen intensiteettitaso lähes sama kuin äänenpainetaso. Tällöin äänitehotaso saadaan selville

mittaamalla äänenpainetasoa L_p kaavan 13 mukaan. Samaan tilanteeseen on pyrkimys myös silloin, kun rakennetaan kaiuttomia huoneita. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 42)

$$L_W \approx L_p + 10 \log_{10} S - K \quad (13)$$

Normaalissa huonetilassa mittauspinnalle tulee myös ääntä heijastuksina huoneen pinnoilta. Mitä suurempi on etäisyys äänilähteen ja mittauspinnan välillä, sitä suurempi on tilan pinnoilta tulevien äänen heijastusten vaikutus äänenpainetasoon. Heijastukset korottavat äänenpainetasoa, minkä johdosta kaavassa 13 käytetään korjauskerrointa K . Korjauskertoimen K arvo ilmoitetaan desibeleinä dB ja se saadaan laskettua kaavan 14 avulla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 43)

$$K = 10 \log_{10} \left(1 + 4 \frac{S}{A} \right) \quad (14)$$

Korjauskertoimen K kaavassa 14 arvo A kertoo huoneen absorptiopinta-alan. Huoneen absorptiopinta-ala A ilmoitetaan muodossa m^2 -Sab. Absorptiopinta-ala käsitellään myöhemmin kohdassa 3.5.2. Korjauskertoimen ollessa suurempi kuin 6 dB, ei saada luotettavaa äänitehotasoa äänenpainetason avulla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 43)

2.11 Puheen tuottaminen ja ymmärtäminen

Puhuttaessa ilma kulkee ihmisen äänihuulien välistä, mikä aiheuttaa värähtelyä äänihuulissa. Äänihuulien värähtely tuottaa ääntä ja antaa ihmisen puheäänelle sen perussävyn. Mitä enemmän ilmaa kulkee äänihuulten lävitse aika yksikköä kohden, sitä voimakkaampana ääni kuullaan. Ääni vahvistuu suu- ja nenäontelossa. Suun ja kielen asentoa muuttamalla saadaan puheessa aikaan ääniteitä, eli vokaaleja sekä konsonantteja. (Ecophon N 2020)

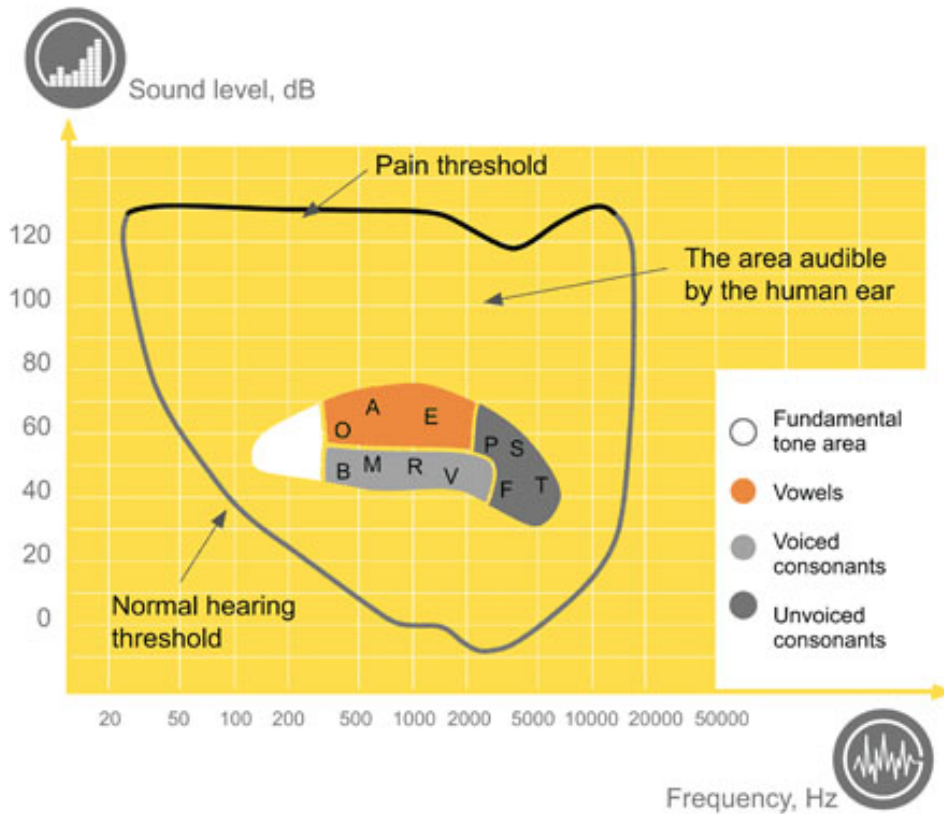
Ääniteet voidaan lajitella kolmeen ryhmään: vokaaleihin, soinnillisiin konsonantteihin sekä soinnittomiin konsonantteihin. Vokaaleja ovat esimerkiksi a, e, i, o, u.

Soinnillisia konsonantteja taasen ovat esimerkiksi b, d, m ja soinnittomia konsonantteja p, s sekä t. Vokaalit ovat voimakkaampia kuin soinnilliset konsonantit. Vokaalien äänentaajuus on myös matalampi kuin konsonanttien. Vokaalit tuovat puheeseen voimakkuutta, mutta ilman konsonantteja puheen ymmärrettävyys on hyvin heikkoa. Vokaalien taajuus alue on noin 250–2000 Hz ja soinnillisten konsonanttien noin 250–4000 Hz. Soinnittomien konsonanttien taajuusalue sijaitsee huomattavasti korkeammalla noin 2000–8000 Hz:ssä. Ylä-äänten voimakkuus heikkenee, mitä korkeampi taajuus on. Puhujan artikuloidessa huolellisesti, ovat konsonanttien taajuudet korkeampia, kuin epäselvästi puhuttaessa. (Äänipää A 2005; Äänipää B 2005; Ecophon N 2020)

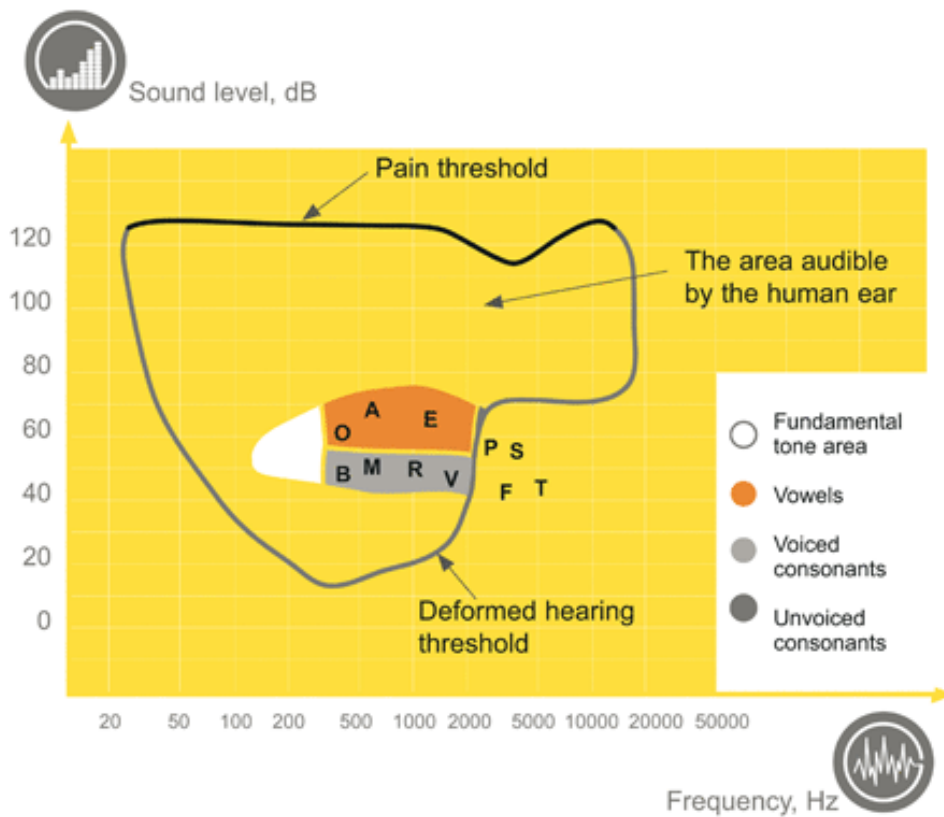
Äänen perustaajuus on naisilla noin 200 Hz ja miehillä noin puolet tästä. Tähän kuitenkin suurimpana vaikuttava tekijänä on äänihuulien koko. Äänihuulien koko on hyvin yksilöllistä, mihin vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa henkilön ikä sekä sukupuoli. (Laukkanen, A-M. & Leino, T. 1999. 41–42)

Jotta puhe voitaisiin kuulla mahdollisimman tarkasti, on tärkeää, että kuulemme selkeästi koko puheen taajuusalueen 125–8000 Hz. Kuulon heiketessä erityisesti korkealla taajuusalueella olevien soinnittomien konsonanttien kuuleminen hankaloituu sekä hiljaisten soinnillisten konsonanttien. (Ecophon N 2020)

Kuvio 2 esittää terveen ihmisen normaalin keskimääräisen kuuloalueen sekä äänteiden sijoittumisen sille. Kuvio 3 vastaavasti esittää tilanteen, missä kuulo on jo heikentynyt.



KUVIO 2. Terveen ihmisen kuuloalue sekä äänteiden sijoittuminen sille (Ecophon N 2020)



KUVIO 3. Heikentynyt kuuloalue sekä äänteiden sijoittuminen sillä (Ecophon N 2020)

3 AKUSTIIKKA

3.1 Mitä on akustiikka

Sanatarkasti akustiikka eli äänioppi on tieteen ja tekniikan haara, joka tutkii ääntä. Akustiikka terminä muodostuu kreikan kielisistä sanoista ”akoustikos” eli kuulemista koskeva sekä ”akouo” eli kuulla. (Siikanen, U. 2014. 135; Ecophon A 2020)

Akustiikka voidaan jakaa kahteen pääryhmään. Toinen näistä pääryhmistä on psykoakustiikka ja toinen fysikaalinen eli tekninen akustiikka. (Siikanen, U. 2014. 135)

Psykoakustiikka tutkii sitä, kuinka ihminen kuulee ääniä ja miten ne häneen vaikuttavat. Tutkimusten tuloksista akustiikkasuunnittelija saa tietoon sen, mihin hänen työssensä tulisi pyrkiä. Fysikaalisen akustiikan luomien menetelmien avulla akustiikkasuunnittelija pystyy suunnittelemaan tiloja mitkä täyttävät määritellyt akustiset arvot. (Siikanen, U. 2014. 135)

Psyko- sekä fysikaalisen akustiikan yhteys toisiinsa ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, eikä suunnittelutyön avuksi ole aina käytettävissä reaalisia arvoja. Akustiikkaan kuuluu myös ilmiöitä, mitkä eivät ole aina havaittavissa kuuloaistin avulla, mutta joilla on kuitenkin yhteys akustiikkaan. Vaikka nykytietämys akustiikasta antaa kattavan tiedon ja pohjan suunnittelutyölle, ei kaikkiin tilanteisiin ole kuitenkaan olemassa valmiita ratkaisuja. Tällöin tulee soveltaa jo tiedettyjä ja hyväksi todettuja ratkaisuja. (Siikanen, U. 2014. 135)

Akustisessa suunnittelussa äänet voidaan jakaa kahteen luokkaan, hyötyääniin sekä haittaääniin. Hyötyääniä ovat esimerkiksi puhe sekä musiikki. merkittävimpänä haittaääninä voidaan pitää melua. (Siikanen, U. 2014. 135)

Akustisen suunnittelun tehtävänä on edistää hyötyäänien kuuluvuutta, leviämistä sekä vaimentaa haittaäänien vaikutusta. Akustinen suunnittelu jaetaan yleensä

rakennuksesta riippumatta neljään eri osa-alueeseen: huoneakustiikkaan, rakennusakustiikkaan, meluntorjuntaan sekä tärinäneristykseen. (Siikanen, U. 2014. 135)

Huoneakustiikka keskittyy äänen käyttäytymiseen tilan sisällä. Näitä ovat äänen heijastumien, leviämisten ja muiden äänten ominaisuuksien hallinta huonetilassa. Tavoitteena on, että ääni toimii tilassa tilan käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla. (Siikanen, U. 2014. 135)

Rakennusakustiikka keskittyy äänen siirtymiseen eri tilojen välillä rakenteita pitkin. Äänen luonteen perusteella puhutaan joko ilma-, runko- tai askeläänieristyksestä. Ääneneristykselle estetään tai vähennetään äänen siirtymistä tilasta toiseen. (Siikanen, U. 2014. 135)

Meluntorjunnalla on tarkoitus estää melun syntyä, vähentää sitä sekä estää sen leviämistä. Meluntorjuntaa on myös, kun pyritään estämään puheäänen leviämistä tilan sisällä huoneakustisin keinoin. (Siikanen, U. 2014. 135)

Tärinäneristys kuuluu läheisesti konedynamiikkaan, mutta myös huoneakustiikkaan sekä runkoääneneristykseen. Kone mikä on kiinnitetty rakennuksen runkoon ja missä on liikkuvia osia aiheuttaa värähtelyä rakennuksen runkorakenteissa, minkä kautta se siirtyy muihin tiloihin. Rungon värähtely aiheuttaa ilmaääntä. (Siikanen, U. 2014. 135–136)

Näiden neljän lähinnä rakentamiseen liittyvän osa-alueen lisäksi voidaan erottaa myös kolme muuta akustiikan osa-aluetta. Näitä ovat sähköakustiikka, ultraäänitekniikka sekä musiikki- toisin sanoen soitinakustiikka. (Siikanen, U. 2014. 136)

Suunnittelutyössä akustiikan lisäksi on myös hallittava tiloissa oleva ja kohteeseen liittyvä tekniikka. Tämä edellyttää yhteistyötä myös muiden suunnittelijoiden kanssa. (Siikanen, U. 2014. 136)

3.2 Äänenvaimentamisen ja ääneneristämisen ero

On hyvin yleistä, että ihmiset sekoittavat keskenään termit äänen vaimentaminen sekä ääneneristäminen. Kun puhutaan äänen vaimentamisesta, eli absorptiosta, pyritään vaimentamaan huoneen sisällä syntyvää ääntä. Absorptioon vaikuttaa lähinnä huoneen pinnat, sekä näiden ääntä absorboivat, eli vaimentavat ominaisuudet. Äänen eristyksestä puhuttaessa, pyritään estämään äänen siirtyminen tilasta toiseen. Äänen eristykseen vaikuttavia tekijöitä ovat rakenteet sekä näiden ääntä eristävä kyky. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 46–47)

Äänen kohdatessa rakenteen, esimerkiksi seinän, osa äänestä kulkeutuu seinärakenteen läpi värähtelynä tilasta toiseen ja osa huonetilaan heijastuksena. Tässä kuitenkin on otettava huomioon seinän rakenne, siten kuinka hyvin se eristää ääntä. Toinen seikka on myös seinän pintamateriaali ja sen kyky absorboida ääntä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 46–47)

3.3 Äänen leviämismuutuminen

Äänitehotason perusteella voidaan heijastuksettomassa ulkotilassa laskea äänilähteen tuottama äänenpainetaso halutulle etäisyydelle. Pistemäisen äänilähteen sijaitessa avaruudessa, missä ääni pääsee etenemään joka suuntaan, jakautuu äänilähteen tuottama ääniteho tasaisesti pallon pinta-alalle. Pinta-ala on sitä suurempi mitä kauempana tarkastelu piste sijaitsee äänilähteestä. Tämän tyyppisen palloaallon äänenpainetaso L_p voidaan laskea kaavan 15 mukaisesti. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 43–44)

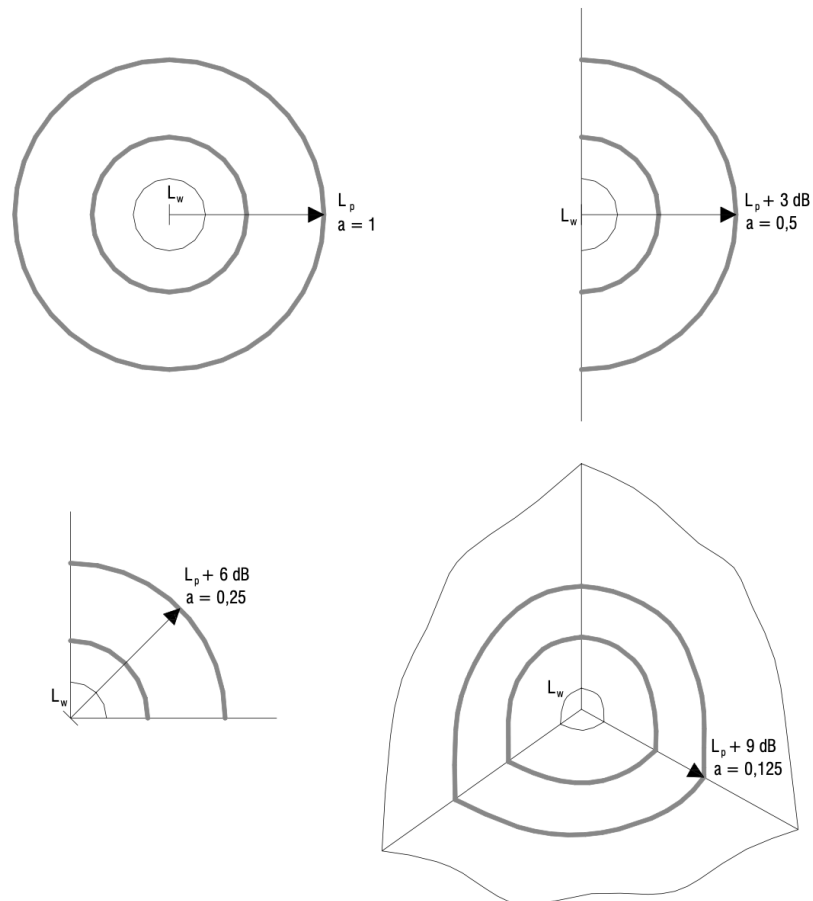
$$L_p = L_w - 10 \log_{10} \left(\frac{\Omega r^2}{k} \right) \quad (15)$$

Kaavassa $15L_w$ on äänilähteen tuottama äänitehotaso desibeleinä. Arvo r kuvaa metreinä tarkasteltavaa säteen suuntaista etäisyyttä äänilähteestä. Ω kuvaa avaruuskulmaa, mihin äänilähde säteilee äänensä. Tyypillisimmät avaruuskulman Ω riippuvuutta kuvaavat arvot alla taulukossa 2. Kaavassa 15 arvo k kuvaa suunta-kerrointa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44)

TAULUKKO 2. Avaruuskulman arvoja (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44)

Äänilähteen sijainti pintoihin nähden	Ω
Kaukana pinnoista	4π
Seinällä, katossa ja maassa	2π
Kulmassa	π
Nurkassa	$\pi/2$

Kuviossa 4 esitetään äänilähteen tuottaman äänenpainetaso riippuvuus avaruuskulmasta. Avaruuskulman puolittuessa kasvaa äänenpainetaso aina 3 dB. Kuviossa esiintyvät säännöt äänenpaineen jakautumisesta pätevät kohtalaisesti vain ulkotiloissa. Huonetiloissa lähimpien pintojen vaikutus äänenpainetasoon riippuu äänen taajuudesta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44)

KUVIO 4. Pinta-alan pienenemisen vaikutus L_p :n arvoon pistemäisen äänilähteen yhteydessä (Kylliäinen, M. 2006. 36)

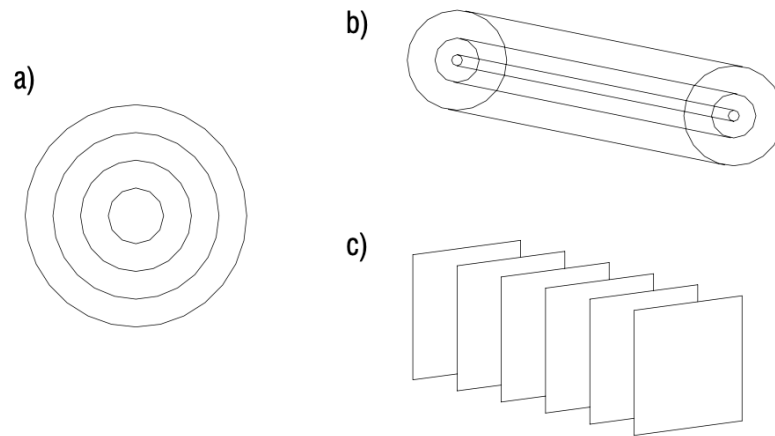
Kaikkia äänilähteitä voidaan jossain määrin pitää suuntaavina. Tällöin äänen intensiteettitaso riippuu sen suunnasta suhteessa äänilähteeseen. Esimerkiksi

kaiuttimen tuottama intensiteetti on suurempi kaiuttimen edessä, kuin se on sen takana. Pienemmillä taajuuksilla suuntaavuus on yleensä pienempää, kuin mitä se on suuremmilla taajuuksilla. Riippuen suunnasta voi intensiteettitasojen erot suurilla taajuuksilla olla yli 10 dB. Suuntaavuuden merkitys korostuu erityisesti silloin, kun tarkastellaan ympäristömelua. Tämä johtuu siitä, koska ulkotiloissa heijastusten määrä on yleensä vähäinen. Huonetiloissa suuntaavuuden merkitys korostuu, kun ollaan lähellä äänilähdettä. Kauempana äänilähteestä huoneen heijastukset tasoittavat suuntaavuutta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44)

suuntakertoimen k arvon ollessa 1, on äänen intensiteetti keskimääräisellä tasolla suuntaan nähden. Arvon ollessa vähemmän kuin 1, on äänen intensiteetti pienempi, kuin keskimääräinen intensiteetti. Arvon ollessa enemmän kuin 1 on äänen intensiteetti keskimääräistä intensiteettiä suurempi. Tällöin suuntakerroin tulisi esittää kaikilla kulmilla suhteessa lähteeseen. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44)

Suuntaavuuden määrittäminen on kuitenkin työlästä. Näitä tietoja harvemmin on saatavilla esimerkiksi rakennusten ilmanvaihtolaitteista. Tyypillisimmin näitä lähteitä käsitellään pistemäisinä lähteinä. Äänen suuntaavuuden mittaaminen edellyttää laboratoriotutkimuksia kaiuttomassa huoneessa. Erityyppisten aukkojen suuntaavuudesta on saatavilla tietoa kirjallisuudesta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44)

Heijastuksettomassa tilassa äänilähteen ollessa pistemäinen ääni vaimenee aina 6 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa äänilähteeseen. Tällöin leviämisvaimennusaste $DL_2 = 6$ dB. Mikäli äänilähde ei ole pistemäinen mittauspisteestä katsottuna, vaimenee ääni hitaammin etäisyyden kasvaessa äänilähteeseen. Pistemäisen äänilähteen lisäksi yleisimpiä äänilähteiden tyyppejä on sylinteri sekä taso. Kuviossa 5 on havainnollistettu piste-, sylinteri- sekä tasoaaltoa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 44–45, 54)



KUVIO 5. a) palloaalto, b) sylinteriaalto, c) tasoaalto (Kylliäinen, M. 2006. 37)

Vilkasliikenteistä tietä voidaan esimerkiksi pitää sylinterin mallisena äänilähteenä. Jokainen auto itsessään tiellä toimii pistemäisenä äänilähteenä mutta kokonaisuudessaan tie toimii sylinterimäisenä äänilähteenä, kun autot ovat jonossa. Sylinteriaallossa äänen vaimeneminen on hitaampaa, kuin mitä se on palloaallossa. Esimerkiksi mikäli tarkastellaan äänen vaimenemista kohtisuoraan tiehen nähden etäisyydellä $r = 8\text{ m}$ ja autojen tuottaman äänitehon L_w ollessa 84 dB, saadaan kaavan 16 mukaan äänenpainetasoksi tarkasteltavassa pisteessä 70 dB. Etäisyyden kasvaessa 16 metrin päähän sylinterimäisestä äänilähteestä, on tarkastelupisteen äänenpainetaso 67 dB. (Kylliäinen, M. 2006. 37; Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 45)

$$L_p = L_w - 10 \log_{10}(\Omega r) = 84 \text{ dB} - 10 \log_{10}(2\pi * 10 \text{ m}) = 66 \text{ dB} \quad (16)$$

Kaavassa 16 avaruuskulman arvoksi on annettu 2π , liikennevirran sijaitessa maanpinnalla ja näin ollen säteillen puolikkaan sylinterin pinnalle. Sylinteriaallossa etäisyyden kaksinkertaistuessa äänenpainetaso laskee 3 dB. Näin $DL_2 = 3 \text{ dB}$. Sylinteriaallossa ääni vaimenee hitaammin kuin pistemäisen äänilähteen tapauksessa. (Kylliäinen, M. 2006. 37; Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 45)

Äänilähteen ollessa tasomainen, kuten teollisuushallin, tai IV-konehuoneen seinä, äänen leviäminen muistuttaa tasoaaltoa. Tällöin lyhyillä etäisyyksillä äänenpaine ei laske lainkaan etäisyyden vaikutuksesta. IV-konehuoneen tapauksessa lyhyt etäisyys tarkoittaa noin 1 metriä. Etäisyyden ollessa noin 1–5 metriä

lähteestä, tasoalto rupeaa vaimenemaan sylinteriaallon tavoin, lopulta vielä kauempana muuttuen palloaaloksi. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 45–46)

Yllä mainitut kaavat toimivat vain silloin, kun tarkasteltava etäisyys on suhteellisen pieni, eikä oteta muita vaikuttavia tekijöitä huomioon. Ulkotiloissa muita vaikuttavia tekijöitä vaimenemiseen on tuulen nopeus sekä ulkoilman lämpötilan muutokset. Näistä johtuen ääni voi kaartua ylös tai alas. Suurin merkitys ilmiöillä on kun tarkastellaan melua suuremmilla etäisyyksillä, esimerkiksi tarkasteltaessa liikennemelun leviämistä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 46)

Kun ääni kohtaa esteen, esimerkiksi talon kulman, siirtyy ääntä myös kulman taakse. Tästä käytetään nimitystä diffraktio. Kun ilmiötä halutaan tarkastella tarkemmin, tarvitaan tähän yleensä ohjelmistoa, millä ilmiö voidaan mallintaa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 46)

3.4 Ääneneristys

Ilmaääneneristävyys ilmoitetaan tehosuhteiden kymmenkertaisena logaritmina. Laskennassa ääneneristävyys voi saada mitä tahansa positiivisia arvoja. Hyvällä ääneneristyksellä tarkoitetaan sitä, että rakenteen läpi tilasta toiseen siirtyy mahdollisimman vähän ääntä. Laskettaessa kaavan 17 mukaan saadaan desibeliarvo mikä määrittää rakenteen ääneneristävyyden desibeleinä. Normaaleilla rakenteilla ääneneristysarvot ovat väliltä 10–100 dB. Myös sillä on merkitystä, mikä on rakenteen kohtaavan äänen taajuus. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 47)

$$R = 10 \log_{10} \frac{W_i}{W_t} \quad (17)$$

Kaavassa 17 R kuvastaa rakenteen ilmaääneneristävyyttä desibeleinä. W_i on äänen äänitehon arvo, mikä rakenteeseen kohdistuu. W_t kuvaa sitä äänen äänitehon arvoa, mikä on kulkeutunut rakenteen toiselle puolelle. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 47)

Taulukosta 3 voidaan havaita suhteen W_i / W_t vaikutus rakenteen ääneneristävyyteen desibeleinä. Kun rakenteen kohtaavan äänitehon ja sen läpi kulkeneen äänitehon suhde pienenee, kasvaa rakenteen ääneneristävyys. Kuten taulukosta 3 voi havaita, edellä mainitun suhteen arvot voivat mennä hyvin pieneksi. Tämä on myös syy siihen, miksi on sovittu, että laskennassa käytetään kymmenker- taista logaritmia. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 47–48)

TAULUKKO 3. Äänitehojen suhteen merkitys ääneneristävyyden kasvuun (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 48)

W_i/W_t	R (dB)
1	0
0,1	10
0,01	20
0,001	30
0,0001	40
0,00001	50
0,000001	60
jne.	jne.

Absorptiosta, eli äänenvaimenemisesta puhuttaessa on äänitehon häviöt huomattavasti pienempiä, kuin äänen eristyksessä. Heijastuksia vaimennettaessa äänitehojen häviöt ovat yleensä alle 10 dB. Ääneneristyksessä äänen vaimeneminen, siirryttäessä rakenteen toiselle puolelle, on yleensä vähintäänkin 10 dB. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 48)

Tyypillisimmillä absorptiomateriaalilla ei saavuteta hyvää ääneneristävyyttä tilojen välillä, koska levyn huokoset päästävät helposti äänen lävitseen. Näitä voivat olla tilanteet, missä tiloja jakamaan käytetään katosta roikkuvia äänenvaimennuslevyjä. Tavoiteltaessa ääneneristystä tilojen välillä, tulee ratkaisujen olla toisen tyyppisiä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 48)

3.5 Absorptio

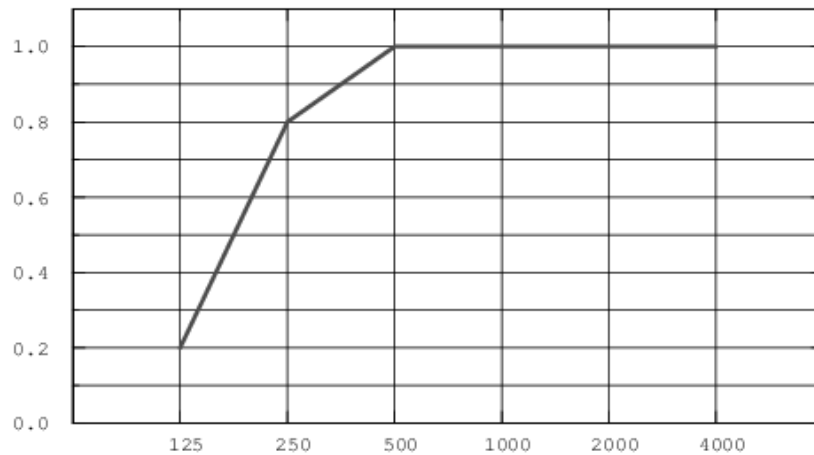
3.5.1 Äänen absorptiosuhde

Laskettaessa sekä arvoa ilmoittaessa äänen absorptiosuhteesta käytetään merkintää α . Absorptiosuhteelle ei ole määritelty erillistä yksikköä. Äänen absorptiosuhde voi saada arvoja 0–1, tämä arvo riippuu hyvin paljon taajuudesta. Mitä suurempi on äänen absorptiosuhteen arvo, sitä vähemmän materiaali heijastaa ääntä takaisin. Arvon merkitys lukuina on esitetty taulukossa 4. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 46–47)

TAULUKKO 4. Absorptiosuhteen kasvaessa, pienenee heijastuvan äänen intensiteettitaso (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 47)

Absorptiosuhde α	Pintaan osuvan ja pinnasta heijastuneen äänen intensiteettitasoerotus desibeleinä dB
0	0,0
0,1	0,5
0,2	1,0
0,3	1,5
0,4	2,2
0,5	3,0
0,6	4,0
0,7	5,2
0,8	7,0
0,9	10,0
0,99	20,0
0,999	30,0
jne.	jne.

Äänen absorptiosuhde materiaaleissa ei pysy vakiona, vaan muuttuu materiaalista riippuen taajuuskaistoittain, kuten kuviosta 6 voidaan havainnoida. Kuvio 6 esittää liima-asenteisen tuotteen Ecophon Master SQ LD äänen absorptiosuhteen oktaavikaistoittain. Kuten kuviosta voidaan havainnoida, on äänen absorptiosuhde matalampi alemmilla taajuuksilla, ollen kuitenkin erinomainen korkeammilla taajuuksilla. Tuotteen äänen absorptiosuhteen arvot on saatu kokeellisesti standardin EN ISO 354 mukaan.



KUVIO 6. Ecophon Master SQ LD absorptiosuhde oktaavikaistoittain (Ecophon H 2020)

Äänen absorptiosuhde voidaan määrittää kaavan 18 mukaisesti.

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} \quad (18)$$

Kaavassa 18 α kuvastaa äänen absorptio suhdetta. W_i on rakenteeseen kohdistuvan äänen ääniteho ja W_r materiaalista heijastuvan äänen ääniteho. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 46)

Liitteessä 1 on ilmoitettu eri materiaalien absorptiosuhteita. Absorptiosuhteista käytetään myös nimitystä absorptiokerroin. Tyypillisesti materiaalien absorptiosuhteet ilmoitetaan oktaavikaistoittain taajuusalueella 125–4000 Hz.

3.5.2 Absorptioala

Absorptioalaa voidaan pitää huoneakustiikan yhtenä merkittävimmistä termeistä. Absorptioala kertoo tilassa olevan absorptiomateriaalin määrän neliömetreinä. Absorptioalan määritelmä tarkoittaa nimenomaan sellaisen materiaalin pinta-alaa, jonka absorptiosuhde on 1. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 49)

Käytännössä jokaisella huoneessa olevalla materiaalilla on jokin absorptiosuhde. Kun tiedetään tilan pinnoilla olevien materiaalien absorptiosuhde ja niiden pinta-

ala, voidaan niiden perusteella laskea tilan absorptioala kullekin oktaavikaistan keskitaajuudelle. Jokaisen pintamateriaalin kohdalla absorptioala lasketaan erikseen. Absorptioala saadaan kertomalla pinnan absorptiosuhde kyseisen pinnan neliömäärällä. Huoneen kokonaisabsorptioala saadaan laskemalla yhteen eri pintamateriaalien absorptioalat kaavan 19 mukaan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 49)

$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (19)$$

Kaavassa 19 A osoittaa koko huoneen absorptioalaa, merkintänä tässä käytetään m^2 -Sab. Tällä saadaan selvennettyä tilannetta, ettei absorptioalaa sekoiteta pinta-alaan. α_n puolestaan kuvastaa yksittäisen tilassa olevana materiaalin absorptiosuhdetta ja S_n tämän yksittäisen materiaalin pinta-ala neliömetreinä m^2 . (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 49)

Absorptioala ei siis ole sama kuin materiaalin pinta-ala. Kaavan 20 esimerkin mukaan, mikäli materiaalin absorptiosuhde on 0,7 ja materiaalin pinta-ala tilassa 5 m^2 , on materiaalin absorptioala tällöin 3,5 m^2 -Sab.

$$A = \alpha S = 0,7 * 5m^2 = 3,5m^2 - Sab \quad (20)$$

3.6 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla kuvataan sitä, kuinka nopeasti ääni vaimenee 60 desibeliä siitä, kun ääni lähde on sammutettu. Mitattaessa, riittävän voimakas äänilähde sammutetaan äkillisesti ja äänenpainetason laskuun kulunut aika mitataan. Mitasta suorittaessa se tehdään standardin ISO 354 mukaan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 50)

Puheen osalta, kun jälkikaiunta-aika on lyhyt, vaimenevat tavut nopeasti. Jälkikaiunta-ajan ollessa pidempi jäävät edellisten sanojen tavut kaikumaan tilaan seuraavien tavujen päälle, mikä tekee puheesta epäselvää. Tilasta riippuen tulee

kuitenkin ottaa myös huomioon, että ääntä ei vaimenneta liikaa. Mikäli absorptio-ala on liian suuri ja äänenvaimennus on liian tehokas, voi ääni vaimentua liikaa taustamelun tasolle. Tällöin puheen kuuleminen hankaloituu. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 50)

Lähtöjään jälkikaiunta-aika T on kehitetty kuvaamaan suurten kaiuntaisten tilojen akustiikka. Tämän tyyppisiä tiloja ovat esimerkiksi opetustilat. Jälkikaiunta-aikaa käytetään myös materiaalien absorptiosuhteen mittaamiseen kaiuntahuonelaboratorioissa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 52)

3.6.1 Sabinen kaava

Sabinen kaavaa voidaan pitää yhtenä eniten käytetyistä kaavoista jälkikaiunta-aikaa laskiessa. Tällä kaavalla voidaan saada laskennallisesti käypä suuntaa antava tulos jälkikaiunta-ajasta, mutta tässäkin on rajoitteensa ja seikkoja, mitä tulee huomioida. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 50)

Sabinen kaava toimii riittävästi suurimmassa osassa huonetiloja. Tyypillisiä tiloja, missä kaavan vaatimukset suhteellisen hyvin täyttyvät on esimerkiksi asuinhuoneistot sekä luokkatilat. Kaava ei sovellu huomattavan suurten tilojen jälkikaiunnan laskemiseen, tai tiloihin mitkä ovat voimakkaasti absorboivia. Kaavan antama tulosta ei myöskään voida pitää täysin luotettavana tilanteessa, missä kaikki absorptiomateriaali on sijoitettu vain yhdelle pinnalle ja muut ovat lähes täysin heijastavia. Tämän tyyppisiä kohteita varten käytetään suunnittelussa muita tarkempia menetelmiä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 50, 52)

Jotta kaavalla voitaisiin saada täysin pätevä tulos, tulisi tilan äänikentän olla diffuusi. Tämä tarkoittaa sitä, että tilan kaikissa pisteissä vaikuttaa sama äänenpaine-tila. Tilan missä vallitsee diffuusi äänikenttä, tulee olla kuutiomainen, kova-pintainen sekä huoneen mittojen olla huomattavasti suuremmat, kuin tarkasteltavan äänen aallonpituuden. Tämän tyyppiset olosuhteet vallitsevat standardin mukaisessa kaiuntahuoneessa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 50)

Sabinen kaava 21 antaa tuloksen T , mikä merkkää jälkikaiunta-aikaa sekunteina s. 0,16 on kerroin mitä kaavassa 21 käytetään. Toisinaan tästä kertoimesta annetaan myös arvo 0,161. Kaavassa 21 V kertoo laskettavan tilan tilavuuden kuutiometreinä m^3 ja A tilan absorptioalan neliömetreinä m^2 -Sab. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 50)

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (21)$$

Sabinen kaavan 21 vaihtoehtona voidaan pitää myös Eyringin kaavaa 22, jolla voidaan saada hieman tarkempi tulos. Tämä kaava 22 on kuitenkin hieman työlämpi käyttää, minkä johdosta se ei yleisesti ole käytössä arvioitaessa tilan jälkikaiunta-aikaa. (Everest, F. & Pohlmann, K. 2015)

$$T = 0,16 \frac{V}{S \ln(1-\alpha)} \quad (22)$$

Kaavassa 22 V tarkoittaa laskettavan tilan tilavuutta kuutiometreinä m^3 , kuten Sabinen kaavassa 21. S vastaa tilan kaikkien pinta-alojen m^2 summaa ja α tilan pintojen keskimääräistä absorptiokerrointa. α saadaan laskettua kaavan 23 mukaan. (Everest, F. & Pohlmann, K. 2015)

$$\alpha = \frac{A}{S} \quad (23)$$

Kaavassa 23 koko tilan absorptioala A jaetaan kokotilan kaikkien pintojen pinta-alan summalla S . Eyringin kaavaa 22 ei kuitenkaan työssä käytetty, minkä vuoksi sitä ei tarkemmin tässä käsitellä. (Everest, F. & Pohlmann, K. 2015)

$$T = 0,16 \frac{V}{A+4mV} \quad (24)$$

Eyringin sekä Sabinen kaavaan 24 voidaan myös lisätä yllä oleva osa $4mV$, mikä ottaa huomioon äänen vaimenemisen ilmassa. kaavassa 24 arvo m on äänen ilman vaimennuskerroin, mikä on riippuvainen mitattavasta taajuuskaistasta, il-

man lämpötilasta sekä suhteellisesta ilmankosteudesta. Arvo V merkkää tilan ti-lavuutta. Osa on kuitenkin merkittävä vain suurissa halleissa sekä korkeimmilla taajuuksilla. Kaavalla 24 ei ole merkitystä normaaleissa huonetiloissa, minkä vuoksi sitä ei tarkemmin tässä työssä käsitellä. (Everest, F. & Pohlmann, K. 2015)

3.7 Huonevaimennus sekä leviämismuunnos sisätiloissa

Kun äänilähde aloittaa toimintansa, havaitsee kuulija ensimmäisenä suoraan lähteestä tulleen äänen. Pian tämän jälkeen havaitaan heijastuksina tilan pintojen kautta tulleet äänet. Tilan pintojen kautta heijastuvat äänet korottavat äänenpainetasoa suoraan tulleen äänen äänenpainetasoon verrattuna. Mikäli kaikki pinnat olisivat täysin heijastavia, eikä ääniteho absorboituisi lainkaan edes ilman vaikutuksesta, äänenpainetaso kasvaisi tällöin tilassa äärettömän suureksi. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 51)

Määriteltäessä äänilähteen tilaan tuottamaa äänenpainetasoa, määritellään äänikenttä yleensä diffuusiksi kappaleessa 3.6.1 tarkoitetulla tavalla. Kaavassa 25 kuvataan äänenpainetason riippuvuutta absorptioalasta. Kaavassa 25 L_p vastaa tuloksena saatavaa äänenpainetasoa desibeleinä. L_w vastaavasti kuvaa äänilähteen äänitehotasoa desibeleinä. Jälkimmäistä termiä $10\log_{10}(A/4)$ kutsutaan huonevaimennukseksi. Tilan absorptioalan ollessa enemmän kuin 4 m^2 - S_{ab} , on huonevaimennus positiivinen. Mikäli lähes kaikki pinnat tilassa ovat heijastavia, on huonevaimennus negatiivinen. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 52)

$$L_p = L_w - 10\log_{10}\left(\frac{A}{4}\right) \quad (25)$$

Kaava 25 ottaa huomioon vain tilan pinnoilta heijastuneen äänen. Oltaessa äänilähteen lähellä, myös suoraan äänilähteestä saapuvalla äänellä on vaikutusta äänenpainetasoon. Yleensä tämän vaikutus on kuitenkin suhteellisen pieni, minkä vuoksi sitä ei yleensä oteta huomioon. Mikäli tämä kuitenkin tulee huomioida, käytetään näissä tilanteissa kaavaa 26. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 52)

$$L_p = L_w + 10\log_{10}\left(\frac{k}{\Omega r^2} + \frac{4}{A}\right) \quad (26)$$

Kaavassa 26 L_w on äänilähteen äänitehotaso desibeleinä. k kuvaa äänilähteen suuntakerrointa tarkasteltavasta suunnasta, r etäisyyttä äänilähteestä metreinä, A absorptioalaa m^2 - S_{ab} ja Ω avaruuskulmaa taulukon 2 mukaisesti. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 52)

Suurissa sekä monimutkaisissa tiloissa on äänen vaimeneminen voimakkaampaa, kuin mitä yllä olevan kaavan 26 mukaan saadaan tulokseksi. Näissä koh-teissa tulisi käyttää laskennassa muita menetelmiä tulosten saamiseksi, kuten akustista mallintamista. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 53)

Piirrettäessä kaaviota taulukoiduista leviämisvaimenemisen tuloksista, voidaan todeta, että viiva ei ole koskaan täysin suora. Saadusta käyrästä voidaan kuitenkin määritellä kaksi etäisyysaluetta. Nämä etäisyys alueet ovat lähikenttä sekä kaukokenttä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 53)

3.7.1 Lähikenttä ja kaukokenttä

Lähikentässä äänen leviämisvaimeneminen voi olla korkeintaan sama, kuin mitä se on heijastuksettomassa tilassa, esimerkiksi ulkona. Yleensä tämä vaimeneminen on kuitenkin pienempi johtuen esimerkiksi lattian kautta saapuvista heijastuksista. Lähikenttä ulottuu yleensä noin 2–5 metrin päähän äänilähteestä, tai lähimpään esteeseen. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 53)

Kaukokenttää on lähikentän ulkopuolinen alue. Kaukokentässä voidaan laskea äänen vaimenemiselle leviämisvaimennusaste DL_2 , koska ääni vaimenee lähes samalla jyrkkyydellä etäisyyden kasvaessa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 53)

Leviämisvaiennusasteella tarkoitetaan sitä desibeliarvoa, kuinka paljon äänitaso laskee etäisyyden kaksinkertaistuessa. Arvot laskennalle saadaan mitatusta leviämisvaimennuskäyrästä. Kaavassa 27 esitetään periaate leviämisvaimennusasteen laskennalle. Tarkkalaskenta leviämisvaimennusasteelle toteutetaan standardin ISO 14257 mukaan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 54)

$$DL_2 = L_{p,r_2} - L_{p,r_1} \quad (27)$$

Kaavassa 27 DL_2 on leviämismuunnos aste desibeleinä. L_{p,r_1} on äänenpaineen mitattu arvo desibeleinä etäisyyspisteessä r_1 . Vastaavasti L_{p,r_2} on mitattu äänenpaine arvo desibeleinä etäisyyspisteessä r_2 . Etäisyyspisteen r_2 arvon määrääminen on esitetty kaavassa 28. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 54)

$$r_2 = r_1 * 2 \quad (28)$$

3.8 Puheensiirtoindeksi STI

Puheen erottuvuus ja sen kautta ymmärrettävyys riippuu taustamelutason sekä puheen äänitason suhteesta. Vaikuttavia tekijöitä on myös jälkikaiunta-aika, etäisyys puhujan ja kuulijan välillä sekä puhujan suunnasta kuulijaan nähden. Puheen erottuvuus voidaan fysikaalisesti mitata ja ilmoittaa tulos käyttäen puheensiirtoindeksiä, STI. STI on lyhenne, joka tulee sanoista Speech Transmission Index. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 55)

Puheensiirtoindeksi esittää karkeasti puheen laatua ja sitä, kuinka hyvin puheen tavut ovat eroteltavissa. Puheensiirtoindeksin arvo voi vaihdella välillä 0,00–1,00. Mitä korkeampi luku on, sitä paremmin puheesta saa selvää. Arvo 1,00 kertoo täydellisestä tavujen erottuvuudesta. Tämä on lähinnä mahdollista aivan puhujan vieressä. Arvo 0,00 puolestaan kertoo sen, että mikään tavu ei ole enää eroteltavissa puheesta, jolloin siitä ei saa selvää. Puheensiirtoindeksin STI mittaus tehdään standardin IES 20268-16 mukaan. Mittaus toteutetaan oktaavikaistoilla 125–8000 Hz. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 55–56)

Tiloissa, kuten auditorioissa ja luokkahuoneissa, on hyvällä puheen erottuvuudella suuri merkitys. Näissä tiloissa pyritään puheensiirtoindeksin suhteen mahdollisimman korkeaan arvoon. Täydellinen tavujen erottuvuus vallitsee silloin kun puheensiirtoindeksin arvon on enemmän kuin 0,75. Lauseet erottuvat jo täydellisesti STI-arvon ollessa 0,60. Vastaavasti tiloissa, esimerkiksi avotoimistoissa, pyritään mahdollisimman matalaan arvoon, jolloin puheen häiritsevä vaikutus työn-

tekoon vähenee. Mahdollisimman matala arvo myös auttaa käytäessä arkaluontoisia keskusteluja, jolloin kauempana oleva henkilö ei saa enää keskustelusta selvää. Alhaisesta STI-arvosta käytetään myös nimitystä Speech Privacy. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 56; Siikanen, U. 2014. 184)

Mikäli tilassa käydään arkaluontoisia keskusteluja, esimerkiksi lääkärin vastaanotto, tulee tilojen välinen STI-arvon olla 0,00. Tämän toteutumiseksi vaaditaan rakenteilta myös hyvää ääneneristävyttä. Myös tilojen taustamelutasolla on merkitystä. Vaikka seinissä olisi hyvä ääneneristävyys, voi puheen silti kuulla viereisessä tilassa, mikäli tämän tilan taustamelutaso on hyvin alhainen. Esimerkiksi huoneen ja käytävän välillä voidaan edesauttaa ongelman ratkaisussa hyvän äänieristyksen lisäksi pitämällä käytävän taustamelutaso selkeästi korkeammalla, kuin mitä se on huonetilassa. Myös huoneiden sijoittelua miettimällä voidaan ratkaista tämä ongelma. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 56)

3.9 Äänen heijastuminen

Suljetussa tilassa suurin osa kuullusta äänestä on tilan pintojen kautta heijastuneita ääniaaltoja. Suuressa tilassa noin sekunnin kuluttua äänilähteen sammuttamisesta, kuulija aistii ääntä, joka on heijastunut jo noin 20 kertaa. Kulma, jolla ääniaalto saapuu pintaan, on sama kuin kulma, jolla ääniaalto heijastuu pinnasta pois päin. Pinnasta heijastuva ääniaalto ei ole yhtä voimakas, kuin pintaan kohdistuneen ääniaallon voimakkuus. Tämä johtuu siitä, että osa äänienergiasta absorboituu heijastavaan materiaaliin, myös pinnan epätasaisuudella on merkitystä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 159)

Absorptiosta sekä heijastuneen äänen kulkeman pidemmän matkan johdosta, heijastuneen äänen äänenpainetaso on hiljaisempi, kuin suoran äänen. Kuulijan ollessa kauempana äänilähteestä, on suurin osa havaittavasta äänienergiasta heijastumia. Tämä johtuu heijastumien suuresta määrästä. Tilanne on kuitenkin päinvastainen, kun kuulija on aivan äänilähteen välittömässä läheisyydessä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

Heijastusten määrän kasvaessa, on mittauksin yksittäisten heijastusten erotteleminen toisistaan mahdotonta. Tällöin tilassa vallitsee diffuusi äänikenttä, missä äänenpainetaso tilassa laskee jälkikaiunta-ajan määrittämällä nopeudella. Suurissa tiloissa diffuusi äänikenttä saavutetaan noin 100 ms jälkeen. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

Ääni, jonka kuulija aistii, voidaan jakaa kolmeen osaan. Ensimmäisenä kuulija kuulee äänen, joka tulee suoraan lähteestä. Toisena osana saapuvat ensimmäiset heijastukset. Nämä aikaiset heijastukset tukevat suoran äänen selkeyttä ja ymmärrettävyyttä. Kolmantena havaitaan vaimeneva kaiuntaääni. Kaiuntaääni heikentää alkuperäisen äänen selkeyttä sekä ymmärrettävyyttä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

Mitä kauempana äänilähteestä ollaan, sitä pienempi on suoran äänen äänenpainetaso. Tähän vaikuttaa äänen vaimeneminen ilmassa. Tällöin on suurta hyötyä varhaisista heijastuksista, mitkä kuulo aistii alle 50ms suoran äänen aistimuksesta. Suoran äänen ja varhaiset heijastukset kuuloaisti tulkitsee samaksi ääneksi. Myöhäisemmät heijastukset kuuloaisti tulkitsee eri ääneksi. 50 ms:n kuluessa ääni kulkee normaalissa huonelämpötilassa noin 17m. Tästä johtuen suoran äänen ja suhteellisen voimakkaiden varhaisten heijastusten kulkeman matkan pituusero ei saisi olla enempää kuin 17m. Tämän vuoksi pitkä ja kapea tila on kuulemisen kannalta parempi vaihtoehto, kuin lyhyt ja leveä. Äänen heijastuksia voidaan ohjata erinäisillä heijastavilla rakenteilla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

3.9.1 Tärykaiku

Tärykaiku syntyy yleensä kahden samansuuntaisen vastakkaisen pinnan väliin, tilan muiden pintojen ollessa hyvin absorboivia. Tällöin ääni heijastuu useita kertoja peräkkäin näiden pintojen välillä ja kuullaan useaan kertaan eri äänenä. Tärykaiulle on ominaista se, että se on selkeästi havaittavissa tilan muusta äänimaailmasta. Pienemmissä huonetiloissa tärykaikua voidaan testata esimerkiksi läimäyttämällä käsiä voimakkaasti yhteen. Tällöin mahdollinen tärykaiku kuuluu useina nopeina vaimenevina kaikuina. Tietyissä tilanteissa tärykaiku voi olla

myös kiertävä, jolloin heijastuminen tapahtuu useamman eri pinnan kautta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

Tärykaikua voidaan ehkäistä tekemällä pinnoista keskenään erisuuntaiset, tai lisäämällä toisen pinnan absorptiota voimakkaasti. Vaikka tilan pinnat olisivat hyvin absorboivia, voi tärykaikua silti syntyä erityisesti matalilla taajuuksilla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

3.10 Tilan muodon merkitys

Tilan muodolla on huomattava merkitys siihen, minkä tyyppinen ääniympäristö tilassa saadaan aikaiseksi esimerkiksi puheen ymmärrettävyyden kannalta. Tiloissa missä esiinnyttään ja missä puheen selkeydellä kuulijaan nähden on suuri merkitys, voidaan suoraan kulkeneen äänen sekä ensimmäisten heijastusten välistä aikaeroa pitää yhtenä merkittävistä kriteereistä. Parhaina pidetyissä esiintymispaikoissa on tämä ero noin 15 ms. Tämä ero on mahdollista lähinnä suorakaiteen muotoisissa tiloissa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

Suorakaiteen muotoisissa tiloissa heijastuksia saadaan sivuseiniltä tasaisesti kauttaaltaan koko tilassa. Tilan muodon muistuttaessa viuhkaa, hajautuvat ääniaallot tällöin enemmän. Tämän johdosta tilaan voi jäädä kohtia, missä heijastusten määrä on vähäinen. Esiintymistiloissa pyöreitä sekä kaarevia muotoja on syytä välttää, koska nämä voivat johtaa voimakkaisiin äänten keskittymiin. Tästä käytetään myös nimitystä polttopisteilmiö. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 160)

Polttopisteilmiössä pyöreiden ja kaarevien pintojen johdosta äänen heijastukset jakautuvat tilaan hyvin epätasaisesti keskittyen tietyille niin kutsutuille polttopistealueille. Kuuluvuus huonetilassa on tällöin hyvin epätasaista. Ilmiölle on myös ominaista, että tämä polttopiste muuttuu äänilähteen sijainnin muuttuessa. Mikäli tähän liittyy vielä äänen pitkä kulkumatka, on näiden yhteisvaikutus erittäin haitallinen. Polttopisteilmiötä voi ehkäistä parhaiten välttämällä kaarevia tai pyöreitä

muotoja, käyttämällä pinnoilla voimakkaasti absorboivia materiaaleja, tai käyttämällä semmoista kaarevuussädettä, että polttopiste ei muodostu kuuntelualueelle. (Siikanen, U. 2014. 179)

Vaakaleikkauksen lisäksi tiloissa on myös otettava huomioon sen pystysuuntainen leikkaus. Myös katon kaltevuudella, sekä sen suunnalla on vaikutusta tilan akustiikkaan. Vaikka suorakaiteen muotoista tilaa voidaan pitää akustiikan kannalta hyvänä vaihtoehtona, se ei välttämättä ole paras mahdollinen ratkaisu suurissa tiloissa, esimerkiksi auditorioissa. Tällöin puhujan ja viimeisen kuulijan välinen etäisyys kasvaa jo huomattavan suureksi. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 161)

Tilojen suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon tilan käyttötarkoitus ja lähtökohtaisesti suunnitella tilan vaatima akustointi pääsääntöisen käyttötavan mukaan. Liialliset kompromissit voivat johtaa tilanteisiin, että tila on sopimaton kaikkiin käyttötarkoituksiin. Tällä on merkitystä erityisesti monikäyttösaleissa. Saleissa missä puhutaan paljon, on merkitystä myös tilan tilavuudella suhteessa ihmismäärään. Pienissä saleissa voidaan sopivana tilavuutena pitää 4–6 m³/henkilö ja suurissa saleissa 5–7 m³/henkilö. Suuremmissa saleissa myös tilan muotoilulla on vaikutusta tilan akustiikkaan. (Siikanen, U. 2014. 183–184)

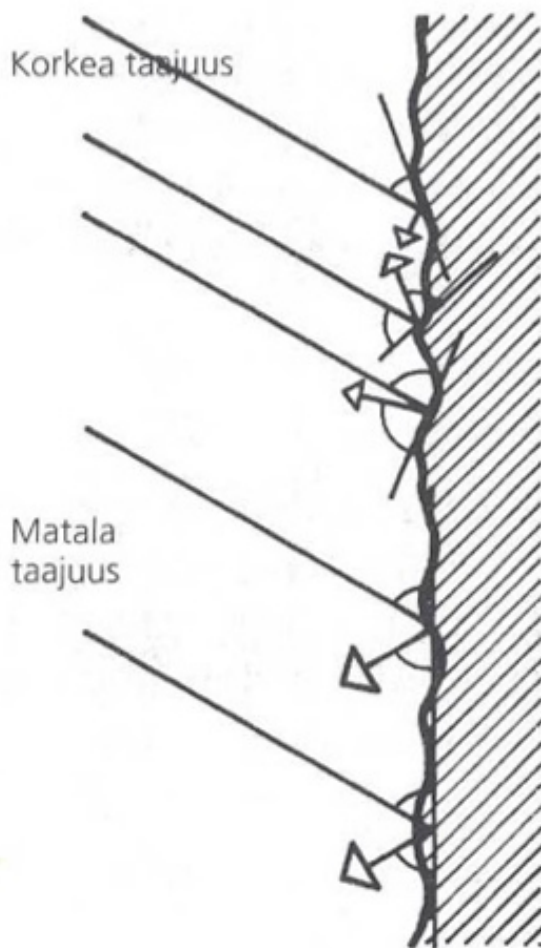
3.11 Pinnan muodon merkitys

Äänen heijastuminen pinnasta vaihtelee äänen taajuuden mukaan. Mitä pienempi on äänen taajuus, sitä suurempi tulee heijastavan pinnan olla, jotta ääni siitä heijastuisi suoraan aiemmin esitetyn heijastuskuvion mukaan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 162)

Pinnan epätasaisuudella on myös vaikutusta ääniaaltojen heijastumiseen pinnan muodon lisäksi. Suuri sileä pinta heijastaa ääntä samalla tavalla kaikilla taajuuksilla, kuten peili heijastaa valoa. Pinta rikkomalla ja tehdessä siitä epätasainen hajottaa se ääniaaltojen heijastuksia laajalla taajuusalueella, kun sen kuviointi on epäsäännöllinen. Tällä tavalla voidaan ehkäistä haitallista peiliheijastusta lisää-

mättä absorboivaa materiaalia. Ääniaaltojen hajottaminen laskee myös jälkikaiunta-aikaa, mutta ei samassa määrin, kuin mitä se laskisi absorboivia materiaaleja käyttämällä. Tilassa olevat kalusteet hajottavat ääntä myös vastaavalla tavalla, minkä vuoksi nämä on myös hyvä ottaa huomioon jälkikaiunta-aikaa laskeessa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 162)

Pienet pintojen epätasaisuudet eivät kuitenkaan vaikuta matalilla taajuuksilla samalla tavalla kuin korkeammilla taajuuksilla. Tämä johtuu yksinomaan matalien taajuuksien suuremmasta aallonpituudesta. Jotta matalia taajuuksia voitaisiin rikkoa samalla tavalla, tulee mittasuhteet pinnan epätasaisuuden suhteen olla huomattavasti suuremmat. Pinnan epätasaisuuden merkitys ääniaaltojen heijastumisiin korkeilla sekä matalilla taajuuksilla on esitetty kuviossa 7. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 162; Siikanen, U. 2014. 172)



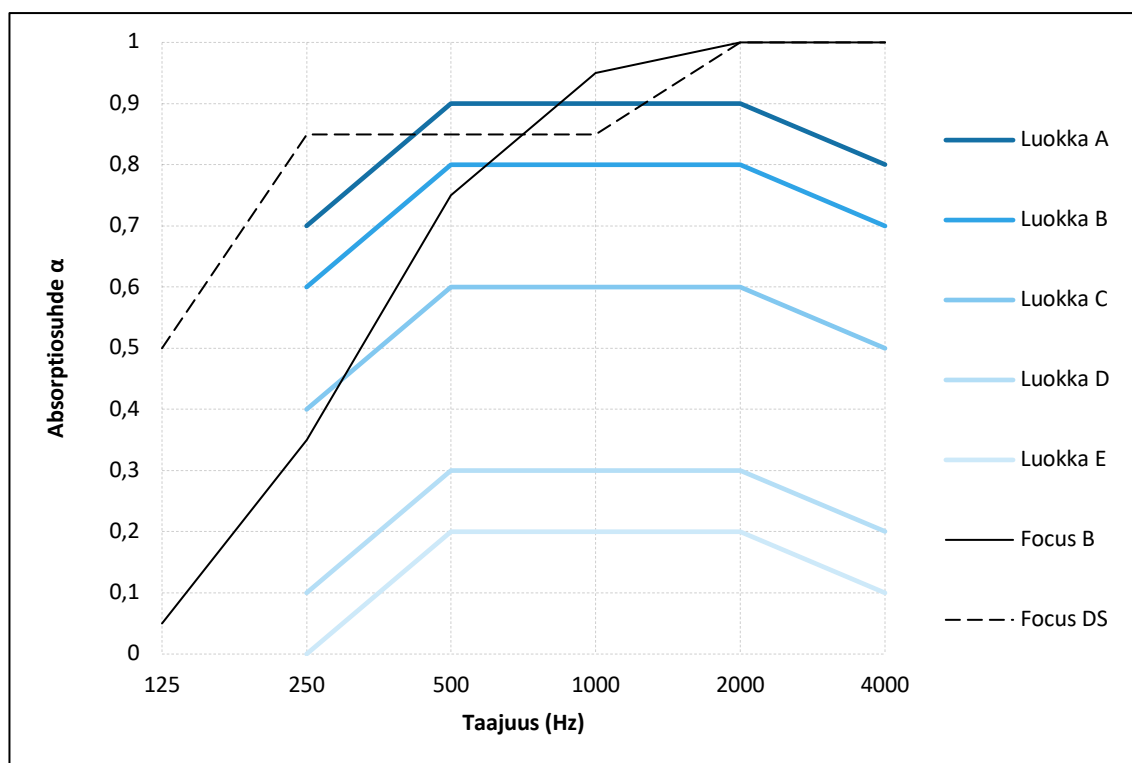
KUVIO 7. Pinnan epätasaisuuden merkitys äänen heijastumiseen taajuuskaisittain (Siikanen, U. 2014. 172)

Pinnan rikkomista ja absorboivia materiaaleja voidaan myös yhdistellä, millä saadaan parempi lopputulos. Asentamalla ensin absorboiva materiaali esimerkiksi mineraalivilla seinälle ja tämän päälle puurimoitus avoraoin, saadaan ääniaaltojen heijastuksia rikottua, sekä myös absorboitua samanaikaisesti.

Kuten yllä jo mainittiin, on kovera pinta äänen heijastumien kannalta haitallinen silloin, kun se sijaitsee lähellä äänilähdettä. Lähellä äänilähdettä kovera pinta keskittää ääniä. Sijaitessaan kaukana äänilähteestä, sekä kuulijasta kovera pinta toimii myös ääntä hajottavana pintana. Kupera pinta sen sijaan toimii kaikissa tilanteissa ääntä hajottavana pintana. Joissakin tapauksissa näitä voidaan kuitenkin yhdistellä, kun halutaan hajottaa ääniaaltoja. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 162)

4 ABSORPTIOMATERIAALIEN LUOKITTELU

Tyypillisesti absorptiomateriaalien absorptiosuhde ilmoitetaan oktaavikaistoittain taajuusvälillä 125–4000 Hz. Absorptiomateriaalit voidaan luokitella standardin EN ISO 11654 mukaan eri luokkiin. Standardista löytyy viisi luokkaa A, B, C, D ja E. Luokittelemalla tuotteet helpotetaan materiaalin valintaa. Luokan A tuotteilla on paras absorptiosuhde, kun taas vastaavasti luokan E tuotteilla se on huonoin. Kuviossa 8 on esitetty absorptioluokkien vertailukäyrät. Tuotteita joiden absorptiosuhteiden käyrä ei täytä luokan E vaatimuksia, ei luokitella ollenkaan. (Standardi EN ISO 11654:1997. 1997. 8; Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 156–157)



KUVIO 8. Absorptioluokat sekä vertailevien tuotteiden sijoittuminen sille (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 157; Ecophon F 2020; Ecophon G 2020)

Luokiteltavan tuotteen absorptiosuhteiden taajuuskaistoittain tulee olla vähintään yhtä paljon, kuin luokan raja-arvo. Haittapoikkeamia voi olla raja-arvosta alaspäin, mutta näiden poikkeamien summa ei saa koko vertailutaajuus alueella 250–4000 Hz ylittää 0,1. Mikäli haittapoikkeamien summa taajuusalueella vertailuluokassa on yli 0,1, saa tuote alemman luokan luokituksen. Alle 250 Hz taajuuksilla

ei ole merkitystä luokitteluun. Mikäli näin matalilla taajuuksilla on merkitystä, voidaan pitää järkevämpänä tulkita tuotteiden, tai rakenteiden absorptiosuhteita yksittäin vain tämän taajuuden osalta. (Standardi EN ISO 11654:1997. 1997. 7; Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 156–157)

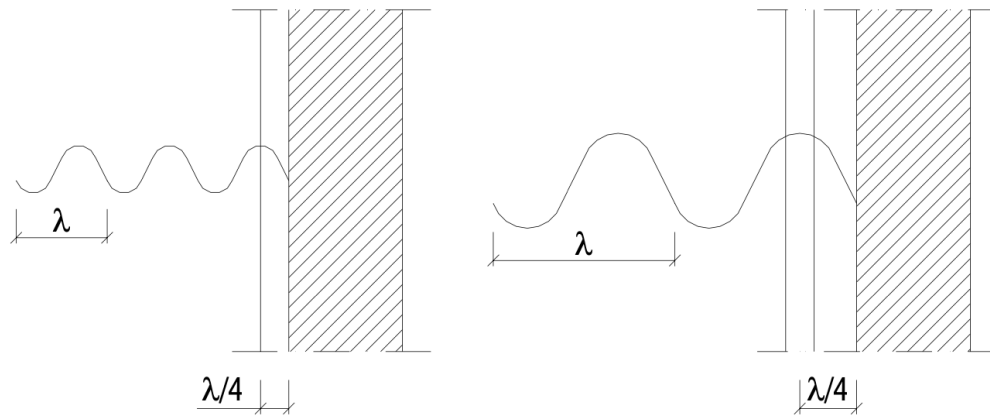
Yllä olevaan kuvioon 8 on myös vertailun vuoksi lisätty kaksi Ecophonin valmistamaa, saman tuoteperheen tuotetta vertailuun. Tuotteet ovat vahvuudeltaan ja ulkonäöltään samanlaiset. Ero tuotteiden välillä on asennustapa. Focus B on liima-asenteinen, kun Focus Ds asennetaan piilolistajärjestelmään ja tämän johdosta holvin ja levyn väliin jää ilmatila. Focus B kuuluu luokkaan C. Poikkeamien summa luokan B raja-arvosta on yhteensä 0,3, jolloin tuote siirtyy alempaan luokkaan. Haitalliset poikkeamat luokan C raja-arvosta taajuusalueella 250 Hz on kuitenkin vain 0,05, joten luokan C raja-arvot täyttyvät. Focus Ds taas kuuluu luokkaan A. Haitallisia poikkeamia raja-arvoon esiintyy taajuuskaistoilla 500 ja 1000 Hz, mutta poikkeamien summa ei kuitenkaan ole enempää kuin 0,1, joten tuote saa Absorptioluokan A mukaisen luokituksen. (Ecophon F 2020; Ecophon G 2020)

5 ABSORPTIOMATERIAALEJA

5.1 Huokoiset materiaalit

Huokoisten materiaalien absorptiokyky perustuu niiden rakenteeseen. Ahtaat kuituvälit aiheuttavat ääniaallolle kitkaa ja muuttavat äänienergian lämmöksi. Tämän tyyppisiin huokoisiin materiaaleihin luetaan mineraalivillat, paksut tekstiilit, sekä erityyppiset vaimentavat ruiskutteet. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 149)

Ääniaallon hiukkasten nopeus on pienimmillään rakenteen pinnalla, jossa on ääniaallon nollakohta. Suurimmillaan hiukkasnopeus on aallonpituuden neljänneksen kohdalla, eli ääniaallon kupukohdassa. Tehokkaimmin huokoinen materiaali absorboi taajuuksia, joiden aallonpituus on vähintään nelinkertainen materiaalin vahvuuteen verrattuna. Kun ääniaallon kupukohta, missä ilmamolekyylien värähtely on voimakkainta, sijoitetaan absorboivan materiaalin sisään, on kyseisen taajuuden äänen vaimeneminen kaikkein tehokkainta. Koska matalampien taajuuksien ääniaallon pituus on suurempi, voidaan näiden vaimennusta tehostaa lisäämällä absorboivan materiaalin vahvuutta. 100 Hz:n taajuudella ääniaallon neljänneksen pituus on 0,85 metriä. Näin vahvan materiaalikerroksen tekeminen ei kuitenkaan yleensä ole mahdollista. Ohuemman materiaalin vaimennuskykyä matalammilla taajuuksilla voidaan kuitenkin lisätä, irrottamalla absorboiva materiaali heijastavasta pinnasta kuviossa 9 esitetyllä tavalla. Tällöin absorptiomateriaalin ja pohjan väliin jää ilmatila ja absorboiva materiaalikerros osuu matalamman äänen aallonpituuden neljänneksen kohdalle. Tämän tyyppistä ratkaisua käytetään usein sisäkatoissa. Koska materiaalivahvuudet sekä etäisyydet pohjasta voivat harvoin olla kovin suuria käytetään huokoisia materiaaleja yleensä vaimentamaan keski- ja korkeampia taajuuksia. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 149)



KUVIO 9. Ohut kerros absorboi hyvin korkeita taajuuksia, joiden aallon pituus on lyhyempi (vasemmalla). Irrotettaessa absorptiomateriaali pinnasta, tehostuu myös matalampien taajuuksien äänenvaimennus, joiden aallon pituus on pidempi (Kylliäinen, M. 2006. 127)

Vahvuuden lisäksi materiaalin absorptiokykyyn vaikuttavat materiaalin virtausvastus sekä materiaalille tehty pintakäsittely, joista nimenomaan materiaalin virtausvastusta voidaan pitää kaikkein merkittävimpänä. Kun materiaalin virtausvastusta lisätään, lisääntyy myös materiaalin absorptiokyky. Ääniaallon osuessa kovan pinnan edessä olevaan absorboivaan pintaa osa ääniaallosta heijastuu takaisin ja osa kulkee materiaalin läpi edestakaisin vaimentuen samalla matkallaan. On kuitenkin tärkeää huomioida, että mikäli materiaalin virtausvastusta lisätään, materiaalin absorptiokyky paranee, mutta samalla äänen heijastuminen materiaalin pinnalta lisääntyy. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 149; Siikanen, U. 2014. 174–175)

Huokoisia materiaaleja voidaan päällystää materiaaleilla, jotka läpäisevät hyvin ilmaa. Tämän tyylisiä voivat olla esimerkiksi erilaiset huovat. Pinnan päälle voidaan myös asentaa erityyppisiä rakenteita, jotka läpäisevät hyvin ilmaa kuten puurimoituksia, säleitä sekä reikälevyjä. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 150)

5.2 Reikälevyt

Rei'itettyjen levyjen absorptiokyky perustuu massa-jousijärjestelmään. Tällöin levyn reiässä oleva ilma toimii massana ja levyn takana oleva ilmatila jousena. Kun

levyyen kohdistuu ääntä, reiän suussa oleva ilmatulppa resonoi levyn takana olevan ilmatilan muodostaman jousivoiman varassa. Toimintaperiaate vastaa lähes Helmholtz resonaattoria. Erona, että jousivoimana toimiva ilmatila on yhtenäinen, eikä osastoitu. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 150; Siikanen, U. 2014. 177)

Reikälevyjen absorptiosuhde on parhaimmillaan niiden ominaistajuuden ympärillä. Reikälevyn ominaistajuuteen ja absorptiosuhteeseen vaikuttavia tekijöitä on takana olevan ilmatilan sekä reikälevyn paksuus, reikien määrä, niiden koko ja muoto. Lisäämällä levyn taakse ilmatilaan huokoista absorptiomateriaalia, saadaan kokorakenteen absorptiosuhdetta nostettua. Samalla voidaan saada melko korkea absorptiosuhde koko taajuusalueelle. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 150)

Yleensä reikälevyjen taakse on asennettu valmiiksi ilmaa läpäisevä akustinen huopa. Tällä huovalla on erittäin suuri merkitys levyjen absorptiosuhteeseen. Sillä ei ole merkitystä mistä materiaalista levy itsessään on tehty. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 150)

5.3 Mikroreikäiset levyt

Mikroreikäistettyjen levyjen toimintaperiaate on samanlainen kuin yllämainittujen suurempi reikäisten levyjen toiminta. Reiässä oleva värähtelevä ilma toimii tulppana ja levyn takana oleva ilmamassa jousena. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 151)

Mikroreikäisissä levyissä hyödynnetään ilmavirran kitkaa reiän suulla. Yksittäisen reiän koon ollessa hyvin pieni, 1mm tai alle, kasvaa ilmanvastus reiässä korkeaksi. Tämä myös mahdollistaa sen, että akustista huopaa ei tarvitse asentaa mikroreikäisten levyjen taakse. Absorptiosuhde mikroreikäisissä levyissä on parempi, kuin isommilla rei'illä varustetuissa levyissä, ei kuitenkaan yhtä suuri, kuin huokoisilla levyillä. Mikroreikäisten levyjen osalta myöskään ei ole merkitystä sillä, mistä materiaalista nämä on valmistettu. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 151)

5.4 Ohuet reikälevyt

Mikäli halutaan lisätä pinnan mekaanista kestävyyttä tai vaikuttaa pinnan ulkonäköön, voidaan huokoisten materiaalien pinnalla käyttää ohuita esimerkiksi alumiinista valmistettuja reikälevyjä. Rei'itetyn pinta-alan osuudella on vaikutusta siihen, kuinka paljon taustalla oleva huokoinen materiaali absorboi ääntä. Jotta huokoisen materiaalin absorptiosuhde ei oleellisesti heikkenisi, tulisi reikien pinta-alan olla vähintään 15–20 prosenttia kokopinta-alasta. Mikäli reikien prosentuaalinen suhde pinta-alasta on alle 15 prosenttia, vaikuttaa tämä negatiivisesti huokoisen materiaalin absorptiosuhteeseen korkeammilla taajuuksilla. Matalampiin taajuuksiin ei ohuet reikälevyt juuri vaikuta. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 151)

5.5 Levyresonaattorit

Levyresonaattori on rakenne, jossa kiinteän seinän eteen on asennettu jäykkä värähtelykykyinen levy, joka on koolausten avulla irrallaan jäykästä seinästä. Rakenne toimii Jousi-massajärjestelmän tavoin missä värähtelykykyinen levy toimii massana ja levyn ja kiinteän pinnan välissä oleva ilma jousena. (Siikanen, U. 2014. 175)

Resonaattorin teho perustuu siihen, että matalien taajuuksien ääniaallot eivät pääse heijastumaan takaisin, vaan ne värähtelevät resonanssitaajuudella levyn ja sen takana olevan ilmatilan kanssa. Korkeammilla taajuuksilla rakenne toimii heijastavana pintana. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 152; Siikanen, U. 2014. 175–176)

Massana toimivan levyn jäykkyydellä on vähäinen merkitys siihen resonanssitaajuuteen. Suurempi merkitys on sillä, kuinka taajaan levy on kiinnitetty. Muuten rakenne toimii vain heijastavana kovana pintana. Levyresonaattorin ominaistajuus voidaan laskea kaavalla 29. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 152; Siikanen, U. 2014. 175–176)

$$f_0 = \frac{60 \text{ Hz}}{md} \quad (29)$$

Kaavassa 29 f_0 on levyresonaattorin ominaistajuus, m on levyn massa kilogrammoina neliötä kohden kg/m^2 sekä d ilmaväli metreinä. Levyn massaa ja ilmaväliä muuttamalla voidaan säädellä rakenteen ominaistajuutta. Mitä suurempi on ilmaväli sekä levyn massa, sitä matalampi on rakenteen ominaistajuus. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 152; Siikanen, U. 2014. 176–177)

Levyresonaattoreiden absorptiosuhde on harvoin kovinkaan suuri edes matalilla taajuuksilla. rakenteen absorptiosuhdetta voidaan kuitenkin hieman parantaa asentamalla lisäämällä levyn takana olevaan ilmatilaan huokoista materiaalia. Toimiakseen on ilmatilan levyn takana oltava tiivis. Mikäli rakenteessa on aukkoja, menettää ilma jousivaikutuksensa. Levyresonaattoreiksi voidaan luokitella esimerkiksi kaikki levyrakenteiset seinät, ikkunat sekä suurin osa ovista. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 152; Siikanen, U. 2014. 176–177)

6 ÄÄNIYMPÄRISTÖ PALVELUASUMISEN YKSIKÖISSÄ

Ihmisen kuulo heikkenee luonnostaan iän myötä. Koska ensimmäisenä kuulosta häviävät korkeat taajuudet ja korkeat konsonantit, tulee puheen ymmärtäminen hyvin haastavaksi kaikuisassa ympäristössä. Tästä johtuen on erityisen tärkeää, että tiloissa, joissa vanhukset asuvat ja viettävät aikaa, on myös panostettu tilojen akustiseen suunnitteluun. Tällä voidaan varmistaa tilojen hyvä toimivuus sekä asukkaiden hyvinvointi äänen kannalta. (Ecophon Suomi. 2019. 16)

Valmiita tutkimuksia hoivakotien ääniympäristöstä, sekä sen vaikutuksesta asukkaiden hyvinvointiin, on olemassa hyvin vähän. Lähimpiä tutkimuksia ovat ne, mitkä keskittyvät ääniympäristöön sekä sen vaikutuksiin sairaalaolosuhteissa. Nämä olosuhteet, mitkä sairaaloissa vallitsevat, eivät kuitenkaan täysin vastaa niitä, mitkä hoivakodeissa vallitsevat. Kun otamme huomioon luontaisen kuulon alenemisen ikääntyessä, olisi erityisen tärkeää tutkia myös hoivakotien ääniympäristöä enemmän ja kuinka sillä voidaan parantaa asukkaiden hyvinvointia.

Panostamalla laadukkaaseen akustiikkaan, saadaan tilan viihtyisyyttä lisättyä huomattavasti. Kuten jo yllä on mainittu vaikuttaa hyvään akustiseen ympäristöön tilan koko, muoto sekä tilassa käytetyt pintamateriaalit. Kovat sileät pinnat heijastavat ääntä tehokkaasti, mikä johtaa tilan kaikuisuuteen. Hyvin absorboivilla materiaaleilla vastaavasti saadaan poistettua tilan kaikuisuutta sekä näin laskettua myös tilassa vallitsevaa äänitasoa. (Kilpelä, N. 2019. 115)

Hoivakotien sekä palvelutalojen ääniympäristöstä on olemassa muun muassa ympäristöministeriön asetukset, mitkä niiden tulee täyttää. Näissä annetaan ohjeistukset ääneneristyksestä, melun ja tärinän torjunnasta sekä ääniolosuhteista. (Kilpelä, N. 2019. 115)

Äänen heijastuminen tilan lattia, katto sekä seinäpinoista vaikuttaa tilan akustiseen äänimaailmaan. Jotta tilojen kuunteluolosuhteet olisivat hyvät, tulee tilassa olla riittävä määrä absorboivaa materiaalia tilan pinnoilla. Näistä merkittävimpiä ovat katto- sekä seinäpinnat. Erityisesti puhumisen kannalta merkittävässä tiloissa

tulee pinnat suunnitella siten, että vaimennuksella saadaan aikaan tilaan vaadittava äänitaso sekä jälkikaiunta-aika. (Kilpelä, N. 2019. 115)

Jotta voitaisiin saada tilan käyttötarkoituksen mukainen ääniympäristö, tulisi suunnittelussa käyttää apuna myös akustiikkasuunnittelijaa. Näin saadaan varmistettua tilojen hyvä akustiikka sekä muut ääniolosuhteet vaivattoman puheviestinnän kannalta, kuin myös henkilöiden, joilla on jo heikentynyt kuulo. Hyvän akustiikan ei tarvitse olla huomattavan kallista, kun tähän on panostettu jo suunnitteluvaiheessa. (Kilpelä, N. 2019. 115; Ecophon B 2020;)

Tilan äänimaailma korostuu erityisesti silloin, kun kommunikoidaan kuulolaitetta käyttävien sekä huonokuuloisten henkilöiden kanssa. Huonokuuloisilla henkilöillä ilmenee hyvin usein vaikeuksia puheen erottelussa. Kuulokoje vahvistaa kaikkia ääniä, myös häiriöksi olevat äänet, kuten kaiun. Tämän vuoksi puheen erottelu meluisassa sekä kaikuisassa ympäristössä on kuulokojeesta huolimatta lähes mahdotonta. Kuulokoje auttaa huonokuuloista kuulemisessa, mutta se ei siltikään palauta kuulokykyä hyvin kuulevan tasolle. Väärin sijoitettu, väärän tyyppinen, tai liian vähäinen absorboivan materiaalin määrä pystyy kuitenkin vaimentamaan suhteellisen tehokkaasti korkeita taajuuksia, mutta ei matalia. Kun vain korkeita taajuuksia on vaimennettu, peittävät matalat taajuudet korkeammilla taajuuksilla sijaitsevat konsonantit allensa. Tällä on huomattava heikentävä vaikutus puheen selkeyteen. (Kilpelä, N. 2019. 116)

Tilan huono akustinen ääniympäristö ei ole yksin huonokuuloisten ongelma, vaan tällä on myös suuri vaikutus ihmisiin, joiden näkökyky on huomattavasti heikentynyt, tai ovat sokeutuneet. Näkövammaisilla henkilöillä kuuloaistin merkitys korostuu. Tällöin he käyttävät kuuloaistin avulla saatua tietoa tilan hahmottamiseen. He myös käyttävät kuuloaistia liikkumisen apuvälineenä. Kun tilassa on oikein toteutettu akustointi, syntyy tällöin tilaan sen kokoon nähden oikeanlainen ja luonteenomainen jälkikaiunta-aika. Tällöin kuuloaistimuksen perusteella saa tilan koosta ja muodosta oikeanlaisen käsityksen. Äänen heijastumisten avulla on mahdollista myös aistia tilan koon lisäksi myös etäisyyksiä, esteitä sekä kalusteita. Näkövammaista ohjaavien äänien on oltava selkeitä, niiden helpon erotettavuuden ja tunnistettavuuden vuoksi. Hyvällä akustiikalla siis helpotetaan tilan

hahmottamista sekä toimintaan keskittymistä, kun häiritseviä ärsykeitä on vähemmän. (Kilpelä, N. 2019. 116)

Tilan laadukkaalla akustoinnilla ei ole yksinomaan merkitystä vain hoivakodeissa asuviin vanhuksiin, vaan myös siellä työskenteleviin henkilöihin. Tilojen korkeamelutaso myös vaikeuttaa esimerkiksi puheen ymmärtämistä, myös työntekijän puolella. Akustisesti hyvässä ympäristössä työhön keskittyminen paranee sekä virheiden määrä työssä vähenee. Myös stressitaso vähenee niin työntekijöillä, kuin asukkaillakin.

6.1 Ääniympäristön vaikutus terveyteen

Akustiikalla ei ole vain merkitystä siihen, kuinka me koemme tilan ääniympäristön sekä viihtyisyyden. Kun tila on akustisesti toteutettu oikein, on tällä myös tutkitusti vaikutuksia henkiseen ja myös fyysiseen hyvinvointiimme sekä terveyteen.

Palveluasumisen yksiköissä ja hoivakodeissa suurinta osaa asukkaita vaivaa, tai tulee jossain vaiheessa vaivaamaan ikäkuulo. Toisia enemmän kuin toisia. Tällöin kuulo alkaa hiljalleen heikentyä alkaen korkeimmista taajuuksista. Tällöin henkilöllä rupeaa olemaan vaikeuksia saada puheesta selvää meluisassa ympäristössä. Tämä tekee kommunikoinnista vaivalloista ja nopeuttaa väsymistä sekä uupumista. Toistuvat väärinymmärrykset ja kommunikaatiovaikeudet johtavat myös epävarmuuteen, syrjäytymiseen, yksinäisyyteen sekä aiheuttaa myös masennusta ja dogmatismia. Erytisen vaikeaksi tämä voi kuitenkin käydä henkilöillä, jotka kärsivät ikäkuulon lisäksi myös dementiasta. On myös todennettu, että aivot tarvitsevat myös ärsykeitä pysyäkseen toimintakuntoisina. Ärsykkeiden puute nopeuttaa aivojen kapasiteetin pienenemistä. (Hak, C., Hout, N., Kort, H. & Reintjen, J. 2015. 415; Ecophon 2017)

Meluisa ympäristö voi aiheuttaa myös stressiä, levottomuutta ja myös aggressiivisuutta. Kun ympäristö on rauhallisempi ja hiljaisempi kokee ihminen olonsa levollisemmaksi. Tämä laskee myös verenpainetta, parantaa unen laatua sekä las-

kee stressitasoa. Parantuneen unen laadun on myös todettu vaikuttavan nopeampaan paranemiseen. Hyvän akustiikan on myös todettu vähentävän kipulääkkeiden tarvetta. (Ecophon 2017)

6.1.1 Ikäkuulo

Ajan kuluessa kaikkien kuulo heikkenee iän myötä. Yli 50-vuotiailla havaitaan jo kuulossa heikentymiä ja yli puolella 80-vuotiaista, on jo jokapäiväistä elämää haittaava kuulovika. Ikäkuulo on yhdistelmä perinnöllisistä tekijöistä ja vuosien myötä melun sekä muiden tekijöiden aiheuttamista rappeumista sisäkorvassa, kuulohermossa sekä aivoissa. Perinnöllisiä tekijöitä voidaan pitää merkittävämpinä aiheuttajina, kuin ympäristöstä johtuvia tekijöitä. Kuulon aleneminen on hyvin yksilöllistä ja myös sukupuolten välillä on eroja. Yleensä miehet kuulevat paremmin matalia taajuuksia, kun taas naiset vastavuoroisesti kuulevat paremmin korkeita taajuuksia. (Blomgren, K. 2018)

Kuulon heikkeneminen on kuitenkin hyvin hidasta. Yli 55-vuotiailla keskimäärin 9 desibeliä kymmenen vuoden aikana. Kuulon hidas heikkeneminen myös johtaa siihen, että ikääntyvä henkilö ei välttämättä sitä edes huomaa. Ikääntyvä saattaa kuitenkin alitajuisesti ruveta välttelemään tilanteita, jossa huono kuulo heikentää kommunikaatiota. Mitä suuremmaksi kuulon alenema kasvaa, sitä suuremmaksi kasvaa myös taipumus vältellä ihmisiä. Kun kuuloaivokuori ei saa äänestä tarpeeksi virikkeitä, voi tämä johtaa myös muiden aivojen osien nopeampaan rappeutumiseen. Hoitamattomana kuulovika alentaa itsetuntoa ja voi myös aiheuttaa eristäytymistä, masennusta sekä jopa dementiaa. Kuulon heikkeneminen altistaa myös vaaratilanteille, kun varoittavat äänet jäävät kuulematta. Kuulokojeet sekä muut apuvälineet voivat helpottaa huonontuneen kuulon aiheuttamia hankaluuksia. (Blomgren, K. 2018)

Normaalikuuloisten tulisikin ottaa ikäkuulosta kärsivien henkilöiden erityistarpeet huomioon. Hiljaisessa ympäristössä kasvokkain esitetty, selkeästi ja rauhallisesti äännetty puhe on kaikkein helpointa ymmärtää. (Blomgren, K. 2018)

Aluksi kuulo heikentyy lähinnä korkeiden taajuuksien osalta. Tällöin puheesta rupeaa olemaan vaikeuksia saada selvää meluisassa ympäristössä. Kuulon aleneman edetessä matalammille 2–4 kilohertsin taajuuksille, on puheesta vaikeata saada selvää jo hiljaisissakin tiloissa. Myöhemmin vaikeutuu myös äänten tunnistaminen sekä paikallistaminen. (Blomgren, K. 2018)

Vaikka perinnöllisillä tekijöillä onkin suurin vaikutus ikäkuuloon, myös elintavoilla on merkitystä. Kaikkein tehokkaimpana tapana voidaan pitää kuulon suojaamista liialta melulta koko elämän ajan. Nuoruusiällä tulleet meluvauriot pahentavat myös vanhuusiän kuulo-ongelmia. Kuulojärjestelmän kannalta on kuitenkin tärkeää, että sitä käytetään. Korvaa ei pidä estää kuulemasta normaaleja elämiseen kuuluvia ääniä. (Blomgren, K. 2018)

6.2 Akustiset luokitukset

Yhteiskunta vaikuttaa rakentamiseen ja tätä kautta myös rakennusten ääniolosuhteisiin erilaisten määräysten, sekä asetusten kautta. Rakennusmääräyskokoelman ollessa kuitenkin nykyaikana historiaa, puhutaan nykyään ympäristöministeriön antamista ohjeista. Kaiken pohjana kuitenkin Suomessa toimii maankäyttö- ja rakennuslaki. Lain mukaan melu rakennuksessa tulee rajoittaa tasolle, mikä antaa henkilölle mahdollisuuden nukkua, levätä

Vanhusten hoivakotien ja palvelutalojen ääniympäristöä koskevista olosuhteista on annettu ohjeistuksia ympäristöministeriön, sisäilmayhdistyksen, kuin myös standardin SFS 5907:n puolesta. Ohjeistuksia on kerrottu myös sosiaali- ja terveysministeriön vuonna 2015 julkaisemassa asumisterveysasetuksessa.

Sisäilmaluokitus sekä standardi SFS 5907 eivät kuitenkaan ole määräyksiä vaan ohjeita. Mikäli nämä kuitenkin liitetään osaksi esimerkiksi vuokrasopimusta, ovat nämä juridisesti päteviä asiakirjoja. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 20)

6.2.1 Ympäristöministeriön asetus ja ohje rakennuksen ääniympäristöstä

Maankäyttö- ja rakennuslaissa säädetään rakennusten olennaiset tekniset vaatimukset. Meluntorjunnan ja ääniympäristön osalta näitä määräyksiä on tarkennettu ympäristöministeriön antaman asetuksen nojalla. Asetuksessa annetaan vaatimukset rakennuksen ääneneristyksestä, melun- ja tärinätorjunnasta, rakennusten piha- ja oleskelualueiden sekä oleskeluun käytettävien parvekkeiden meluntorjunnasta ja ääniolosuhteista. Keskeisenä vaatimuksena asetuksessa on, että tilojen käyttötarkoitus huomioon ottaen pystytään saavuttamaan riittävä puheenerottuvuus. Puheenerottuvuuden kannalta suunnittelussa merkittäviä tiloja on ne, missä ihmiset pääosin työskentelevät ja viettävät aikaa, esimerkiksi potilashuoneet, toimistot, ruokalat ja liikuntatilat. Asetuksessa määritellään myös enimmäistaso jälkikäyttöajalle käytävätiloihin rakennuksissa, missä on asuntoja, majoitustiloja sekä potilashuoneita. Ympäristöministeriön asetuksessa määritetyt arvot ovat käytettäviä minimiarvoja, mitkä ovat velvoittavia. (Ecophon Suomi. 2019. 4–5)

Ohjeessa käydään yksityiskohtaisemmin läpi rakennukselle asetettuja vaatimuksia sekä mahdollisia tapoja näiden toteutumiseksi. Annetut ohjeet eivät kuitenkaan ole velvoittavia, vaan vaihtoehtoisia tapoja voidaan hyödyntää, kun asetuksessa määritellyt minimiarvot täyttyvät. Tilan käyttäjällä on myös vaikutusta tilan ääniympäristöön. Näitä seikkoja ei kuitenkaan ole otettu huomioon annettussa asetuksessa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 17; Ecophon Suomi. 2019. 5; Ympäristöministeriö. 2019. 5)

6.2.2 Standardi SFS 5907

Standardin SFS 5907 tarkoitus on tukea suunnittelijoiden sekä rakentajien työtä täydentämällä ympäristöministeriön asetuksessa annettuja määräyksiä ja ohjeita. Standardissa annetaan ohjeita erityyppisissä rakennuksissa tavoiteltavasta ääneneristyksestä, äänitasoista sekä huoneakustiikasta. Tavoitteet on ilmoitettu teknisinä lukuarvoina, minkä perusteella esimerkiksi pystytään suunnittelemaan rakennukseen ja sen käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuvat rakennetyypit. (SFS 5907. 2006. 2)

Standardi määrittelee akustiset luokat sekä raja-arvot ilma- ja askelääneneristyksele, rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttamille äänitasoille rakennuksen sisä- sekä ulkopuolella, liikenteen aiheuttamille äänitasoille sekä huoneakustiikalle. Raja-arvot ovat määriteltä erilaisille rakennustyypeille sekä tiloille. Näitä ovat asunnot, majoitustilat, vanhusten palvelutalot, toimistorakennukset, koulut oppilaitokset, päiväkodit, terveydenhuollon rakennukset sekä teollisuuden rakennukset. (SFS 5907. 2006. 2)

Standardi jakaa rakennukset eri luokkiin A, B, C ja D. Luokka A on akustisesti kaikista vaativin ja luokka D vastaavasti lievin. Luokka C vastaa ympäristöministeriön asetuksessa määriteltä minimitasoa. Luokkien A ja B rakennukset ovat akustisesti minimitasoa parempia. Akustinen luokka D koskee vain vanhoja käytössä olevia rakennuksia. Luokka D on tarkoitettu käytettäväksi, kun halutaan ilmoittaa vanhan rakennuksen akustiset ominaisuudet. Luokan D suosituksia ei voida soveltaa uudiskohteissa, koska nämä arvot eivät täytä ympäristöministeriön asettamia arvoja. Mikäli vanhemmassa rakennuksessa halutaan esimerkiksi muuttaa ullakkotila asuinkäyttöön, tulee tämän täyttää vähintään luokan C vaatimukset. Akustisia luokituksia ei pidä kuitenkaan sekoittaa absorboiville materiaaleille annettuihin absorptioluokkiin. (SFS 5907. 2006. 2)

6.2.3 Sisäilmastoluokitus 2018

Sisäilmastoluokitus on yleisesti käytössä ole asiakirja, mihin viitataan hyvin usein rakentamista koskevissa asiakirjoissa. Se on myös saavuttanut suuren suosion. Tämän käyttö kuitenkin on myös vapaaehtoista kuten myös standardin SFS 5907. Sisäilmastoluokitus kuitenkin muuttuu sopimusosapuolia sitovaksi siinä muodossa, kuten siihen sopimusasiakirjoissa viitataan. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 20–21; Sisäilmayhdistys ry. 2018. 8)

Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu käytettäväksi rakennuttajan, suunnittelijan, rakentajan sekä rakennustuoteteollisuuden apuna, kun asetetaan tavoitteita terveellisemmän sekä viihtyisemmän rakennuksen aikaansaamiseksi. Luokitusta voidaan myös soveltaen käyttää rakennuksen peruseräparannushankkeessa. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 8; Ecophon Suomi. 2019. 5)

Sisäilmastoluokituksessa esitetään teknisiä tavoitearvoja useille tekijöillä, mitkä vaikuttavat sisäilmastoon kuten, lämpötila, ilman liikenopeus, hiilidioksidipitoisuus, hiukkaspitoisuus, radonpitoisuus, valaistus sekä rakennuksen akustiset ominaisuudet. Sisäilmastoluokituksen tavoitearvot kuvaavat terveyden ja viihtyvyyden kannalta turvallisia, sekä viranomaisvaatimuksia korkeampia sisäilmasto-olosuhteita. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 8; Ecophon Suomi. 2019. 5)

Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen laatuluokkaan: S1, S2 ja S3. Näistä S1 on parastaso, millä tavoitellaan käyttäjätuetytyvyyden kannalta parasta lopputulosta. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 9)

S1 tasolla sisäilman laatu on erittäin hyvä. Tällöin tiloissa ei ole havaittavissa hajuja. Tiloissa sekä rakenteissa, mitkä ovat yhteydessä sisäilmaan, ei ole havaittavissa ilman laatuun heikentävästi vaikuttavia vaurioita, tai epäpuhtauslähteitä. Tiloissa myös lämpöolosuhteet ovat viihtyisät, eikä tiloissa esiinny vetoa tai yllämpenemistä. Tilan käyttäjä pystyy tällöin myös yksilöllisesti hallitsemaan tilan lämpöolosuhteita, sekä tilan valaistusta. Tiloissa on myös tällöin tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen erittäin hyvät ääniolosuhteet sekä valaistus. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 9)

S2 tasolla sisäilman laatu on hyvä, eikä tilassa ole havaittavissa häiritseviä hajuja. Myös tällä tasolla sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa, tai rakenteissa ei ole havaittavissa olosuhteisiin vaikuttavia vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolosuhteet ovat hyvät, eikä tiloissa ole havaittavissa vetoa. Yllämpenemistä voidaan kuitenkin pitää mahdollisena kuumina kesäpäivinä. Tilassa on hyvät olosuhteet äänen sekä valaistuksen kannalta. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 9)

S3 tasolla ilman laatu, lämpötila, ääni sekä valaistusolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annettujen asetusten mukaiset määräykset. Jotta asetusten mukaiset määräykset saadaan täytettyä, ei tämä välttämättä edellytä S3-luokan arvojen käyttämistä. Tämän luokan arvot ovat lähinnä esitetty vertailun tueksi. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 9)

Erisuureiden tavoitearvot voidaan tapauskohtaisesti valita myös eri laatuluokista. Tarvittaessa tämän arvo voidaan myös määrittellä erikseen tapauskohtaisesti (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 9)

Tilojen ääniolosuhteiden osalta on sisäilmaluokitus sidottu lähtökohtaisesti standardiin SFS 5907, missä luokka A kuvasti korkeinta tavoitetasoa ja luokka C ympäristöministeriön määrittämää vähimmäistasoa. Ääniolosuhteiden osalta sisäilmaluokka S2 pyrkii vähintään standardin mukaiseen luokkaan C. Tilakohtaisesti S2 tasoon voidaan myös valita tavoitearvoja standardin luokasta B. Luokan S1 tavoitetasona on standardin mukainen luokka B. Tässä tilakohtaisesti voidaan myös hyödyntää tavoitearvoja standardin luokista A ja C. (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 12–13)

Tilan ääniolosuhteiden osalta sisäilmaluokitus on sekoitus standardin SFS 5907 luokista A-C. Tilan käyttötarkoituksella on vaikutusta siihen, mitä standardin mukaista luokkaa tilassa on järkevintä käyttää tavoitearvojen suhteen. Sisäilmaluokitus ei kuitenkaan ota yhtä kattavasti ja yksilöiden kantaa eritilojen ääniolosuhteisiin, kuin mitä standardi SFS 5907.

6.2.4 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon terveydellisistä olosuhteista

Aikaisemmin tämä vuonna 2015 julkaistu asetus on tunnettu vuonna 2003 julkaistuna sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeen. Tämä asetus ei kuitenkaan ota huomioon tekijöitä, joilla on vaikutusta tilan viihtyisyyteen, kuten ympäristöministeriön asetus. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus melulle desibelimuodossa raja-arvot vain sen terveysvaikutusten perusteella. Melun lisäksi asetus ottaa myös kantaa muihin fysikaalisiin tekijöihin, kuin myös kemiallisiin sekä mikrobiologisiin tekijöihin, joilla on vaikutusta asumisterveyteen. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 19; STM 2015)

Asuntojen lisäksi ohjeessa on annettu raja-arvoja myös koskien palvelutaloja, hoivakoteja, päiväkoteja, kokoontumis- ja opetustiloja sekä toimistotiloja. Asetus ei ota kantaa siihen, koska talo on rakennettu, vaan vähimmäisvaatimukset ovat

voimassa rakennusajankohdasta riippumatta. Melun osalta asetus koskee rakennuksessa olevien taloteknisten laitteiden lisäksi kaikkea rakennuksessa olevaa liiketoimiaan kuten päivittäistavarakauppoja, elokuvateattereita sekä ravintolatoimintaa ja muita tiloja, mitkä voivat aiheuttaa meluhaittaa asuntoihin. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 19; STM 2015)

Asetuksessa sallitut äänenpaineet on jaoteltu päivä- sekä yöajalle. Tällä otetaan huomioon melun vaikutus nukahtamiseen sekä unen häiriintymiseen. Asetuksessa on myös määritelty raja-arvot myös matalataajuiselle melulle, millä voi olla vaikutusta unensaantiin. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 19; STM 2015)

Terveystarkastajat arvioivat asuntoon kantautuvan melun juuri tämän asetuksen perusteella. Mikäli rakennukseen suunnitellaan melua tuottavaa tilaa, on tämä asetus otettava suunnittelun lähtökohdaksi. Mikäli alla olevan taulukoiden 5 ja 6 raja-arvot ylittyvät, voi terveystarkastaja asettaa tilan käyttökieltoon terveysuojelulain perusteella. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 19; STM 2015)

TAULUKKO 5. Melun suurimmat sallitut keskiäänitasot asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa (STM 2015)

Tila	Päiväajan keskiäänitaso L _{Aeq} (klo 7-22) (dB)	Yöajan keskiäänitaso L _{Aeq} (klo 22-7) (dB)
Asuinhuoneistot, palvelutalot, hoivakodit, päiväkodit ja vastaavat tilat		
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35	30
muut tilat ja keittiö	40	40
Kokoontumis- ja opetushuoneistot		
huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä	35	-
muut kokoontumistilat	40	-
Työhuoneistot (asiakkaiden kannalta)		
asiakkaiden vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45	-

TAULUKKO 6. Pienitaajuisen sisämelun tunnin keskiäänitason toimenpideraja nukkumiseen tarkoitetuissa tiloissa (STM 2015)

Taajuuskaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Yöajan (klo 22-7) L _{eq,1h} /dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32
Päiväaikana (klo 7-22) pienitaajuiselle melulle sovelletaan 5 dB suurempia arvoja											

7 MITTAUS

7.1 Haastattelu

Haastattelua, tai kyselylomaketta voidaan pitää hyvänä vaihtoehtona tilanteessa, kun halutaan kartoittaa jo käytössä olevan tilan äänimaailmaa. Tällä saadaan kuvaa mahdollisista ongelmista käyttäjän näkökulmasta. Tämä helpottaa suunnittelutyötä ja mahdollisiin käyttäjän kokemuksiin ongelmakohtiin pystytään kiinnittämään huomiota jo heti alkuvaiheessa.

Jotta kyselystä voitaisiin saada mahdollisimman vertailukelpoinen, tulee kyselyn olla jokaiselle osapuolelle samanlainen. Kyselyn tulee olla myös hyvin kattava ja laaja-alainen, koska henkilön kokemukseen tilan äänimaailmasta vaikuttavat hyvin monet eri asiat.

Yhtenä tärkeimmistä kyselyyn vaikuttavasti tekijöistä on henkilön kokemus ja tietämys akustiikasta. Mitä enemmän henkilöllä on kokemusta ja tietämystä akustiikasta sekä huonoista, että hyvistä akustisista ympäristöistä, sitä kriittisemmin hän tilannetta tarkastelee. Mikäli henkilöllä ei ole minkäänlaista ymmärrystä aiheesta, voi hän arvioida tilan akustiikan aivan toisin, kuin se todellisuudessa olisi. Kyselyssä tilaa voi myös hahmottaa tuntemuksilla, mitä se haastateltavalle aiheuttaa. Meluisa ympäristö häiritsee keskittymistä sekä vaikeuttaa tarpeellista kommunikointia, mikä voi aiheuttaa ihmisissä ärtymystä sekä stressiä.

Mikäli käyttäjien keskinäinen tietämys akustiikasta ja melusta on lähtökohdin hyvin erilaista, voisi pitää perusteltuna kaventaa rakoa kertomalla siitä hieman yleisesti ennen kyselyä.

7.2 Laskenta

Laskentaa voidaan pitää järkevänä vaihtoehtona, kun halutaan suhteellisen pienellä vaivalla saada suuntaa antava käsitys numeraalisesti tilan akustisesta ympäristöstä. Tyypillisesti näissä tilanteissa käytetään Sabinen kaavaa 21. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 167)

Kaava soveltuu suhteellisen hyvin suurimpaan osaan normaaleja huonetiloja, jotka ovat muodoltansa kuution mallisia, eivätkä kovin suuria. Näissä tilanteissa kaavan antama virhe pysyy suhteellisen pienenä. Tilan koon kasvaessa ja muuttaessa muotoaan kulmikkaammaksi ei laskentaa Sabinen kaavalla voida pitää enää kovinkaan tarkkana menetelmänä. Tilanteessa myös missä kaikki absorptiomateriaali on sijoitettu vain yhdelle pinnalle, kuten kattoon, antaa kaava todellisuutta lyhyemmän jälkikaiunta-ajan. Kuten aikaisemmin on mainittu, Sabinen kaava olettaa absorptiomateriaalin sijaitsevan tasaisesti kaikilla pinnoilla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 167)

Kaavalla ei myöskään voida laskea, tai arvioida mahdollista tärykaikua tilassa, mikä syntyy ääniaallon kimpoilla vastakkaisista seinistä.

7.3 Mittaaminen

Tarkimmat numeraaliset tulokset tilan akustisesta ympäristöstä saadaan mittamalla. Jotta mittaukset olisivat aina vertailukelpoisia keskenään, toteutetaan ne käyttämällä ISO 3382-1 standardia. (ISO 3382-1. 2009. 3–8)

Mittauksista on olemassa kaksi eri versiota. Ensimmäinen näistä on interrupted noise method, missä kaiuttimella tuotetaan kohinan kaltaista ääntä, mikä katkaistaan äkillisesti. Kaiuttimen tulee olla mahdollisimman suuntaamaton, eli ympärisäteilevä, tällöin ääni säteilee tasaisesti joka suuntaan, jolloin ääni heijastuu oikein kaikilta pinnoilta. Kaiuttimen tulee myös pystyä tuottamaan tarpeeksi voimakkaasti taajuuksia koko mitattavalta taajuusalueelta. Oktaavikaistoina mitattaessa käytössä on taajuusalue 125–4000 Hz. Myös mittaavan mikrofonin tulee olla suuntaamaton, jolloin ei ole merkitystä tulokseen sillä, mistäpäin ääni mikrofonin

saapuu. Etuna tällä metodilla mitattaessa on, että jokainen taajuuskaista voidaan mitata erikseen. Tällä saadaan parempi tulos aikaan myös matalammilla taajuuksilla mitattaessa. (ISO 3382-1. 2009. 3–8)

Toisena vaihtoehtona mittaukseen on Integrated impulse response method. Tällä mittaus tavalla ei ole äänilähteenä käytössä erillistä kaiutinta, vaan tarvittava ääni-impulssi saadaan esimerkiksi starttipistoolista, tai ilmapallosta. Tällöin mikrofoni mittaa jälkikaiunta-ajan koko taajuusalueelta kerralla saadusta impulssista. Myös tässä tapauksessa mittaavaan mikrofonin tulee olla suuntaamaton oikean tuloksen saamiseksi. Impulssilähteen tulee olla tarpeeksi voimakas ja sen tulee myös pystyä tuottamaan ääni koko mitattavalta taajuusalueelta. Erityisesti matalien taajuuksien kohdalla tällä metodilla voi koitua ongelmia, koska lähde ei pysty tuottamaan tarpeeksi voimakasta ääntä matalien taajuuksien osalta. (ISO 3382-1. 2009. 6)

7.3.1 Mittaustapahtuma

Ennen jälkikaiunta-ajan mittauksen aloittamista tulee tilasta mittaamalla selvittää sen taustaäänitaso. Jälkikaiunta-aikaa mitattaessa desibeliraja, mistä mittalaite lähtee jälkikaiunta-aikaa mittaamaan, tulee asettaa 45 desibeliä taustaäänitason yläpuolelle. Kaiuttimen, tai impulssilähteen tulee pystyä tuottamaan ääni vähintään tällä voimakkuudella koko mitattavalta taajuusalueelta. (ISO 3382-1. 2009. 6)

Äänilähteen tulisi sijaita tilassa siinä kohtaa, missä esimerkiksi puhuja normaalistikin sijaitsee. Vähimmäismäärä näille äänilähteen sijainneille yhtä tilaa kohden on kuitenkin kaksi. Äänilähteen tulee olla myös 1.5 metriä lattiapinnan yläpuolella. (ISO 3382-1. 2009. 5–6)

Mikrofonin hyvä sijainti tilassa on lähtökohtaisesti siellä missä kuulija sijaitsee. Jälkikaiunta-aikaa mitattaessa on kuitenkin hyvä, että tilan koko ala tulisi tasaisesti täytettyä. Mittauspisteiden tulee kuitenkin olla vähintään 2 metrin päässä toisistaan, käytettäessä normaalia taajuusaluetta. Mikrofonin etäisyyden lähimpään heijastavaan pintaan, esimerkiksi seinään, kalusteisiin tai lattiaan, tulee olla

vähintään 1 metrin. Jotta voidaan välttää suoran äänen liian suuri vaikutus mit-taustulokseen, ei mikrofoni saa sijaita liian lähellä äänilähdettä. mikrofonin kor-keus maasta tulee olla noin 1,2 metriä, mikä kuvastaa istuvan henkilön korvien korkeutta. (ISO 3382-1. 2009. 5–6)

Kun äänilähdettä tilan sisällä siirretään seuraavaan pisteeseen, suoritetaan mit-taukset aina samoista paikoista, kuin edellisellä kerralla. Mittausten aikana ei ti-lassa saa olla muita paikalla, kuin mittauksen kannalta välttämättömät henkilöt. Tällä estetään ihmisen vaikutus äänen heijastuksiin mittausprosessin aikana. Im-pulssimetodia käytettäessä, lähteestä riippuen, voi olla perusteltua tehdä parikin mittausta jokaista mittaus- ja äänipistettä kohden ja laskea näiden keskiarvo. Im-pulssilähteestä riippuen mittauksissa voi esiintyä eroavaisuuksia. Mittauksien jäl-keen saaduista arvoista lasketaan keskiarvo, millä saadaan jälkikaiunta-aika ti-lalle. Mittauspisteitä ollessa useista, voi näistä nähdä myös mahdollisen ongel-makohdan, mikäli tuloksissa on suuria eroavaisuuksia keskenään.

7.4 Mallintaminen

Tilan akustisessa mallintamisesta puhuttaessa, tilassa toimivien äänilähteiden tuottama äänikenttä simuloidaan tietokoneen avulla. Tämän avulla voidaan tilan akustiset olosuhteet esittää mahdollisimman visuaalisella tavalla. Mallintamista voidaan soveltaa uudisrakentamisessa, sekä kun halutaan parantaa jo olemassa olevan tilan akustiikkaa. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 169)

Tyypillisimmin mallintaminen on käytössä tilanteissa, joissa halutaan lukuarvoina tietää tilaan syntyvät akustiset lukuarvot sekä verrata niitä annettuihin tavoiteta-soihin. Visualisoimalla tilan akustiset olosuhteet helpotetaan myös päätöksente-koa tämän suhteen sekä voidaan helposti vertailla eri ratkaisutapoja tilan akus-toinnin suhteen, jolloin kustannustehokkain ratkaisu on helppo löytää. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 169)

Tilan visualisoimista voidaankin pitää mallintamisen suurimpana hyötynä. Tällöin voidaan helposti ja ymmärrettävästi esittää tilan akustinen äänimaailma myös

henkilölle, joka ei ole asiaan mitenkään perehtynyt. Tilan mallinnukseen on mahdollista myös liittää tilan huoneäänen kuuntelumahdollisuus. Tästä käytetään nimitystä auralisointi. Tällöin mallinnukseen sijoitetun äänilähteen, tai äänilähteiden ääntä voidaan kuunnella halutussa mallinnuksen pisteessä ja havaita kuulon avulla, miltä todellinen tilanne kuulostaa eri pisteissä erilaisilla ratkaisutavoilla. (Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. 169–170)

8 PALVELUTALO

8.1 Palvelutalojen akustiset vaatimukset

Valmiin rakennuksen akustiikan suhteen tärkeimmät valinnat tehdään jo suunnitteluvaiheessa. Asuinrakennuksia lukuun ottamatta suunnittelijoiden sekä toteuttajaorganisaation vastuulla on määrittää tilojen huoneakustiset arvot rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi laatimalla kohteelle erillinen suunnitelma tilan akustisista vaatimuksista. (SFS 5907 2006)

Palvelutalojen sekä hoivakotien osalta näistä vaatimuksista tilan akustiikan suhteen on ohjeistettu ympäristöministeriön asetuksessa, standardissa SFS 5907 sekä osittain myös sisäilmayhdistyksen sisäilmaluokituksessa.

Ympäristöministeriö on antanut asetuksessaan minimiarvot palvelutalojen akustisille ominaisuuksille tiloittain. Nämä arvot on esitetty alla olevassa taulukossa 7. Ympäristöministeriö on myös ainoa, joka on antanut myös suorat vähimmäisarvot myös puheensiirtoindeksille näissä tiloissa.

TAULUKKO 7. Ympäristöministeriön antamat ohjearvot jälkikaiunta-ajasta sekä puheensiirtoindeksistä (Ympäristöministeriö. 2019. 45)

Tila	Jälkikaiunta-aika (s)	Puheensiirtoindeksi STI
Potilashuone	0,8 s	≥ 0,6
Ruokailutila	1,2 s	≥ 0,6
Liikuntatila	1,2 s	≥ 0,6
Hoitotila	0,8 s	≥ 0,6
Harrastustila	0,8 s	≥ 0,6

Taulukossa 8 on puolestaan esitetty standardin SFS 5907 määrittelemät arvot palvelutalojen tilojen jälkikaiunta-ajoille. Standardissa arvot on jaettu kolmeen eri luokkaan A, B ja C, mistä C vastaa ympäristöministeriön asettamia arvoja jälkikaiunta-ajan suhteen.

Mikäli palvelutalossa on erillisiä kokous-, tai musiikkitiloja, on standardin mukaan näihin suositeltavaa toteuttaa erillinen akustinen suunnittelu, millä voidaan varmistaa tilaan oikeanlainen akustinen ympäristö. Opetus- ja kokoustilojen suhteen ympäristöministeriö on antanut puheensirtoindeksin vähimmäisohjearvoksi 0,7.

Standardissa palveluasunnot, missä ei ole yhteisiä tiloja rinnastetaan perus asuntoihin. Näihin rinnastettavien palveluasuntojen yhteisten tilojen ohjearvot ovat samoja, kuin mitä on asuntojen kohdalta määritelty. Standardissa ei kuitenkaan ole annettu erillisiä arvoja koskien asuntojen jälkikaiunta-aikaa. (SFS 5907. 2006. 11-12)

TAULUKKO 8. Standardin SFS 5907 antamat ohjearvot vanhusten palvelutalojen jälkikaiunta-ajasta (SFS 5907. 2006. 12)

Tila	Jälkikaiunta-aika (s)		
	Luokka A	Luokka B	Luokka C
Oleskeluhuone	0,50	0,60	0,70
Asuinhuone, yksiasukas	0,60	0,70	0,80
Liikunta- ja musiikkitila	0,60	0,80	1,00
Käytävätilat, porrashuoneet	0,60	0,80	0,90

Standardi SFS 5907 ei ota kantaa palvelutalojen sekä asuntojen osalta puheensirtoindeksiin. Tämän osalta tulee käyttää ympäristöministeriön asetuksessaan määrittämiä vähimmäisarvoja.

Sisäilmaluokituksessa ei ole erikseen annettu arvoja koskien palvelutalojen ääniympäristöä. Palvelutalojen hoitotiloissa voidaan kuitenkin käyttää terveydenhoitotiloissa käytettyjä ohjearvoja. Nämä arvot on kirjattu alla olevaan taulukkoon 9.

TAULUKKO 9. Sisäilmastoluokitus 2018 mukaiset arvot terveydenhuollon vastaanottohuoneeseen, tutkimushuoneeseen sekä hoituhuoneeseen (Sisäilmayhdistys ry. 2018. 14)

Tila	jälkikaiunta-aika (s)			Puheensirtoindeksi STI		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
terveydenhoidon vastaanottohuone, tutkimushuone, hoituhuone	≤ 0,6	≤ 0,8	≤ 0,8	≥ 0,7	≥ 0,6	≥ 0,6

Palvelutalojen osalta on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota tilojen hyviin akustisiin ominaisuuksiin, joilla voidaan taata toimiva sekä miellyttävä ympäristö tilan käyttäjille.

8.2 Seniorihotelli Ainola

Laskennallisesti arvioitavana kohteena työssä käytettiin hoitokoti Villa Tapiolan yhteyteen vuonna 2019 rakennettua lisäosaa. Villa Tapiola on erityisesti dementiaa kärsivien vanhuksien hoitoon erikoistunut palkittu yksityinen dementiahoitokoti Espoossa. (Villa Tapiola 2020)

Rakennetussa lisäsiivessä toimii Villa Tapiolan yhteydessä Seniorihotelli Ainola, joka on erikoistunut tasokkaisiin lyhytaikaisiin hoitojaksoihin. Kohteessa on erityisesti kiinnitetty jo suunnitteluvaiheessa erityistä huomiota tilojen esteettömyyteen, turvallisuuteen, akustiikkaan, valaistukseen sekä värimaailmaan, millä helpotetaan muistisairaiden asukkaiden jokapäiväistä toimintaa. (Laulaja, T. 2020. 23)

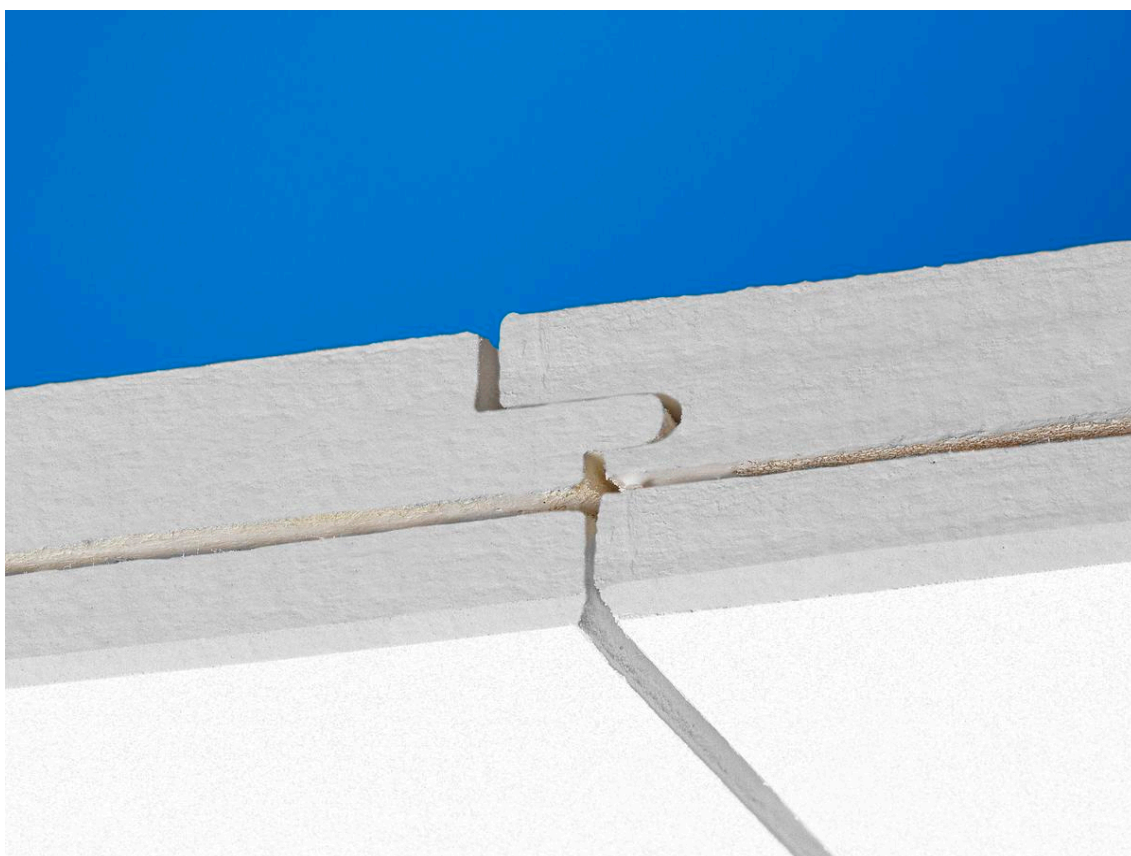
8.3 Kohteen rakenteet ja materiaalit

Kantavana rakenteena rakennuksessa on puurunko. Kohteen väliseinissä on puurunko sekä mineraalivillaeriste, päällä maalattu kipsilevy. Akustoisina materiaaleina kohteessa on käytetty Ecophon Master F, Ecophon Focus Ds sekä Ecophon Solo Circle -levyjä.

Laskennallisesti arvioitavina tiloina on ruokailu- ja oleskelutila, käytävä sekä asukashuone. Nämä tilat valittiin arvioidessa niiden olevan merkittävimpiä jokapäiväisen olemisen kannalta asukkaalle.

8.3.1 Ecophon Master F

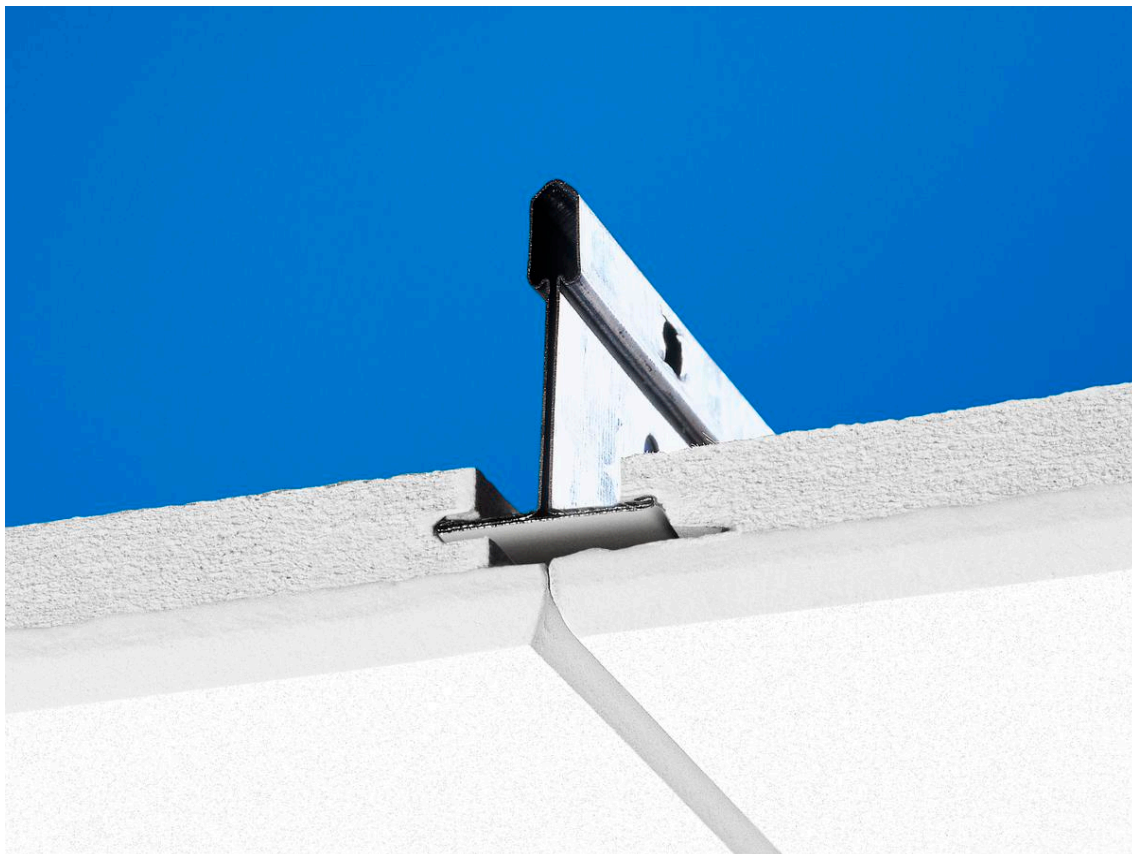
Ecophon Master F, Kuva 1, on viistereunainen 40 millimetriä vahva pontillinen akustiikkalevy, jonka runkorakenteena toimii tiheä lasivilla. Levy asennetaan suoraan kattopintaa tai koolaukseen mekaanisesti. Levyt asennetaan puskuun keskenään, jolloin levyjen reunan viiste jättää kapean uran levyjen väliin. Pontin vuoksi kattopinnasta saadaan tasainen kauttaaltaan, vaikka pohjassa pieniä kor-koeroja olisikin. Levy kuuluu absorptioluokkaan A. (Ecophon J 2020)



KUVA 1. Ecophon Master F (Ecophon J 2020)

8.3.2 Ecophon Focus Ds

Ecophon Focus Ds, Kuva 2, on piilolista asenteinen 20 millimetriä vahva akustiikkalevy, jonka runkorakenteena toimii tiheä lasivilla. Levyt asennetaan piilolistajärjestelmään, jolloin näkyviä listoja ei katossa ole. Viiste levyjen reunassa jättää levyjen saumaan pienen uran, muuten kattopinnasta muodostuu kauttaaltaan tasainen. Focus Ds levyt kuuluvat myös Absorptioluokkaan A. (Ecophon G 2020)



Kuva 2. Ecophon Focus Ds (Ecophon G 2020)

8.3.3 Ecophon Solo Circle

Ecophon Solo Circle, Kuva 3, on sisäkatosta ripustettava pyöreä niin kutsuttu leijuva akustiikka levy, jonka runkomateriaalina toimii myös tiheä lasivilla. Levyn vahvuus on 40 millimetriä. Levy on kauttaaltaan pinnoitettu ja reunat maalattu. Kohteessa levyt on ripustettu roikkumaan vaijereilla sisäkatosta, jolloin vaijerin toinen pää on ripustettu roikkumaan valaisinpistorasian koukusta ja vaijerin toinen pää kiinnitetään vaijerissa olevalla säätökoukulla levyyn ruuvattavaan kiinnikkeeseen. (Ecophon M 2020)



KUVA 3. Ecophon Solo Circle (Ecophon M 2020)

8.3.4 Ecophon Akutex™ FT

Kaikkien levyjen pintamateriaalina toimii valkoinen Ecophonin kehittämä Akutex™ FT pinnoite. Pinnoite lasivillaytimen kanssa antaa levyille erinomaisen äänen absorptiokyvyn. (Ecophon I 2020)

Valaisimet tilassa oli sijoitettu Solo Circle levyjen yläpuolelle antamaan epäsuoraa valoa tilaan. Pinnoitteen kirkas valkoinen sävy sekä sen hyvällä valonheijastavuudella onkin myös suuri merkitys epäsuoraa valaistusta käytettäessä. Tällöin valaistuksen teho ei kärsi huomattavasti valon epäsuoruudesta huolimatta.

8.4 Ruokailu- ja oleskelutilan jälkikaiunta-ajan laskenta

Seinäpinnat tilassa on maalattua kipsilevyä, kuten myös yläpohjan sisäpuoliset pinnat. Näkyviltä osin sisäkaton kipsilevyt on maalattu. Lattiamateriaalina laskennassa on käytetty betonilaatan päälle asennettua vinyylilattiaa. Kaikki tilassa käytetty absorptiomateriaali on sijoitettuna kattopintaan. Alakaton vinoilla pinnoilla oli

käytetty absorptiomateriaalina Ecophon Master F levyä ja alaslasketulla osuudella Ecophon Focus Ds levyä. Näiden lisäksi katon vinoille pinnoille oli ripustettu myös Ecophon Solo Circle levyjä yhteensä 9 kappaletta. Näistä levyistä 4 kappaletta oli halkaisijaltaan 800 millimetriä ja 5 kappaletta 1200 millimetriä.

Keskimäärin pituutta tilalla on noin 16 metriä sekä leveyttä 11 metriä. Tilan korkeutta ei saatavilla olevassa materiaalissa kerrottu, joten korkeudet arvioitiin valokuvien sekä tiedossa olleiden mittojen perusteella. Tilassa on vino sisäkatto. Sisäkattopintojen korot vaihtelivat 2,5–4,2 metrin välillä. Alaslasketun katon korkeus oli 2,5 ja vinon sisäkattopinnan korkeus 2,9–4,2 metriä. Huone ei myöskään ollut täysin kuution mallinen vaan muistutti enemmänkin T-kirjainta. Huoneen pohjapiirros esitetty kuviossa 10. Kuvat 4 ja 5 ovat valokuvia tilasta. Näitä myös hyödynnettiin arvioitaessa tilan korkeuksia. Tilan mittojen tarkkuudella on vaikutusta tuloksen oikeellisuuteen laskettaessa tilan jälkikaiunta-aikaa.

Tilasta lähti myös käytävä. Laskennassa tässä kohdassa käytettiin kuvitteellista seinää, jonka pinta-ala on aukon koon mukainen $7,5 \text{ m}^2$. Seinän absorptiosuhteena käytettiin arvoa 0,95 kaikilla taajuusalueilla. Tällä pystytään kuvastamaan ääniaaltojen siirtymistä käytävätilaan, jolloin ne eivät enää täysin heijastu takaisin ruokailu- ja oleskelutilaan.

Ruokailu ja oleskelutilan jälkikaiunta-aika laskettiin käyttämällä Sabinen kaavaa. Tilan muoto sekä absorptiomateriaalin sijoittaminen pelkästään alakatoon vaikuttavat huomattavasti laskennalla saatavaan tulokseen. Täten laskennalla saatu tulos on huomattavasti pienempi, kuin mitä tilan jälkikaiunta-aika todellisuudessa olisi, koska Sabinen kaava olettaa tilan olevan kuution mallinen, diffuusi ja absorptiomateriaalien sijoittuvan tasaisesti kaikille pinnoille. Sabinen kaava ottaa mittoina huomioon ainoastaan tilan tilavuuden sekä kaikkien pintojen absorptiosuhteen taajuuskaistoittain. Laskennasta esitetty taulukko liitteenä 2. Laskennalliseksi jälkikaiunta-ajaksi saatiin 0,46 sekuntia.



KUVA 4. Ruokailu- ja oleskelutila (Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)



KUVA 5. Ruokailu- ja oleskelutila (Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)

8.5 Käytävän jälkikaiunta-ajan laskenta

Käytävän sivuseinien pinnat olivat kauttaaltaan maalattua kipsilevyä, kuten ruokailu- ja oleskelutilassa. Lattiamateriaalina laskennassa käytettiin samaa betoni-laatanpäälle asennettua vinyylilattiaa. Käytävän toisessa päädyssä oli lasiseinä, jossa oli myös ulko-ovi ja toinen pääty oli avonainen, joka johti ruokailu- ja oleskelutilaan. Absorptiomateriaalina käytävässä oli käytetty Ecophon Focus Ds levyjä, jotka oli sijoitettu kokonaisuudessaan käytävän kattopintaan.

Pituutta käytävällä oli noin 34 metriä sekä leveyttä 3 metriä. Tilan korkeuden arvioitiin olevan sama 2,5 metriä, kuin mitä se oli arvioitu olevan ruokailu- ja oleskelutilan alaslasketun katon osuudella. alla tilan pohjapiirros, kuvio 11, sekä tilasta olevat arviointina toimineet kuvat 6 ja 7.

Laskennassa käytävän toisen päätyseinän oletettiin olevan kokonaan lasia, minkä mukaan sille otettiin absorptiosuhteen arvot laskentaa varten. Käytävän toiselle avonaiselle päädylle, mikä rajoittuu ruokailu- ja oleskelutilaan, annettiin absorptiosuhteen arvoksi 0,95 kaikille taajuusalueille. Tämä johtuu siitä, että laskennassa käytävä sekä ruokailu- ja oleskelutila oli jaettu omiin osioihinsa. Ääniaalloista, jotka lähtevät käytävästä ja kulkeutuvat aukon kautta oleskelutilaan, hyvin pieni osa heijastuu enää takaisin käytävän puolelle.

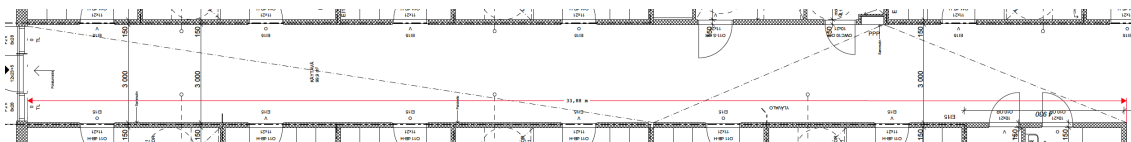
Käytävän jälkikaiunta-ajan laskenta toteutettiin käyttämällä Sabinen kaavaa. Tässä tilan suorakulmaisen muodon vuoksi Sabinen kaava antaa jo vertailukelpoisemman tuloksen tilan jälkikaiunta-ajan suhteen. Absorptiomateriaalin sijoittelusta sekä tilan pituudesta johtuen, todellinen jälkikaiunta-aika kuitenkin on suurempi, kuin mitä laskennallisesti tulokseksi saadaan. Taulukko tilan jälkikaiunta-ajan laskennasta liitteenä 4. Sabinen kaavaa käyttäen, laskemalla käytävän jälkikaiunta-ajaksi saatiin 0,28 sekuntia.



KUVA 6. Käytävä ulkopäädyn suuntaan (Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)



KUVA 7. Käytävä ruokailu- ja oleskelutilan suuntaan (Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)



KUVIO 11. Pohjapiirros käytävästä (Oravainen, T. 2020)

8.6 Asukashuone

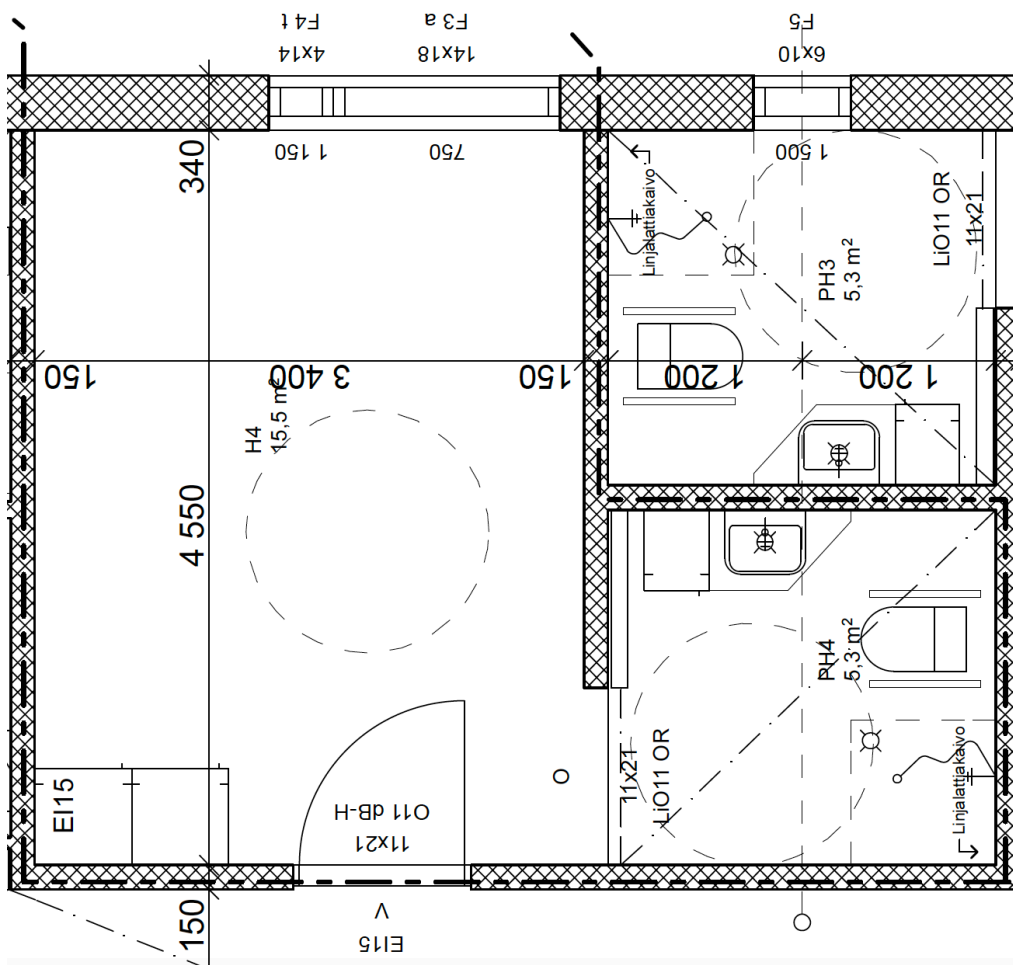
Asukashuoneen pintamateriaaleina seinillä oli maalattu kipsilevy. Lattiamateriaalina laskennassa käytettiin betonilaatan päälle asennettua vinyylilattiaa. Laskennassa sisäkattopintana käytettiin maalattua kipsilevyä. Tilassa kuvaan perustuen ei ollut käytössä yhtään absorptiomateriaalia.

Pohjapiirustuksen mittojen mukaan huoneen pituus on 4,55 metriä sekä leveys 3,4 metriä. Kuvan sekä pohjapiirustuksen mukaan tilan korkeuden arvioitiin olevan noin 3,0 metriä. Alla kuva huoneen pohjapiirustuksesta, kuvio 12, sekä itse huoneesta, kuva 8.

Asukashuoneen jälkikaiunta-ajan laskenta toteutettiin käyttämällä Sabinen kaavaa. Tilan koon ja muotojen vuoksi Sabinen kaava antaa tilasta hyvin kelvollisen tuloksen, jota voidaan hyödyntää arvioidessa tilan akustisia ominaisuuksia. Tilan sisäkatossa ei myöskään ollut absorptiomateriaalia, joten tälläkään ei ollut tulosta vääristävää vaikutusta. Tämän tyylisten tilojen akustisia ominaisuuksia arvioitaessa Sabinen kaavaa voidaankin käyttää hyvin perustellusti. Liitteenä olevassa taulukossa 7 on laskettuna jälkikaiunta-aika. Jälkikaiunta-ajan laskuihin ei oletettu huomioon tilassa olevia kalusteita. Vertailun vuoksi laskenta on myös toteutettu valmiilla laskentapohjalla, Liite 6. Laskemalla asukashuoneen jälkikaiunta-ajaksi saatiin 1,29 sekuntia. Valmista laskentapohjaa käyttäen tilan jälkikaiunta-ajaksi saatiin 1,39 sekuntia, mikä on hyvin lähellä toista laskettua tulosta. Erot tulosten välillä johtuu laskennoissa käytettyjen materiaalien absorptiosuhdearvoista.



KUVA 8. Asukashuone (Ainola seniorihotelli 2019)



KUVIO 12. Asukashuoneen pohjapiirustus (Oravainen, T. 2020)

9 POHDINTA

Ihmisen kuulo heikkenee suurimmalla osalla luontaisesti iän myötä, mikä asettaa erityisiä vaatimuksia palvelutalojen sekä hoivakotien tilojen akustiikkaan. Tällä on suuri merkitys asukkaiden viihtyvyyteen, kuin myös terveyteen. Kuulon heikentessä erityisesti korkeampien taajuuksien osalta, vaikeuttaa se huomattavasti puheen ymmärtämistä meluisassa ympäristössä.

Huonollakin akustoinnilla saadaan yleensä tehokkaasti vaimennettua korkeampia taajuuksia, mutta tällöin matalat taajuudet jäävät tilaan kaikumaan, aiheuttaen häiritsevää melua, mikä vaikeuttaa entisestään puheen ymmärrettävyyttä. Tämän vuoksi palvelutalojen sekä hoivakotien tiloissa, mitkä ovat puheen ymmärrettävyyden kannalta merkittäviä, tulisikin kiinnittää erityistä huomiota tilan akustiseen ääniympäristöön. Tällöin äänenvaimennuksen tulisi tapahtua kauttaaltaan mahdollisimman tasaisesti koko taajuusalueelta. Tämä helpottaa huonokuuloisen henkilön osalta puheen ymmärrettävyyttä huomattavasti. Palvelutaloissa ei tämän vuoksi tulisi kiinnittää huomiota pelkästään jälkikaiunta-aikaan, vaan ottaa huomioon myös puheen selkeys STI-arvo huomioiden.

Hollannissa vuonna 2015 julkaistun tutkimuksen mukaan, mikä keskittyi erityisesti puheen ymmärrettävyyden mittauksiin. Tilojen huono akustiikka heikentää puheen ymmärrystä henkilöillä, joiden kuulo on jo heikentynyt. Erityisesti tämä voi myös korostua henkilöillä, jotka tämän lisäksi kärsivät myös dementiasta. Tämä aiheuttaa erityisesti yksinäisyyttä ja masennusta, millä on myös yhteys henkiseen sekä fyysiseen hyvinvointiin.

Hollantilaisessa tutkimuksessa myös viitattiin H. Saton vuoden 2012 tutkimukseen, minkä mukaan STI-arvon tulisi olla ikäkuulosta kärsivien tiloissa 0,72, jotta se vastaisi normaalikuuloisten arvoa 0,6. Hollantilaisessa pienessä tutkimuksessa oli mukana 8 eri kohdetta. Vain yksi näistä tiloista ylsi tyhjänä STI-arvoon 0,77, mikä ylitti rajana pidetyn 0,72. Muiden tilojen STI-arvot olivat väliltä. 0,5–0,7. Kun mittauksissa otettiin vielä huomioon todellinen taustäänitaso toiminnan aikana, tippuivat STI-arvot huomattavasti välillä 0,00–0,51. Tutkimus oli kuitenkin

suhteellisen pieni, eikä antanut tarkkaa kuvaa kokonaistilanteesta. Pohjan kuitenkin laajempaa tutkimusta, sekä sen tarvetta varten. (Hak, C., Hout, N., Kort, H. & Reinten, J. 2015. 415–421)

Viitaten samaiseen H. Saton, M. Morimoton ja M. Wadan tekemään tutkimukseen, missä vertailtiin nuorten aikuisten sekä vanhempien henkilöiden puheen ymmärtämistä, voi esittää ehkä aiheestakin kysymyksen, onko ympäristöministeriön esittämät arvot tilojen STI-arvon suhteen liian pieniä. Vaikkakin arvo 0,6 onkin vain vähimmäisarvo, tulisiko sen kuitenkin olla jo lähtökohdin suurempi palvelutaloissa sekä hoivakodeissa. Jotta vanhempien henkilöiden puheen ymmärtäminen vastaisi nuorempia, tulisi STI arvon olla 0,12 korkeampi sekä U_{50} arvon olla 4 desibeliä korkeampi. Parantamalla puheen selvyyttä voidaan parantaa vanhempien henkilöiden terveyttä sekä hyvinvointia. Tällä voidaan mahdollisesti myös pienentää terveydenhoidon kustannuksia sairauksissa, mitkä liittyvät meluun sekä puheen vaikeaan ymmärtämiseen, kuten puhe ja kuulovauriot sekä syrjäytymisestä johtuva masennus. (Morimoto, M., Sato, H. & Wada, M. 2012. 9)

9.1 Lasketun kohteen parannusehdotukset

Pääsääntöisesti kohteessa oli otettu hyvin huomioon myös tilojen akustiikka. Pieniä puutteita myös kuitenkin löytyi. Erityisesti puutteet akustoinnin suhteen löytyi asukashuoneesta, missä akustoivaa materiaalia ei ollut kuvan perusteella käytetty missään pinnassa.

Tilan akustiikan arviointi kohteessa toteutettiin laskemalla, mikä tuo omat rajoitteensa tulosten tarkkuuden suhteen. Erityisesti ruokailu- ja oleskelutilassa tilan muodot vaikuttavat huomattavasti siihen tulokseen, mikä laskennalla voidaan saada.

9.1.1 Ruokailu- ja oleskelutila

Laskemalla tilan jälkikaiunta-ajaksi saatiin 0,46 sekuntia. Tilan muodot huomioiden tämä tulos on melko paljon liian lyhyt suhteessa siihen, mitä se tulisi todellisuudessa olemaan.

Laskenta ei ota kantaa tilan muotoihin sekä tämän ääntä hajottavaan vaikutukseen. Laskenta olettaa myös, että tilan kaikki absorptiomateriaali on sijoitettu tasan tasaisesti tilan kaikille pinnoille. Tilassa kuitenkin kaikki materiaali oli sijoitettu vain kattopintaan, seinäpintojen ollen kokonaan paljaat. Todellisuudessa tämän tilan jälkikaiunta-aika olisi nämä seikat huomioon ottaen likimain 0,7 sekuntia. Tämä kuitenkin täyttää arvot mitkä ympäristöministeriön asetuksessa tämän tyyppisille tiloille on annettu. Standardin SFS 5907 mukaan arvioidulla arvolla päästään luokan C tulokseen, mikä vastaa sitä tasoa, minkä ympäristöministeriön on antanut. Laskettu tulos kuitenkin standardin mukaan täyttää luokan A arvot.

Tilan muodot sekä suuret ikkunapinnat vaikuttavat siihen, että akustoinnin lisääminen järkeville seinäpinnoille, jolloin pinta tulisi puhetasolle, on hyvin hankalaa. Tämä onnistuu vain tilan päätyseinän osalta. Ulkoseinällä lisääkustiikan järkevin sijoituskohde on ikkunalinjan yläpuolelle. Näin jälkikaiunta-aikaa saadaan laskettua sekä tilan akustointia parannettua vastaamaan korkeampaa luokkaa standardissa SFS 5097.

Ulkoseinällä ikkunoiden yläpuolelle voidaan asentaa esimerkiksi Ecophon Akusto Wall A levyä, jolla pituutta on 2,7 metriä sekä leveyttä 1,2 metriä. Kokonaistarve levyillä olisi noin 4 kappaletta. Levyt asennetaan listajärjestelmään, sekä leikataan tarpeen mukaan niin, että mahdollisimman suuri osa seinäpinnasta täyttyy yhtenäisenä. Väriltään valkoisena, jolloin erottuvuus muusta rakenteesta ei olisi merkittävä. Havainne valkoisena kuvissa 9 ja 10. (Ecophon C 2020)



KUVA 9. Havainnekuva seinäkustoinnista ruokailu- ja oleskelutilassa (muokaten Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)



KUVA 10. Havainnekuva seinäkustoinnista ruokailu- ja oleskelutilassa (muokaten Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)

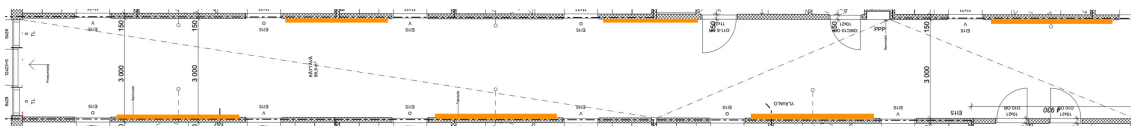
Päätyseinälle kahden asukashuoneen oven väliin, sekä viimeisen oven ja ulkoseinän väliin voidaan esimerkiksi asentaa Ecophon Akusto Wall C levyä koko leveydeltä. Levyt voidaan leikata siten, että levyjen yläreuna on oven listoituksen yläreunan tasolla sekä alareuna jalkalistan päällä. Levyt asennetaan listajärjestelmään. Yhden levyn leveys on 0,6 metriä ja pituus 2,7 metriä. Levyjen kokonaistarve tässä kohtaan olisi 10 kappaletta. Havainne harmaana kuvassa 10 (Ecophon D 2020)

Nämä toimenpiteet pienentävät jälkikaiunta-aikaa, sekä vähentävät jossain määrin vaakasuuntaisten ääniaaltojen aiheuttamaa kaikuisuutta. Laskennallisesti jälkikaiunta-aika näiden toimenpiteiden jälkeen olisi 0,41 sekuntia. Esimerkkilaskennasta parannusten jälkeen liitteessä 3.

9.1.2 Käytävä

Laskemalla tilan jälkikaiunta-ajaksi saatiin 0,28 sekuntia. Tässä tilassa laskemalla saatu aika vastaa suhteellisen hyvin mittaamalla saatavaa aikaa. Kaikki tilan akustoiva materiaali kuitenkin sijaitsee kattopinnassa, minkä vuoksi vaakasuuntaiset aallot pääsevät heijastumaan helposti käytävän vastakkaisista sivuseinistä useamman kerran. Tämä aiheuttaa tärykaikua sekä heikentää puheen ymmärtämistä tilassa.

Jotta haitallista vaakasuuntaisten ääniaaltojen heijastumista seinistä voitaisiin ehkäistä, tulisi seinille lisätä ääntä absorboivaa materiaalia. Tuotteena tässä voidaan käyttää esimerkiksi samaa Ecophon Akusto Wall A levyä, mitä esitin myös ruokailu- ja oleskelutilan ikkunoiden yläpuolelle. Toisena vaihtoehto voidaan myös ajatella Ecophon Akusto Wall C levyä, mitä myös ehdotettiin ruokailu- ja oleskelutilaan. Yksittäiset levyt voidaan asentaa ristikkäin käytävin molemmin puolin pohjakuvaan kuvion 13 esitetyn mallin mukaisesti. Levyjen pinta voi olla yksivärinen, tai niihin voidaan tulostaa myös haluttu kuva asiakkaan toiveiden mukaan. Sijoittelua havainnollistettu myös kuvassa 11.



KUVIO 13. Ehdotelma käytävän seinän akustiikkalevyjen sijoittelusta (muokaten Oravainen, T. 2020)



KUVA 11. Ehdotelma seinäakustoinnista (muokaten Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)

Tämän parannuksen jälkeen laskennallinen jälkikaiunta-aika käytävässä olisi 0,21 sekuntia. Laskenta esitetty liitteessä 5. Tulee kuitenkin huomioida, että käytävä tilaa ei vaimenneta liikaa suhteessa asukashuoneisiin. Liika vaimennus voi johtaa siihen, että asukashuoneessa käydyt keskustelut kuuluvat ymmärrettävästi käytävään, mikä on haitallista asukkaan yksityisyyttä ajatellen. Tämän vuoksi käytävän taustäänitaso tulisi pitää korkeammalla tasolla, kuin mitä se on asukashuoneissa.

9.1.3 Asukashuone

Laskemalla saatu jälkikaiunta-aika asukashuoneesta oli 1,29 sekuntia. Tämä on huomattavasti suurempi, kuin mitä ympäristöministeriön asetuksessa on määritetty. Maksimiarvo jälkikaiunta-ajalle ympäristöministeriön asetuksessa on 0,8 sekuntia. Standardissa SFS 5097 tämä vastaa luokkaa C, jotta päästään luokkaan A tulisi jälkikaiunta-ajan olla alle 0,6 sekuntia.

Tila on muodoltansa sekä kooltansa juuri oikein tyyppinen, jotta laskentatulosta voidaan pitää luotettavana. Tilaan tulee lisätä ääntä absorboivaa materiaalia, jotta nämä raja-arvot voitaisiin saavuttaa. Parhaiten tämä voidaan toteuttaa lisäämällä absorptiomateriaalia tilan kattoon, mikä tässä vaiheessa on kipsirakenteinen. Tilan suorakulmaisesta muodosta johtuen myös vaakasuuntaisten heijastusten vaikutus tulisi ottaa huomioon lisäämällä absorptiomateriaalia myös kahdelle ei vastakkaiselle seinäpinnalle.

Jotta tila säilyttäisi yhtenäisen muodon suhteessa muihin tiloihin, voidaan pitää järkevänä vaihtoehtona käyttää katon akustoinnissa Ecophon Focus Ds levyjä asennettuna piilolistajärjestelmään. Tällä myös mahdollistetaan pieni asennuskorkeuden tarve, jolloin huonekorkeus ei huomattavasti muutu matalammaksi.

Seinäakustointina tilassa voidaan käyttää Ecophon Akusto Wall A. Samaa tuotetta sovellettiin myös yhtenä vaihtoehtona käytävätilan seinien akustoinnissa. Tuote asennetaan vaakatasoon täysikokoisena keskitetysti sängyn yläpuolelle kylpyhuoneen vastaiselle seinälle. Tuotteen pintaan voidaan tulostaa kuva tai grafiikka, jolla voidaan elävöittää huoneen ilmettä. Päätyseinien äänen absorptiota voidaan parantaa käyttämällä ikkunaseinällä puuvillaverhoja. Kuvassa 12 havainnollistetaan tuotteiden sijoittelua eri pinnoille.



KUVA 12. Havainnollistava ehdotelma huoneen akustoivista pinnoista. (muokaten Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019)

Näillä toimenpiteillä saadaan huoneen jälkikaiunta-aika laskettua tasolla, millä saavutetaan standardin SFS 5097 mukainen A-luokitus. Laskettu jälkikaiunta-aika parannusten jälkeen on 0,30 sekuntia. Laskelma parannusehdotuksesta esitetty liitteessä 8.

Vähentämällä tilan kaikuisuutta, saadaan samalla laskettua huoneen äänitasoa huomattavasti alemmaksi. Pienempi jälkikaiunta-aika parantaa myös puheen ymmärrettävyyttä tilassa. Kun tilan äänitasoa lasketaan alemmaksi vähentää se myös häiriötä viereisiin tiloihin. Matalampi äänitaso myös laskee stressitasoa ja myös sydämen syke on rauhallisempi.

9.2 Jatkotoimenpiteet

Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti työ oli tarkoitus toteuttaa useammassa kohteessa laskemalla sekä tekemällä mittaukset jälkikäytä-ajan suhteen. Koronaepidemian luoman yhteiskunnallisen tilanteen vuoksi työtä ei kuitenkaan tässä suunnitellussa laajuudessa pystytty toteuttamaan.

Jotta opinnäytetyön todellinen hyöty aiheena nousisi esiin ja saataisiin todellisia arvoja laskettujen tueksi tutkitusta kohteesta, tulisi opinnäytetyötä jatkaa yleisen tilanteen helpotuttua omana työnään. Työtä olisi myös hyvä jatkaa siten, että tutkimuksia tehtäisiin useammasta eri kohteesta, kunnallisista sekä yksityisten tahojen ylläpitämistä palvelutaloista sekä hoivakodeista.

Tekemällä tutkimuksen useammasta eritahojen ylläpitämästä kohteesta saadaan vertailukelpoista tietoa siitä, mikä on keskimäärin tilanne ja kuinka hyvin palvelutaloissa ja hoivakodeissa on sisätilojen äänimaailma otettu huomioon. Laajempi otanta myös mahdollistaa epäkohtiin puuttumisen paremmin. Koska kaikkien palvelutalojen sekä hoivakotien tutkimista ei kuitenkaan voida pitää järkevänä, tulisi tutkimus erityisesti kohdistaa niihin kohteisiin, missä tilojen hyvällä akustiikalla on suurempi merkitys asukkaiden kannalta. Tämän tyyppisiä tiloja ovat esimerkiksi dementiaa kärsivien hoitoon erikoistuneet yksiköt.

Tutkimuksen tekeminen on myös tärkeätä, koska valmiita tutkimuksia, mitkä ovat keskittyneet erityisesti palvelutaloihin sekä hoivakoteihin, on suhteessa vähän saatavilla. Vertailukohtana tässä voidaan pitää esimerkiksi kouluissa tehtyjä tutkimuksia akustiikan merkityksestä oppimiseen.

Kaikki meistä vanhenevat ja suurin osa ikääntyneistä tulee viettämään viimeiset vuotensa palvelutaloissa tai hoivakodeissa, joten on myös merkittävää, että nämä tilat ovat mahdollisimman viihtyisät, toimivat ja niissä on helppoa pitää yllä sosiaalisia suhteita. Tilojen tulee osaltaan mahdollistaa, että myös ikääntynyt voi näinä vuosina viettää mahdollisimman nautinnollista sekä ihmisarvoista elämää.

LÄHTEET

Ainola seniorihotelli. 2020. Viihtyisät hotellihuoneet. Luettu 15.5.2020. http://www.ainolahotelli.fi/ainola/ainola/index.php?page_id=13

Blomgren, K. 2018. Ikäkuulo. Luettu 1.5.2020. https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00840

Everest, F. Pohlmann, K. Master handbook of acoustics. Luettu 20.5.2020. <https://www-accessengineeringlibrary-com.libproxy.tuni.fi/content/book/9780071841047> Saatavilla rajoitetusti.

Ecophon. 2017. Melun vaikutus terveydenhoidossa. Pdf-tiedosto. Luettu 1.5.2020. https://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/fi/esitteet/fi_7793-summery-guide-hc-product_low_170627.pdf

Ecophon Suomi. 2019. Huoneakustiikka, ohjeita huoneakustiikan toteutukseen. Tampere: Hämeen kirjapaino Oy.

Ecophon A. 2020. Akustiikkasanasto. Luettu 26.2.2020. <https://www.ecophon.com/fi/knowledge/acoustic-knowledge/akustiikkasanasto/#acoustics>

Ecophon B. 2020. Akustiikkatutkimus vanhusten hoitopaikoissa. Luettu 1.5.2020. <https://www.ecophon.com/fi/knowledge/akustiikkatutkimus-vanhusten-hoitopaikoissa/>

Ecophon C. 2020. Ecophon Akusto Wall A. 20.5.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Sein-asennukset/Akusto/Akusto--Wall-A-TECH/>

Ecophon D. 2020. Ecophon Akusto Wall C TECH. 20.5.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Sein-asennukset/Akusto/Akusto--Wall-C-TECH/>

Ecophon E. 2020. Ecophon Focus A. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Focus/Focus--A/>

Ecophon F. 2020. Ecophon Focus B. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Focus/Focus--B/>

Ecophon G. 2020. Ecophon Focus Ds. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Focus/Focus--Ds/>

Ecophon H. 2020. Ecophon Focus SQ. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Focus/Focus--SQ/>

Ecophon I. 2020. Ecophon Master A. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Master/Master--A/>

- Ecophon J. 2020. Ecophon Master F. Luettu 10.5.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Master/Master--F/>
- Ecophon K. 2020. Ecophon Master Rigid A. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Master/Master--Rigid-A/>
- Ecophon L. 2020. Ecophon Master SQ. Luettu 4.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Moduulikatot/Master/Ecophon-Master--SQ/>
- Ecophon M. 2020. Ecophon Solo Circle. 3.3.2020. <https://www.ecophon.com/fi/tuotteet/Leijuvat-akustiikkakent-t-ja-riippupaneelit/Solo/Solo--Circle/>
- Ecophon N. 2020. Puheen tuottaminen ja ymmärtäminen. Luettu 25.2.2020. <https://www.ecophon.com/fi/knowledge/acoustic-knowledge/basic-acoustics/puheen-tuottaminen-ja-ymmartaminen/>
- Gyptone A. 2020. Gyptone Tile Point 11. Luettu 3.3.2020. <https://www.gyptone.fi/tuotteet/gyptone-tile-point-11-reuna>
- Gyptone B. 2020. Gyptone Tile Quattro 50. Luettu 3.3.2020. <https://www.gyptone.fi/tuotteet/gyptone-tile-quattro-50-reuna>
- Hak, C., Hout, N., Kort, H. & Reinten, J. 2015. Measurements of speech intelligibility in common rooms for older adults as a first step towards acoustical guidelines. Luettu 3.4.2020. http://web.a.ebscohost.com.libproxy.tuni.fi/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzEwNTU2MTdfX0FO0?sid=35fdab59-7ecd-4a0f-9c85-c0943505eced@sessionmgr4006&vid=0&format=EB&lpid=lp_415&rid=0 Saata-villa rajoitetusti.
- Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2007. RIL 243-1-2007, Rakennusten akustinen suunnittelu. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- JCW. 2020. Absorption coefficient chart. Luettu. 20.5.2020. <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/>
- Kilpelä, N. 2019. Esteetön rakennus ja ympäristö. 3. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Kilpikari, J. konseptikehittäjä. 2020. Jälkikaiunta-aika laskentataulukko. Sähköpostiviesti. Luettu 28.1.2020.
- Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Luettu 14.5.2020. [https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/talonrakentamisen-akustiikka\(471f1108-ba98-4e6f-89af-7b91f3c1c527\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/fi/publications/talonrakentamisen-akustiikka(471f1108-ba98-4e6f-89af-7b91f3c1c527).html)
- Laukkanen, A-M. & Leino, T. 1999. Ihmeellinen ihmisääni. Helsinki: Gaudeamus Oy.
- Laulaja, T. 2019. Dementiakoti Villa Tapiola Oy omavalvontasuunnitelma. Pdf-tiedosto. Luettu 15.5.2020. http://www.ainolahotelli.fi/ainola/ainola/kcfinder/upload/files/VillaTapiola_Ainola_OVS_111119.pdf

Miettunen, E. & Sarkkinen, J. 2019. Seniorihotelli Ainola: Hyvä ääniympäristö turvaa muistisaira-an arjen. Luettu 1.3.2020. <https://www.akustiikkaeste-tiikka.fi/seniorihotelli-ainola-hyva-aa-niym-pa-risto-turvaa-muistisaira-an-arjen.html>

Oravainen, T. tekninen neuvoja. 2020. Pohjakuva. Sähköpostiviesti. Luettu 19.3.2020.

Puranen, J. 2016. Fysiikan peruskurssin opintomateriaali. Tampereen ammatti-korkeakoulu. Luettu 2.3.2020. saatavilla rajoitetusti.

Sato, H. Morimoto, M. Wada, M. Relationship between listening difficulty rating and objective measures in reverberant and noisy sound fields for young adults and elderly persons. Luettu 25.5.2020. <https://asa-scitation-org.libproxy.tuni.fi/doi/abs/10.1121/1.4714790> Saatavilla rajoitetusti.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Mustasaari: KTMP Group Oy Ab.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset. Luettu 1.4.2020. <https://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>

Standardi EN ISO 11654:1997. Rating of sound absorption. Luettu 20.4.2020. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/11946.html.stx> Saatavilla rajoitetusti.

Standardi SFS 5907. 2006. Rakennusten akustinen luokitus. 3.3.2020. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/SFS/ID2/5/2766.html.stx> Saatavilla rajoitetusti.

Standardi SFS-EN ISO 3382-1:2009. Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part:1 Performance Spaces. Luettu 1.5.2020. <https://online-sfs-fi.libproxy.tuni.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/3/130685.html.stx> Saatavilla rajoitetusti.

Villa Tapiola. 2020. Dementiakoti Villa Tapiola. Luettu 14.5.2020. http://www.villatapiola.fi/villatapiola/index.php?page_id=2

Vorländer, M. 2008. Auralization Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality. Luettu 20.5.2020. https://andor.tuni.fi/discovery/fulldisplay?docid=alma9910622851805973&context=L&vid=358FIN_TAMPO:VU1&lang=fi&search_scope=MyInst_and_CI&adapter=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=any,contains,auralization&offset=0 Saatavilla rajoitetusti.

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus. Luettu 1.4.2020. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161953>

Äänipää A. 2005. Konsonanttien taajuudet. Luettu 25.2.2020. http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu_1.htm#mozToclid252614

Äänipää B. 2005. Puheäänen taajuudet. Luettu 25.2.2020. http://www.aanipaa.tamk.fi/taajuu_1.htm#mozToclid252614

LIITTEET

Liite 1. Eri materiaalien ja rakenteiden absorptiokertoimia

Aine / rakenne	Absorptiokerroin					
	125	250	500	1000	2000	4000
Kiviainesinä, rapattu ja maalattu	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Kiviainesinä, rapattu ja tapetoitu	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
Kevytbetoni, maalattu	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
2*13mm kipsilevy, metalliranka + mineraalivilla eriste	0,20	0,15	0,10	0,08	0,04	0,02
Keraamiset laatat seinässä	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Linoleummimatto betonialustalla	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Ikkuna 2-kertainen	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Laakaovi 20 – 25 kg/m ²	0,14	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05
Puuvillaverhot 0,033 kg/m ² , laskotettu puoleen alasta	0,07	0,31	0,46	0,81	0,66	0,54
Ecophon Focus SQ 20 mm Liima-asennettu	0,05	0,35	0,70	0,95	1,00	1,00
Ecophon Master SQ 40 mm Liima-asennettu	0,20	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Ecophon Focus A 20 mm+ 200 mm alaslasku	0,50	0,90	1,00	0,90	1,00	1,00
Ecophon Master A 40 mm + 200 mm alaslasku	0,60	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00
Ecophon Master Rigid A gamma 20mm + 200 mm alaslasku	0,45	0,40	0,50	0,30	0,20	0,15
Ecophon Akusto Wall C Texona 40 mm + Thinline listat 50 mm	0,25	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Ecophon Focus Ds 20mm + 200mm alaslasku	0,50	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00
Ecophon Master F 40mm ruuvi kiinnitys koolaukseen	0,30	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00
Sileä kipsilevy + alaslasku 200 mm T-listarunko	0,40	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05
Pyöreäreikäinen kipsilevy, reikäala 12% + akustinen huopa + alaslasku 200 mm	0,55	0,70	0,75	0,65	0,60	0,55
Neliöreikäinen kipsilevy, reikäala 18% + akustinen huopa + alaslasku 200 mm	0,57	0,63	0,73	0,67	0,67	0,58
Kipsilevyalakatto ruuvi kiinnitteinen	0,20	0,15	0,10	0,08	0,04	0,02
78 reikäinen reikätiili muurattuna syrjällään suoraan betoniseinän eteen	0,05	0,15	0,35	0,85	0,45	0,55
Kuten edellä + 50 mm:n ilmarako, jossa mineraalivilla	0,17	0,88	0,94	0,64	0,90	0,75

(Vorlander, M. 2008. 304; Siikanen, U. 2014. 173; Ecophon D 2020; Ecophon E 2020; Ecophon G 2020; Ecophon H 2020; Ecophon I 2020; Ecophon J 2020; Ecophon K 2020; Ecophon L 2020; Gyptone A 2020; Gyptone B 2020; JCW 2020)

Liite 5. Käytävä jälkikaiunta-ajan laskenta muutosten jälkeen

Käytävä, Muutosten jälkeen								
huoneimat	pituus	n. 13,9m	Tilavuus V		104,25	m3		
	leveys	n. 3,0m	Pohjapinta-ala		41,70	m2		
	korkeus	n. 2,5m						
Ai								
nro	pinta-ala m2	125	250	500	1000	2000	4000	
1	käytävän sivuseinä 1	59,07	0,20	0,15	0,10	0,08	0,04	0,02
2	käytävän sivuseinä 1 ovet 6 kpl 11*21	13,86	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
3	käytävän sivuseinä 1 ovet 1 kpl 10*21	2,10	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
4	käytävän pääty ruokailu ja oleskelutilan suuntaan	7,50	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
5	käytävän sivuseinä 2	56,97	0,20	0,15	0,10	0,08	0,04	0,02
6	käytävän sivuseinä 2 ovet 6 kpl 11*21	13,86	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
7	käytävän sivuseinä 2 ovet 2 kpl 10*21	4,20	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
8	Käytävän pääty ulos	7,50	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
9	käytävän sisäkatto Focus DS	41,70	0,50	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00
10	käytävän lattia betoni+vinyylilaatta	41,70	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
11	Ecophon Akusto Wall A	19,44	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00
	pintojen absorptioalat	A	125	250	500	1000	2000	4000
1	A1	11,8	8,9	5,9	4,7	2,4	1,2	
2	A2	1,9	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	
3	A3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
4	A4	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	
5	A5	11,4	8,5	5,7	4,6	2,3	1,1	
6	A6	1,9	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	
7	A7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	
8	A8	3,0	2,3	1,5	1,3	1,1	0,8	
9	A9	20,9	35,4	35,4	35,4	41,7	41,7	
10	A10	0,8	0,8	1,3	1,3	1,7	1,7	
11	A11	3,9	13,6	19,4	19,4	19,4	19,4	
	Huoneen absorptioala	A=An	125	250	500	1000	2000	4000
	Pintojen 1-9 absorptioalat yhteensä		63,7	80,1	79,1	76,5	78,4	75,7
	Jälkikaiunta-aika s	$T=0,161*V/A$	125	250	500	1000	2000	4000
			0,26	0,21	0,21	0,22	0,21	0,22
	jälkikaiunta-aika 250 - 2000 Hz		0,21	s				

(Volander, M. 2008. 304; Siikanen, U. 2014. 173; Ecophon C 2020; Ecophon G 2020)

Liite 6. Asukashuone jäykkäiunta-ajan laskenta valmiilla pohjalla

JÄLKIKAIUNTA-AJAN LASKENTA

Rakennuksen tyyppi:	
Vanhusien palveluolot - Asuinhuone, yksi asukas	
Huoneen nimi: potilashoiteihuone	
Huoneen leveys B [m]:	3,40
Huoneen pituus L [m]:	4,55
Huoneen korkeus H [m]:	3,00
Katon perusmateriaali:	
Seinän 1 perusmateriaali:	13 mm kipsilevy
Seinän 2 perusmateriaali:	13 mm kipsilevy
Seinän 3 perusmateriaali:	13 mm kipsilevy
Seinän 4 perusmateriaali:	13 mm kipsilevy
Lattian perusmateriaali:	Linoleumpäällyste betonilla
Tilian kalustus:	Kalustamaton
Ikkunat:	
Seinän 1 aukkopinta-ala [m ²]:	0,00
Seinän 2 aukkopinta-ala [m ²]:	2,52
Seinän 3 aukkopinta-ala [m ²]:	0,00
Seinän 4 aukkopinta-ala [m ²]:	0,00
Ovet:	0,00
	0,56
	2,31
	2,31
Katon vaimennusmateriaali 1:	
Ei lisävaimennusta	
pinta-ala [m ²]:	0,00
=	0,00 %
Katon vaimennusmateriaali 2:	
Ei lisävaimennusta	
pinta-ala [m ²]:	0,00
=	0,00 %
Seinän vaimennusmateriaali:	
Akusto Wall A/Akulux FT 40/43	
Seinän 1 materiaalin pinta-ala [m ²]:	0,00
=	0,00 %
Seinän 2 materiaalin pinta-ala [m ²]:	0,00
=	0,00 %
Seinän 3 materiaalin pinta-ala [m ²]:	0,00
=	0,00 %
Seinän 4 materiaalin pinta-ala [m ²]:	0,00
=	0,00 %

Tilian akustinen luokka D tai huonompi	
Jäykkäiunta-aika (s) taajuuksittain:	
125 Hz	250 Hz
500 Hz	1000 Hz
2000 Hz	4000 Hz
0,68	1,05
1,28	1,63
1,61	1,68
SFS 5907 jäykkäiunta-ajat (s) valituille tilalle (250–4000 Hz)	
Luokka A:	Luokka B:
0,60	0,70
	0,80
Luokka A edustaa parasta akustista laatua, Luokka B hyvää akustikkaa ja Luokka C vastaa minimilassoa.	

