

Johanna Kalliainen

**ÄÄNIYMPÄRISTÖN HUOMIOIMINEN KOTITEATTERIN SUUNNITTELUSSA**

# **ÄÄNIYMPÄRISTÖN HUOMIOIMINEN KOTITEATTERIN SUUNNITTELUSSA**

Johanna Kalliainen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Johanna Kalliainen  
Opinnäytetyön nimi: Ääniympäristön huomiointi kotiteatterin suunnittelussa  
Työn ohjaajat: Lehtorit Sanna Alitalo ja Anu Montin  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018  
Sivumäärä: 65 + 4 liitettä

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia tilasuunnitelma omakotitalon käyttöullakoksi mitoitettuun tilaan ääniympäristö huomioiden. Tilasuunnitelmaan kuului kotiteatterin lisäksi säilytys- ja oleskelutilan ja video- ja lautapeliin pelaamiseen tarvittavien tilatarpeiden suunnittelu.

Tilasuunnittelua ohjasivat käyttöturvallisuus ja ääniympäristö. Tilaan suunniteltiin pintamateriaalit ja -värit, sisustus, kalustus ja valaistus. Ääniympäristössä huomiointiin audiovisuaalisten laitteiden, kuuntelupaikan ja absorptiomateriaalien sijoittelu sekä rakenteet ja IV-laitteet. Rakenteiden valinnassa perehdyttiin ilma- ja askelääneneristyslukuihin, U-arvoihin, rakenteiden paksuuksiin sekä rakenteiden asentamiseen.

Kohde mallinnettiin ArchiCAD 21 -ohjelmalla kohderakennuksen alkuperäisten pääpiirustusten ja kohdekäyntien avulla. Visualisointikuvat tehtiin Twinmotion 18 -ohjelmalla. Suunnittelun apuna käytettiin kirjallisuutta. Kotiteattereihin liittyvissä asioissa saatiin lisätietoa keskustelemalla Sami Pohjolan ja Jari Seppälän kanssa. Pohjola on AV-asiantuntija Hifi Studioilta ja Seppälä on GOAT-elokuva-teatterin perustaja ja Hifi-jälleenmyyjä.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua tilasuunnitelma kotiteatteriin ääniympäristö huomioiden. Työssä tehtyjä piirustuksia voidaan hyödyntää, kun hanketta aletaan konkreettisesti viemään eteenpäin. Kirjallista osuutta voidaan lisäksi käyttää yleisesti perehdyttäessä ääneen, akustiikkaan ja kotiteatterien suunnitteluun.

---

Asiasanat: akustiikka, huoneakustiikka, kotiteatteri, tilasuunnittelu, ääni

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Architecture

---

Author: Johanna Kalliainen  
Title of thesis: Sound Environment in Home Theater Design  
Supervisors: Senior Lecturers Sanna Alitalo and Anu Montin  
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018  
Pages: 65 + 4 appendices

---

The aim of this thesis was to make a spatial plan to an attic of a single-family house considering the sound environment. The spatial plan was divided in two sections: the area of stairs and the home theater room. The plan of the home theater included also a possibility to play video and board games. In addition to the home theater the space was also considered as a storage and a living space.

The spatial plan of the home theater considered safe usage and sound environment as well as surface materials and colors, interior design, furnishings and lighting. The sound environment was taken into account by planning the audio-visual equipment, listening position and absorbing materials as well as structures and ventilation equipment.

The target house was modeled with ArchiCAD 21 -program and visualization was made with Twinmotion 18 -program. Literature was used as a tool for planning, and two experts, Sami Pohjola and Jari Seppälä, gave information about home theaters. Sami Pohjola is an AV-expert from Hifi Studio and Jari Seppälä is a Hi-fi-reseller and the founder of the GOAT movie theater.

In conclusion the spatial plan was created for the home theater considering the sound environment. The written part can also be used as a general aid in getting familiar with sound and acoustics as well as in home theater design.

---

Keywords: acoustics, home theater, room acoustics, sound, spatial planning

## ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty marraskuun 2017 ja kesäkuun 2018 välisenä aikana. Työn ohjaajina toimivat Oulun ammattikorkeakoulun lehtorit Sanna Alitalo ja Anu Montin. Lisäksi kotiteattereihin liittyvää tietoa sain Sami Pohjolalta ja Jari Seppälältä. Pohjola on AV-asiantuntija Hifi Studiolla ja Seppälä GOAT-elokuvateatterin perustaja ja Hifi-jälleenmyyjä. Kiitän ohjaajiani hyvistä neuvoista, tuesta ja kannustuksesta. Kiitos myös tekstinohjaajalleni Soili Fabritiukselle ja abstraktin tarkastajalleni Heidi Hedströmille. Sami Pohjolalle suuri kiitos suuntaviivan näyttämisestä silloin, kun olin työni kanssa eniten hukassa, ja hyvistä ohjeista ja neuvoista. Kiitos myös Jari Seppälälle korvaamattomista ohjeista ja ajasta.

Kiitos kuuluu myös siskolleni ja hänen miehelleen, jotka edesauttoivat minua vahvasti aiheen valinnassa, ja siskontytölleni, joka auttoi minua kohteen mittauksissa. Haluan kiittää myös puolisoani tuesta ja käytännön asioiden huolehtimisesta silloin, kun itse istuin tietokoneen ääressä. Kiitokset kuuluvat myös kaikille ystäväilleni, jotka tsemppasivat minua jaksamaan ja saivat minut välillä unohtamaan koko opinnäytetyön olemassaolon.

Oulussa 3.6.2018

Johanna Kalliainen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 ÄÄNI JA AKUSTIIKKA	10
2.1 Ääni	10
2.2 Kuuloaistimus	10
2.3 Taajuus, nopeus ja aallonpituus	11
2.4 Äänenpaine ja äänenpainetaso	13
2.5 Taajuuskaistat ja A-painotus	14
2.6 Ääniteho ja äänitehotaso	15
2.7 Intensiteetti ja intensiteettitaso	16
2.8 Resonanssi	17
2.9 Koinsidenssi	17
3 AKUSTIIKKA TILASUUNNITTELUSSA	18
3.1 Huoneakustiikka	19
3.1.1 Äänen etenemistavat	19
3.1.2 Jälkikaiunta-aika	22
3.1.3 Absorptiosuhde- ja ala	22
3.1.4 Absorptiomateriaalit ja niiden sijoittelu	23
3.1.5 Puheensiirtoindeksi	26
3.2 Rakennusakustiikka	27
3.2.1 Äänen kulkeutuminen rakennuksessa	27
3.2.2 Ilmääneneristys	28
3.2.3 Runko- ja askelääneneristys	30
3.2.4 Rakenteet	31
3.3 Melu ja meluntorjunta	34
3.3.1 Melun vaikutus ihmisiin	34
3.3.2 Meluntorjunta yleisesti	35

3.3.3 Ilmanvaihtolaitteiden meluntorjunta	36
3.4 Tärinäneristys	37
3.5 Akustinen luokitus	37
4 KOTITEATTERI	39
4.1 Audiovisuaalisten laitteiden ja kuuntelupaikan sijoittelu	39
4.2 Tilan akustointi kalustuksella	41
4.3 Suunnittelussa huomioitavia asioita	42
5 TILA- JA SISUSTUSSUUNNITELMA KOTITEATTERIIN	44
5.1 Kohderakennuksen tiedot	44
5.2 Tilalliset tavoitteet	45
5.3 Tilasuunnitelma	45
5.3.1 Portaat	45
5.3.2 Käyttöullakko	48
5.4 Sisustussuunnitelma	50
6 ÄÄNIYMPÄRISTÖ KOTITEATTERISSA	53
6.1 Akustiset tavoitteet	53
6.2 Ääniympäristön suunnitelma	53
6.2.1 Audiovisuaaliset laitteet	54
6.2.2 Absorptiomateriaalit	54
6.2.3 Kalustus	56
6.3 Äänen etenemisen hallinta kotiteatterista	56
6.3.1 Rakenteet	57
6.3.2 Ovi	58
6.3.3 Ilmanvaihto	58
7 POHDINTA	59
LÄHTEET	60
LIITTEET	
Liite 1 Pohjapiirustukset	
Liite 2 Leikkaus A1	
Liite 3 Leikkaus A2	
Liite 4 Julkisivu	

## LYHENTEET

IEC	Sähköalan kansainvälinen standardoimisjärjestö (International Electrotechnical Commission)
ISO	Kansainvälinen standardoimisjärjestö (International Organization for Standardization)
ITU	Kansainvälinen televiestintäliitto (International Telecommunication Union)
LVIS	Lämpö, Vesi, Ilma, Sähkö
RIL	Suomen Rakennusinsinöörien Liitto
SFS	Suomen Standardoimisliitto
STI	Puheensiirtoindeksi (Speech Transmission Index)



# 1 JOHDANTO

Ääni on merkittävä osa ihmisen kokemusmaailmaa ja siten ääniolosuhteet ovat yksi tärkeimmistä rakennuksen ja tilan ominaisuuksista. Hyviin ääniolosuhteisiin kannattaa kiinnittää huomiota jo rakennusvaiheessa, sillä yleensä kustannukset ovat siten edullisempia kuin jälkikäteen korjattuina. (1, s. 9, 13.) Lisäksi ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä uudistui marraskuussa 2017 (2).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä tilasuunnitelma omakotitalon käyttöullakoksi mitoitettun tilan kotiteatteriin ääniympäristö huomioiden. Suunnitelman lähtökohtina ovat tilan käyttöturvallisuus ja -mukavuus sekä portaiden sijoittelu siten, että muutos vaikuttaa mahdollisimman vähän alakerran olemassa oleviin tiloihin.

Tavoitteena on suunnitella käyttöullakolle kotiteatterin lisäksi oleskelu- ja säilytystilaa. Lisäksi tilassa on toiveena pelata video- ja lautapelejä. Kotiteatterin suunnittelussa tässä kohteessa oleellisinta ovat käyttömukavuus ja toimiva ääni-maailma. Tavoitteena on lisäksi koota yhteen ääneen ja akustiikkaan liittyviä oleellisia asioita sekä luoda suuntaviivoja kotiteatteria itselleen suunnittelevalle.

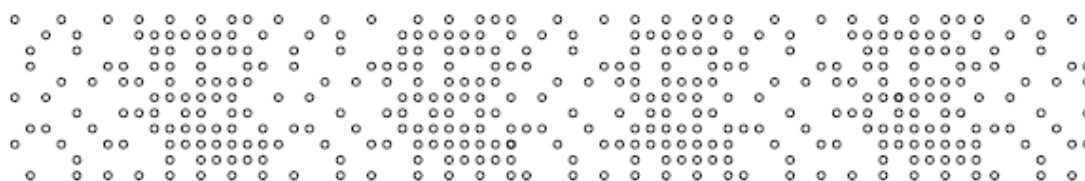
Haasteena työssä on kotiteatterin suunnittelu, sillä suoranaista ohjetta siihen ei ole olemassa. Ääneen ja akustiikkaan liittyvää kirjallisuutta ja aineistoa puolestaan on. Lisäksi kokonaisuuden yhteensovittaminen siten, että kotiteatterisuunnitelma ei hallitse liikaa tilan toimivuutta, luo suunnitteluun haastetta.

## 2 ÄÄNI JA AKUSTIIKKA

Akustiikka eli äänioppi tutkii ääniä. Se on tieteen ja tekniikan haara, joka käsittää kaikki fysikaaliset ilmiöt, jotka ihminen havaitsee kuuloaistillaan. (3, s. 135.) Jotta akustiikkaa voi ymmärtää, on ensin selvitettävä, mitä ääni on ja millaisia peruskäsitteitä ääneen ja akustiikkaan liittyy.

### 2.1 Ääni

Ääni on ilmanpaineen vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen verrattuna. Värähtelyn lähde saa aikaan ilman tihentymiä ja harventumia (kuva 1). Ääni etenee, kun ilmahiukkasten värähtely saa seuraavat hiukkaset värähtelemään. Tämä tarkoittaa äänen etenemistä pitkätaajaisaltona äänilähteestä ympäristöön. Edetäkseen ääni tarvitsee väliaineen, kuten ilman tai kiinteän aineen. Tyhjiössä ääni ei etene. (1, s. 35–36.)



*KUVA 1. Pitkätaajaisalto, jossa ilmahiukkasten tihentymät ja harventumat seuraavat toisiaan (4, s. 27)*

Äänilähde voi olla pistemäinen, suuri tai jotain niiden väliltä. Pistemäinen äänilähde on esimerkiksi puhuva ihminen ja suuri äänilähde esimerkiksi ukkospilvi. (5, s. 13.)

### 2.2 Kuuloaistimus

Ilmassa etenevät ääniaallot osuvat ensin ulkokorvaan, joka johtaa ääniaallot korvakäytävän kautta tärykalvolle (6). Korvakäytävä vahvistaa 3–5 kHz:n ääniä noin 12–15 dB. Korvakäytävässä värähtelevä ilma saa tärykalvon värähtelemään. (7, s. 28.) Värähtelyn aiheuttama liike aktivoi kolme kuuloluuta. Vasara, alasin ja jalin vahvistavat ääntä ja lähettävät sen sisäkorvaan. Sisäkorvassa oleva neste

alkaa värähdellä ääniaaltojen vaikutuksesta ja saa myös kuuloreseptorisolujen värekarvat värähtelemään. Värekarvat tuottavat hermoimpulsseja, jotka välittyvät aivokuorella sijaitsevaan kuulokeskukseen. Kuulokeskus tunnistaa hermoimpulsit ääniksi. (6.)

Kuulon avulla ihminen saa käsitystä ympärillään olevan tilan ominaisuuksista esimerkiksi tilan koosta kaiun avulla. Kuuloaisti toimii turvallisuusaistina, koska ihminen aistii ympäristöä myös takaapäin tai nurkan takaa kuuloaistin avulla. Lisäksi kuuloaisti toimii unen aikana. (8, s. 19.)

### 2.3 Taajuus, nopeus ja aallonpituus

Ääniaallon taajuus eli frekvenssi tarkoittaa edestakaisten värähtelyiden lukumäärää sekunnissa. Taajuuden tunnus on  $f$  ja yksikkö hertsi (Hz, 1/s). (9, s. 9.) Äänen taajuus voidaan laskea kaavalla 1 (1, s. 35).

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

KAAVA 1

$f$  = taajuus (Hz)

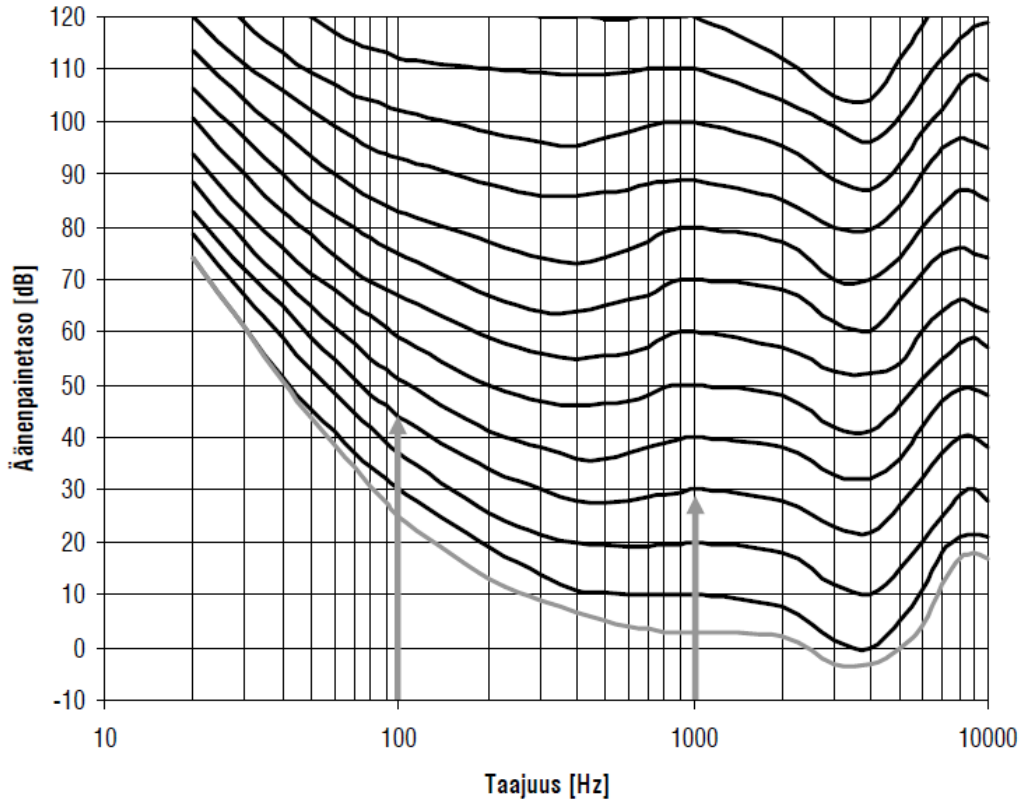
$n$  = värähtelyiden lukumäärä

$T$  = aikajakso (s)

Ihminen voi kuulla äänet, joiden taajuus on noin 20–20 000 Hz. Ääni koetaan korkeana, jos värähtely on tiheää, ja matalana, jos värähtely on pienitaajuisia. Ihmisen kuuloalueen alapuolella olevia taajuuksia kutsutaan infraääniksi ja ne aistitaan tärinänä. (1, s. 35.) Ultraääniksi kutsutaan ääntä, jonka taajuuden alaraja on ihmiskorvan äänialueen yläpuolella (20 000 Hz–10 THz). Ihmisen aistima taajuusalue on suhteellisen laaja verrattuna kuulon kannalta tärkeään taajuusalueeseen, joka on 100–4 000 Hz. (10, s. 2.)

Äänen taajuus vaikuttaa äänen voimakkuuden kokemiseen (kuva 2) (4, s. 15). Kuulon herkkyys ei siten ole vakio kaikilla äänen taajuuksilla (1, s. 35). Esimerkiksi 100 Hz:n taajuudella 45 dB:n äänenpainetaso kuullaan yhtä voimakkaana

kuin 30 dB:n äänenpainetaso 1 000 Hz:n taajuudella. Kuvassa 2 alin käyrä kuvaa kuulokynnystä eri taajuuksilla. (4, s. 15.)



KUVA 2. Taajuuden vaikutus äänen voimakkuuden kokemiseen (4, s. 15)

Äänen taajuus, nopeus ja aallonpituus ovat yhteydessä toisiinsa kaavan 2 mukaisesti (4, s. 27–28).

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

KAAVA 2

$f$  = taajuus (Hz, 1/s)

$c$  = äänen nopeus (m/s)

$\lambda$  = ilmaäänien pitkittäisaallon aallonpituus (m)

Aallonpituus tarkoittaa kahden samassa liikevaiheessa olevan hiukkasen välistä etäisyyttä ja pitkittäisaallossa se on kahden tihentymän tai kahden harventuman välinen etäisyys (11, s. 8). Kaavasta 2 johtamalla voidaan laskea ihmisen kuuloalueella olevien matalien äänien lyhimmäksi aallonpituudeksi 17 metriä ja korkei-

den äänien pisimmäksi aallonpituudeksi 0,017 metriä eli 17 millimetriä. Nämä pituudet on laskettu ilmassa +20 C °:n lämpötilassa eli äänen nopeutena on käytetty 340 m/s (3, s, 138). Äänen nopeus ilmassa ei riipu taajuudesta, mutta lämpötila vaikuttaa äänen nopeuteen kaavan 3 mukaisesti (4, s. 27).

$$c = 331 + 0,6t$$

KAAVA 3

$c$  = äänen nopeus (m/s)

$t$  = ilman lämpötila (°C)

Äänen nopeuteen vaikuttaa myös väliaineen tiheys. Ääni liikkuu tiheässä väliaineessa nopeampaa kuin harvassa väliaineessa. (12, s. 5.)

## 2.4 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänenpaineella tarkoitetaan äänenä aistittavan ilmanpaineen muutosta. Sen tunnus on  $p$  ja yksikkö pascal (Pa). Pienin ilmanpaineen muutos, jonka ihminen voi aistia on 20  $\mu$ Pa (0,00002 Pa). Tämä arvo vastaa ihmisen kuulokynnystä. Kun äänenpaine on noin 20 Pa, eli miljoona kertaa suurempi kuin kuulokynnys, ääniaistimus muuttuu kipuaistimukseksi. (4, s. 28.)

Verrattuna ilmakehän ilmanpaineeseen (noin 100 kPa = 100 000 Pa) äänenpainet ovat lukuarvoina hyvin pieniä. Vastaavasti kuulo- ja kipukynnyksen ero on suhteellisesti hyvin suuri. Jotta äänenpaineen käyttö olisi helpompaa käytännön työssä, äänen voimakkuuden kuvaamiseen käytetään äänenpainetasoa eli äänitasetasoa. Sen tunnus on  $L_p$  ja yksikkö desibeli (dB). (1, s. 36, 39.) Kun äänenpainetaso on noussut noin 10 dB, kuuloaisti arvioi äänen voimakkuuden noin kaksinkertaiseksi (13, s. 4). Äänenpainetaso lasketaan kaavan 4 mukaisesti (4, s. 28).

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

KAAVA 4

$L_p$  = äänenpainetaso (dB)

$p$  = tarkasteltava äänenpaine (Pa)

$p_0$  = vertailuäänepaine eli kuulokynnyksen äänenpaine (Pa)

Kaavan 4 mukaan kuulokynnyksen äänenpaineen äänenpainetaso on 0 dB ja kipukynnyksen noin 120 dB. Puolestaan hiljaisen asuinhuoneiston äänenpainetaso on 25 dB, keskustelun 55 dB ja vilkkaan katuliikenteen 80 dB. (4, s. 28–29.)

Vertailtaessa äänilähteiden voimakkuuksia toisiinsa desibeliasteikon logaritmi-  
suus tulee ottaa huomioon. Kaksi laitetta, jotka tuottavat saman äänenpainetason  
toimiessaan yksin samassa tilassa, synnyttävät 3 dB korkeamman äänenpainete-  
sason toimiessaan yhdessä entä yksin. (1, s. 37.) Tämä tarkoittaa äänienergian  
kaksinkertaistumista (14, s. 5).

Edellä mainitusta kaavasta 4 seuraa, että äänenpaineen kaksinkertaistuessa ää-  
nenpainetaso kasvaa 6 dB. Äänenpainetason kaavasta seuraa myös se, että en-  
simmäisenä kannattaa vaimentaa suurimman äänenpainetason tuottava laite, jos  
tilan äänenpainetasoa halutaan alentaa. (4, s. 29.) Kaavalla 5 saadaan laskettua  
usean äänilähteen yhdessä tuottama äänenpainetaso  $L_{p,tot}$  (dB) (1, s. 37).

$$L_{p,tot} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \quad \text{KAAVA 5}$$

$L_{p,tot}$  = usean äänilähteen yhdessä tuottama äänenpainetaso (dB)

$L_{p,i}$  = yhden äänilähteen tuottama äänenpainetaso (dB)

Jos äänilähteiden aiheuttamalle äänenpainetasolle on määritelty jokin sallittu  
arvo  $L_{p,sall}$  (dB), saadaan yhdestä äänilähteestä sallittava äänenpainetaso  $L_p$   
(dB) laskettua kaavalla 6 (1, s. 37).

$$L_p = L_{p,sall} - 10 \lg n \quad \text{KAAVA 6}$$

$L_p$  = yhden äänilähteen sallittu äänenpainetaso (dB)

$L_{p,sall}$  = äänilähteiden sallittu äänenpainetaso (dB)

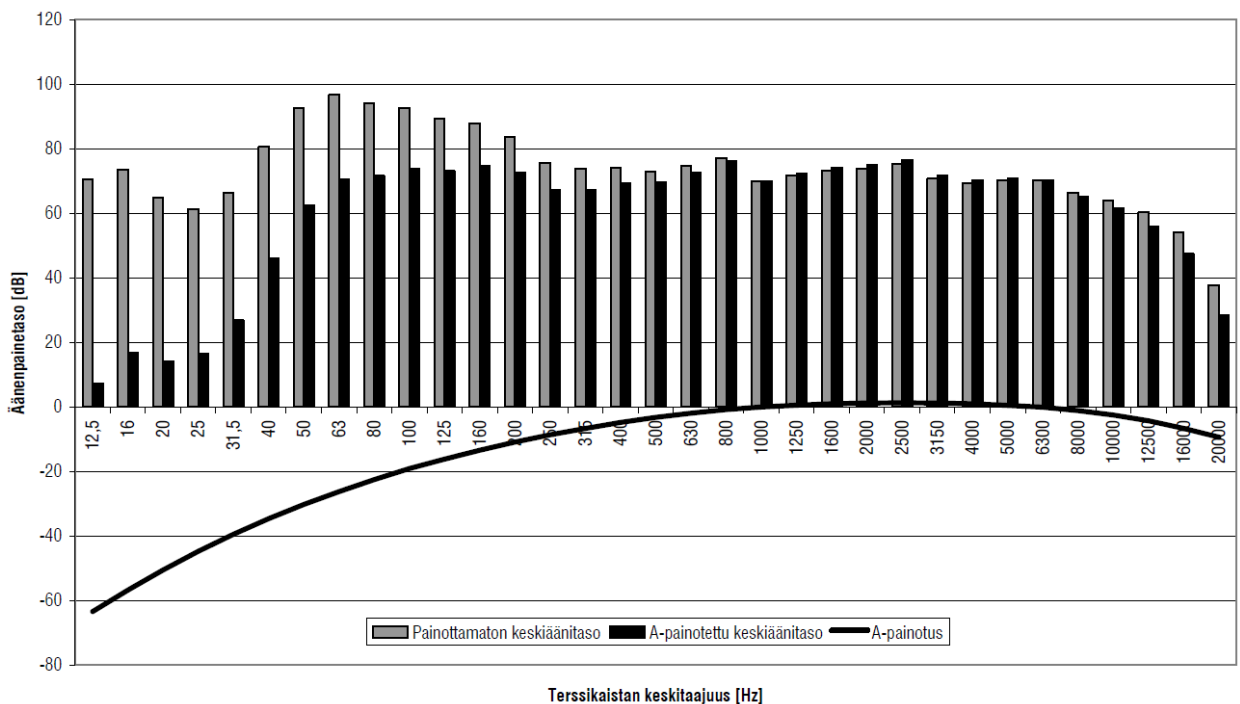
$n$  = tilassa tai ulkoalueella olevien yhtä voimakkaiden äänilähteiden lukumäärä

## 2.5 Taajuuskaistat ja A-painotus

Akustiikassa äänen taajuusjakauma eli äänispektri jaetaan pienempiin osiin eli  
taajuuskaistoihin, koska äänilähteiden tuottamat äänenpainetasot ovat erilaisia  
yksittäisillä taajuuksilla. Yleensä käytetään oktaavikaistoja tai kolmannesoktaavi-  
kaistoja eli terssikaistoja. Taajuuskaistojen määrittely perustuu kuuloaistin omi-  
naisuuksiin. Taajuuden kaksinkertaistuessa äänenkorkeus kasvaa oktaavin.  
Huolimatta siitä, että taajuuksien erotus kasvaa jokaisen muutoksen yhteydessä,

yhden oktaavin suhteellinen muutos taajuudessa kuulostaa yhtä suurelta. (4, s. 29–30.)

Ihmisen kuuloaisti on herkimmillään 2 000 Hz:stä 5 000 Hz:iin, mikä otetaan huomioon A-painotuksella. A-painotuksessa vähennetään matalien ja korkeiden taajuuksien vaikutusta. Jos esimerkiksi valitaan oktaavikaistan keskitaajuudeksi 63 Hz, on kyseisen kaistan äänenpainetaso  $L_p$  99,7 dB ja A-painotettu A-äänitaso  $L_A$  73,5 dB (kuva 3). (1, s. 39–40.)



KUVA 3. A-painotuksen merkitys eri taajuuksilla (4, s. 31)

## 2.6 Ääniteho ja äänitehotaso

Ääniteho on äänilähteen tuottama kokonaisäänienergia jokaista sekuntia kohden. Sen tunnus on  $W$  ja yksikkö watti (W). Ääniteholtaan vakiona pysyvä äänilähde voi tuottaa useita erilaisia äänenpaineita ympäröivään tilaan. Äänenpaineeseen vaikuttavat mittausetäisyys, äänilähteen suuntaavuus, huoneen absorptiopinta-ala ja tilassa olevat muut esteet. (1, s. 41–42.)

Suunnittelussa lukuarvojen yksinkertaistamiseksi käytetään äänitehotasoa, jonka tunnus on  $L_W$  ja yksikkö desibeli (dB). Laitteiden äänitehotaso määritetään yleensä oktaavikaistoittain ja äänitehotaso saadaan laskettua kaavalla 7. (4, s. 33.)

$$L_W = 10 \lg \frac{W}{W_0}$$

KAAVA 7

$L_W$  = äänitehotaso (dB)

$W$  = laitteen ääniteho (W)

$W_0$  = kuulokynnystä vastaava vertailuääniteho (W),  $1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$

Yhä useammin laitteiden melupäästö ilmoitetaan äänitehotasona (1, s. 41). Äänitehotasosta ei kuitenkaan voida sellaisenaan johtaa, miltä jokin äänilähde kuulostaa, sillä äänilähteen synnyttämiin äänenpainetasoihin vaikuttavat tilan ja ympäristön ominaisuudet (4, s. 33).

## 2.7 Intensiteetti ja intensiteettitaso

Äänen intensiteetti tarkoittaa akustisen energiavirran määrää ja suuntaa tietyssä pisteessä. Se on äänen tehotiheys todellisella tai kuvitellulla pinnalla. (15, s. 44.) Äänen intensiteetti  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) saadaan laskettua kaavan 8 mukaisesti (1, s. 42).

$$I = \frac{W}{S}$$

KAAVA 8

$I$  = äänen intensiteetti ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$W$  = ääniteho (W)

$S$  = pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

Intensiteettitaso  $L_I$  (dB) saadaan laskettua kaavalla 9 (1, s. 42).

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

KAAVA 9

$L_I$  = intensiteettitaso (dB)

$I$  = äänen intensiteetti ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$I_0$  = vertailuintensiteetti ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$

Intensiteetin avulla voidaan määrittää luvussa 2.6 mainittu äänilähteen äänitehotaso (kaava 10) (1, s. 42).



$$L_W = L_I + 10 \lg S$$

KAAVA 10

$L_W$  = äänilähteen äänitehotaso (dB)

$L_I$  = keskimääräinen intensiteettitaso ( $W/m^2$ )

$S$  = pinta-ala ( $m^2$ )

## 2.8 Resonanssi

Resonanssi-ilmiöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa rakenteeseen osuvien ääniaaltojen taajuus on rakenteen resonanssi- eli ominaistajuusalueella ja saa siten rakenteen värähtelemään. Ääniaaltojen lisäksi laite voi värähtelyllään aiheuttaa rakenteeseen resonanssi-ilmiön. Resonanssi-ilmiön aikana rakenteen ääneneristävyys heikkenee, sillä värähdellessään rakenne säteilee ääntä voimakkaasti. Rakenteen alimmalla resonanssitaajuudella ( $f_0$ ) voidaan selvittää rakenteen resonanssitaajuusalue ja sen tulisi olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen alapuolella. (16, s. 20.)

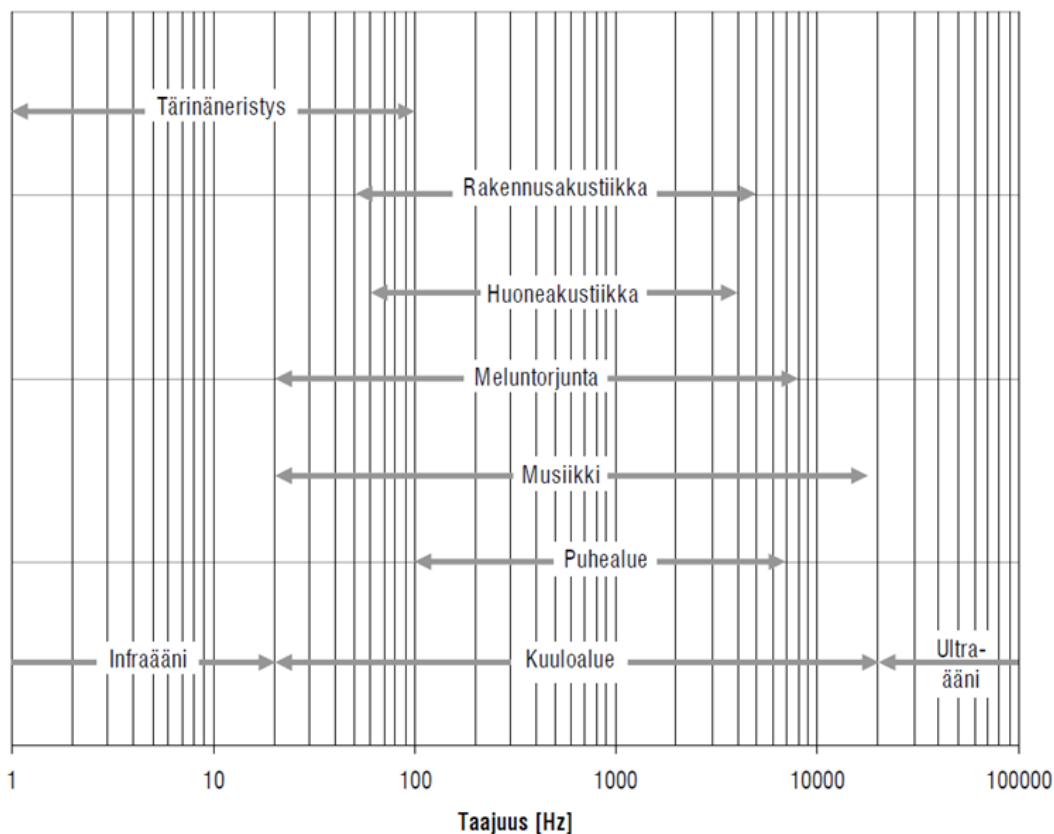
## 2.9 Koinsidenssi

Koinsidenssi-ilmiöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa ilmassa ja levyssä etenevien ääniaaltojen vaiheet ovat samat. Tällöin levy ei muodosta juuri ollenkaan estettä aallon etenemiselle ja ääneneristävyys heikkenee. (1, s. 72.) Koinsidenssin eli myötävärähtelyn aiheuttamaa ääneneristävyiden heikkenemistä esiintyy koinsidenssialueella eli koinsidenssitaajuuden molemmin puolin (16, s. 9).

Yksinkertaisilla rakenteilla ilmenee koinsidenssi-ilmiötä koinsidenssitaajuuden ( $f_c$ ) yläpuolella olevilla äänentaajuuksilla. Ohuilla rakennuslevyillä koinsidenssitaajuus on yleensä 2 000–3 000 Hz ja se riippuu levyn paksuudesta, elastisista ominaisuuksista ja massasta. Rakenteen koinsidenssitaajuuden tulisi olla ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen yläpuolella. Mitä ylempänä rakennuslevyn oma koinsidenssitaajuus on, sitä vähemmän rakenteen ääneneristävyys heikentyy koinsidenssin seurauksena. (16, s. 9, 21.)

### 3 AKUSTIIKKA TILASUUNNITTELUSSA

Hyvillä ääniolosuhteilla parannetaan sitä käyttötarkoitusta, mihin tila on suunniteltu. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon tilan terveellisyys, turvallisuus ja viihtyisyys. Tilan käyttötarkoitus määrittelee tilan muodon, tilojen keskinäiset sijainnit, vaatimukset huoneakustiikalle, ääneneristystarpeen ja rakennuksen teknisiltä laitteilta sallittavan äänitason. (1, s. 9.) Talonrakentamisessa akustiikka jaetaan yleensä neljään osa-alueeseen, joita ovat huone- ja rakennusakustiikka, meluntorjunta ja värinäneristys (4, s. 16). Näiden osa-alueiden lisäksi luvussa 3 käydään läpi akustinen luokitus. Kuvasta 4 nähdään, mille taajuusalueille edellä mainitut osa-alueet sijoittuvat.



KUVA 4. Akustiikan kannalta kiinnostavia taajuusalueita (4, s. 18)

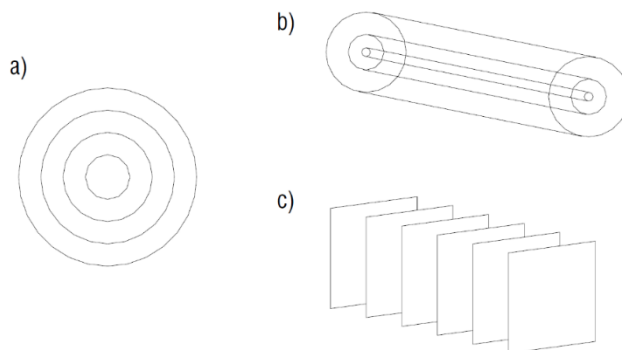
### 3.1 Huoneakustiikka

Huoneakustiikka tutkii äänen etenemisen, heijastumisen ja vaimenemisen lisäksi äänen muuta käyttäytymistä saman tilan sisällä. Suunnitteluun vaikuttavat tilan käyttötarkoitus ja muoto. Tavoitteena on akustisen viihtyvyyden ja toimivuuden lisäksi saada äänilähde kuulumaan tilan käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla. (13, s. 1.)

Hyvä huoneakustiikka perustuu oikeanlaiseen yhdistelmään absorboivia sekä ääntä heijastavia ja hajottavia pintoja, jotka on sijoitettu tilaan nähden oikein (13, s. 3). Heijastavien pintojen tarkoituksena on suunnata ääni kuulijalle ja absorboivilla pinnoilla vähennetään tilan kaiuntaa, jotta puheen tavut erottuvat hyvin toisistaan (1, s. 158). Luvuissa 3.1.1–3.1.4 käsitellään äänen etenemistä tilassa ja äänen etenemiseen vaikuttavia tekijöitä. Luvussa 3.1.5 käydään lyhyesti läpi puheen erotettavuutta puheensiirtoindeksin avulla.

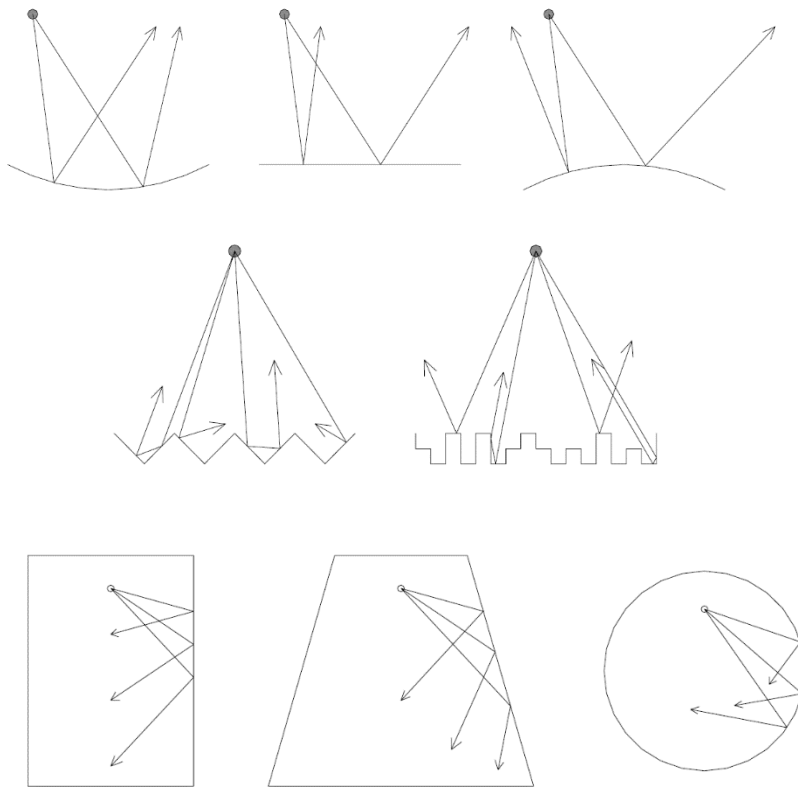
#### 3.1.1 Äänen etenemistavat

Ääni **etenee** äänilähteestä pallo-, taso- tai sylinteriaaltona (kuva 5). Kun etäisyys äänilähteestä on suurempi kuin äänilähteen mitat, äänenpainetaso alenee palloaallossa 6 dB, kun etäisyys äänilähteestä kaksinkertaistuu. Vastaavasti sylinteriaallossa äänenpainetaso alenee 3 dB etäisyyden kaksinkertaistuessa. Käytännössä tasoaalton muodostumiseen vaaditaan riittävä etäisyys äänilähteestä. (3, s. 138–139.)



*KUVA 5. Äänen eteneminen a) palloaaltona, b) sylinteriaaltona ja c) tasoaaltona (4, s. 36)*

Osa ääniaallosta **heijastuu**, osa siirtyy toiseen aineeseen ja osa muuttuu kitkan vuoksi lämmöksi silloin, kun se kohtaa kahden aineen rajapinnan. Ääni heijastuu tietyissä olosuhteissa kuten valo eli kohdatessaan pinnan sen tulo- ja heijastuskulmat pinnan normaaliin nähden ovat yhtä suuret (kuva 6). (11, s. 41, 48.)



*KUVA 6. Äänen heijastuminen erilaisilta pinnoilta (4, s. 123,125)*

Jos ääniaallon kohtaama pinta on pieni aallonpituuteen nähden, ei heijastumista tapahdu ja aalto etenee kuin estettä ei olisi ollenkaan. Jos taas kahden toistensa suuntaisen ääntä heijastavan pinnan välinen etäisyys on aallonpituuden puolikas, syntyy niiden väliin seisova aalto ja ilmiötä kutsutaan **ominaisvärähtelyksi**. Ominaisvärähtelyä voi syntyä pintojen välille taajuuksilla, jotka saadaan laskettua kaavalla 11. (11, s. 5, 8, 38, 45.)

$$f = n \frac{c}{2l}$$

KAAVA 11

$f$  = taajuus (1/s)

$n$  = kokonaisluku

$c$  = äänen nopeus (m/s)

$l$  = pintojen välinen etäisyys (m)

Tyhjässä tilassa ääni kulkee sekä suoraan äänilähteestä että heijastuen huoneen eri pinnoista. Kuultava ääni on siten suorien ja heijastuvien äänien yhdistelmä. (13, s. 2.)

Äänen **absorptiolla** tarkoitetaan ääniaallon energiahäviöistä johtuvaa vaimenemista silloin, kun se etenee väliaineessa tai heijastuu rajapinnasta (13, s. 2). Ääniaallon absorboituessa ääniteho imeytyy pintarakenteeseen ja muuttuu lämmöksi (17, s. 52). Absorption suunnittelun perustana ovat vaadittavan äänitason ja jälkikaiunta-ajan saavuttaminen (18, s. 213).

Näiden lisäksi ääniaalto **taipuu** kohdatessaan esteen, jossa on aukko. Mikäli aukko on pieni aallonpituuteen nähden, ääni etenee esteen jälkeen kuin aukko olisi uusi äänilähde. Jos taas aukko on suuri, ääni etenee suoraviivaisesti kuten valo. Taipumista kutsutaan myös diffraktioksi. (9, s. 10.) Diffraktiolla tarkoitetaan myös sitä, että ääni voidaan kuulla nurkan tai esteen takana (12, s. 245).

**Kaiku** ja **kaiunta** tarkoittavat käsitteinä eri asioita. Kaiku tarkoittaa, että sama ääni kuullaan kahtena peräkkäisenä äänenä ja kaiunta puolestaan yhden äänen kuulumista vähitellen vaimenevana äänenä. Kaikuilmiön aikaero puheeseen nähden on yleensä 50 ms ja kyseisessä ajassa ääni etenee 17 m. (19, s. 128.)

**Tärykaiku** puolestaan tarkoittaa, että ääni heijastuu monta kertaa peräkkäin vastakkaisista pinnoista. Tällöin ääni kuullaan monta kertaa eri äänenä. Tärykaiku voi olla myös kiertävä, jolloin ääni heijastuu esimerkiksi neljän pinnan kautta. Tärykaikua voidaan estää erisuuntaisilla pinnoilla tai tekemällä toisesta pinnasta voimakkaasti absorboiva. Elokuvateattereissa tärykaikuun on kiinnitettävä huomiota matalilla taajuuksilla, joilla materiaalien absorptiosuhteet ovat alhaisia. (1, s. 160.)

### 3.1.2 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika on aika, jonka kuluessa äänenpainetaso laskee 60 dB änilähteen vaiettua (20, s. 1). Jälkikaiunta-aikaan vaikuttavat huoneen tilavuus, kokonaisabsorptioala ja absorptiomateriaalien sijoittelu huoneeseen. Jos sama määrä absorptiomateriaalia sijoitetaan useammalle kuin yhdelle huonepinnalle, jälkikaiunta-aika on silloin lyhempi. Jälkikaiunta-aikaa pidentävät kovat ja ääntä heijastavat pinnat, huonetilavuuden kasvattaminen ja absorptioalan vähentäminen. Jälkikaiunta-ajan tunnus on  $T$  ja yksikkö sekunti (s). Tilan jälkikaiunta-aika mitoitetaan yleisesti ns. Sabineen kaavalla, joka on esitetty kaavassa 12. (14, s. 5, 29.)

$$T = \frac{0,161V}{A} \quad \text{KAAVA 12}$$

$T$  = jälkikaiunta-aika (s)

$V$  = huonetilavuus (m<sup>3</sup>)

$A$  = huoneen absorptioala (m<sup>2</sup>)

Nykyaikaisissa elokuvateattereissa jälkikaiunta-ajat ovat lyhyitä, koska salin kaiunna pitää vaikuttaa toistettuun ääneen mahdollisimman vähän. Käytännössä tämä tarkoittaa, että salin kaikki pinnat ovat voimakkaasti absorboivia ja katsoja aistii lähinnä suoraan kaiuttimista tulevan äänen. Elokuvateattereissa jälkikaiunta-aika vaihtelee 500 Hz:n keskitaajuudella 0,3 s:sta 0,8 s:iin riippuen teatterin tilavuudesta (1, s. 50, 158).

### 3.1.3 Absorptiosuhde- ja ala

Absorptiosuhde on heijastamatta jääneen ja pinnalle osuneen äänienergian suhde. Sen arvo vaihtelee 0:sta 1,0:aan ja se riippuu äänen taajuudesta. (13, s. 2–3.) Kun absorptiosuhde  $\alpha = 0$ , heijastus on täydellinen (4, s. 38). Absorptiosuhde  $\alpha$  saadaan laskettua kaavalla 13 (1, s. 46).

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_i} \quad \text{KAAVA 13}$$

$\alpha$  = absorptiosuhde

$W_i$  = rakenteeseen kohdistunut ääniteho (W)

$W_r$  = rakenteesta heijastunut ääniteho (W)

Absorptioala on tilan kaikista pinnoista muodostuva vaimennuspinta-ala, joka on muutettu vastaamaan sellaisen pinnan alaa, joka vaimentaa täydellisesti ääntä (13, s. 3). Huoneen absorptioala saadaan summaamalla kaikkien materiaalien absorptioalat yhteen (kaava 14). Yhden materiaalin absorptioala saadaan kertomalla absorptiosuhde absorptiopinnan alalla. (1, 49.)

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i$$

KAAVA 14

$A$  = absorptioala ( $\text{m}^2$ -Sab tai  $\text{m}^2$ , jos asiayhteys on ilmeinen)

$\alpha_i$  = absorptiosuhde

$S_i$  = pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

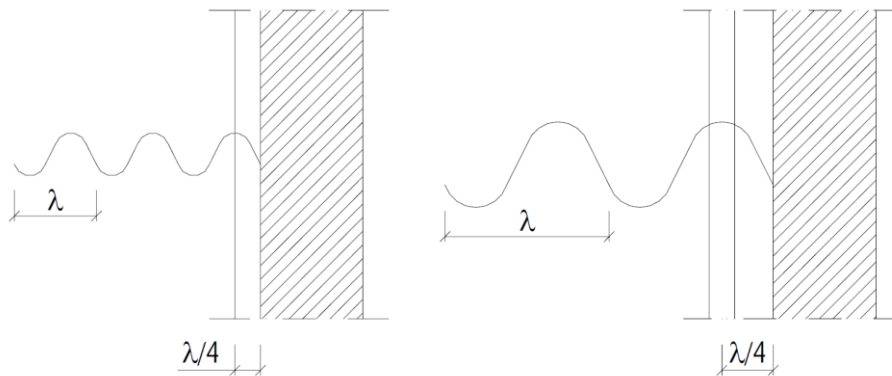
Huoneen absorptioala saadaan myös johtamalla Sabinen kaavasta (kaava 12), kun tiedetään huoneen tilavuus ja tavoiteltava jälkikaiunta-aika. Tarvittava vaimennusverhouksen pinta-ala voidaan laskea, kun tiedetään huoneen absorptioala ja jaetaan se valitun materiaalin absorptiosuhteella. Toisin sanoen vaimennusverhouksen pinta-alan laskemiseen tarvitaan halutun materiaalin absorptiosuhde, tavoiteltava jälkikaiunta-aika ja tutkittavan huoneen tilavuus. (13, s. 3.)

### 3.1.4 Absorptiomateriaalit ja niiden sijoittelu

Kaikki pinnat absorboivat ääniä. Materiaalien vaimennusominaisuuksiin vaikuttavat materiaalin paksuus, pintakäsittely tai -kerros sekä sen asennus ja mahdollinen ilmatila materiaalin takana. Matalat äänet pitkällä aallonpituuksilla ovat hankalammin hallittavissa kuin korkeat äänet lyhyemmällä aallonpituuksilla. Yleensä äänen vaimenemista ja tilan akustiikkaa parannetaan huokoisilla materiaaleilla ja resonaattorirakenteilla. (13, s. 4.) Akustointilevyjä käytettäessä on tärkeää muistaa monimuotoisuus ja vaimennuksen keskittäminen kriittisimpiin kohtiin (21, s. 39).

Huokoisten materiaalien äänenabsorptiokyky pohjautuu kitkan aiheuttamiin lämpöhäviöihin ahtaissa kuiturakenteissa. Jotta absorptiota tapahtuu, tulee materiaalin tiheyden olla tarpeeksi suuri. Kun matalien taajuuksien absorptiosuhdetta halutaan parantaa, kasvatetaan joko materiaalipaksuutta tai jätetään huokoisen

materiaalin ja sen takana olevan materiaalin väliin ilmarako. Ilmaraon koko määräytyy siten, että matalien äänten aallonpituuden neljännes osuu materiaalikerrokseen (kuva 7). (1, s. 149.)



*KUVA 7. Ilmatilan koon vaikutus eri aallonpituuksien absorboitumiseen (4, s. 127)*

Huokoiset levyt soveltuvat keskikorkeiden (250–1 000 Hz) ja korkeiden ( $\geq 1\ 000$  Hz) taajuuksien vaimentamiseen (13, s. 4). Tarvittaessa mineraalivillan tyyppiset materiaalit voidaan päällystää pinnoitteilla, jotka läpäisevät hyvin ilmaa, mikäli pinnasta halutaan saada tasainen ja saumaton. Lisäksi hyvin absorboivien huokoisten materiaalien päälle voidaan tehdä pintarakenne, esimerkiksi puurimoitus, jossa on paljon ilmarakoja. (4, s. 126). Mikäli huokoiset levyt pintakäsitellään pakulla maalikerroksella, niiden vaimennusominaisuus korkeilla taajuuksilla heikentyy (13, s. 4).

Erilaisten resonaattorien avulla vaimennetaan melko kapeaa äänialuetta, mutta matalien äänien vaimentamisessa ne toimivat hyvin. Levyresonaattori muodostuu, kun kiinteän seinämän eteen laitetaan tiivis levy ja näiden väliin vaimennuksen tehostamiseksi huokoinen absorptiomateriaali, yleensä mineraalivilla. (18, s. 210–211.) Välin voi muodostaa myös tyhjä ilmarako. Levyresonaattoreita ovat muun muassa kaikki levyrakenteiset seinät, ikkunat ja ovet. (4, s. 130.) Levyresonaattorit soveltuvat parhaiten matalimpien äänten vaimentamiseen (18, s. 211–212).



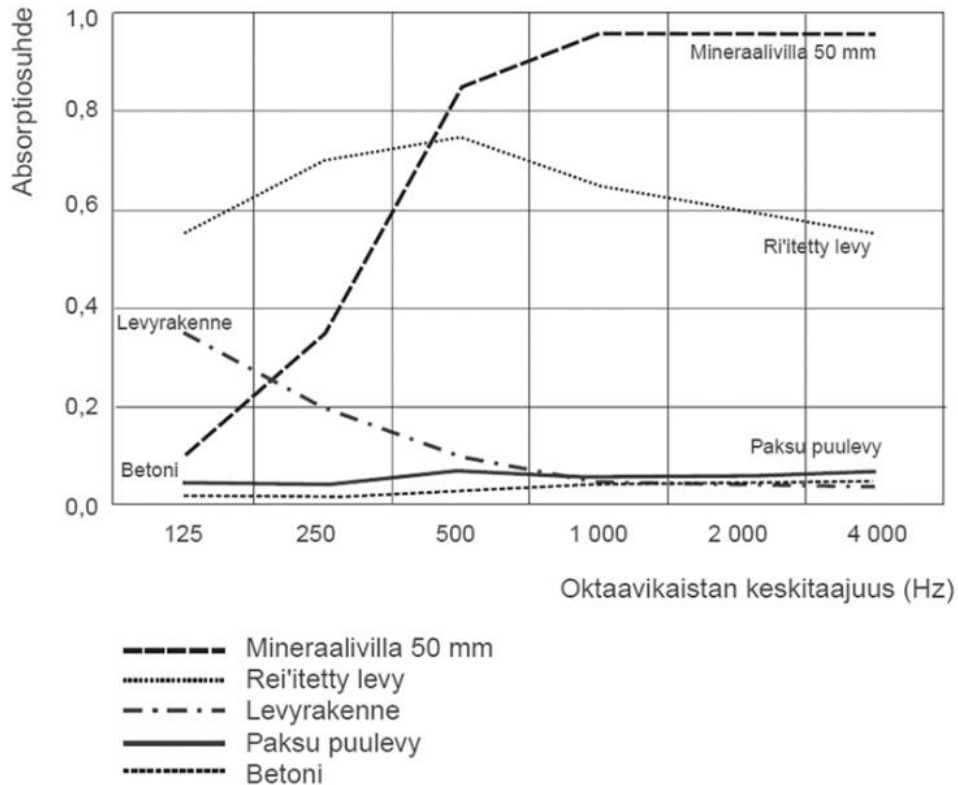
Yleisin Helmholtz-resonaattori on reikäresonaattori. Se syntyy, kun levyresonaattorin levy rei'itetään melko harvalla rei'ityksellä. (18, s. 211.) Lisäksi rei'itetyn levyn taustalla on yleensä ilmaa läpäisevä huopa. Rei'itetyn levyn absorptiokyky perustuu siihen, että reiässä oleva ilma toimii massana ja ilmapölyssä oleva ilma jousena. Tällöin muodostuu massa–jousi -järjestelmä. (4, s. 129.) Reikäresonaattorit soveltuvat parhaiten matalien ja keskikorkeiden äänten vaimentamiseen (18, s. 211–212).

Levyresonaattorissa ja Helmholtz-resonaattorissa voimakkain absorptio tapahtuu taajuusalueella, joka on sama kuin resonaattorin ominaistajuus (11, s. 90). Rei'itetyn levyn ominaistajuuteen ja absorptiosuhteeseen vaikuttavat ilmapöly ja levyn paksuus sekä reikien koko, määrä ja muoto (4, s. 129). Rakoresonaattorilla tarkoitetaan esimerkiksi rimoille kiinnitettyä harvalaudoitusta, eli reikäresonaattoriin verrattuna reiät korvataan pitkillä raoilla (18, s. 212).

Näiden lisäksi voidaan hyödyntää mikrorei'itetyjä levyjä. Mikrorei'itetyissä levyissä reikien halkaisija on noin 1 mm tai vielä pienempi. Pienillä rei'illä vastus kasvaa korkeaksi, jolloin erillistä huopaa reikälevyn takana ei tarvita. Lisäksi jos mikrorei'itys tehdään läpinäkyvään levyyn, saadaan absorptiomateriaalista melko näkymätön. (1, s. 151.)

Vaimennusmateriaalin määrän lisäksi huoneen äänikenttään vaikuttaa se, miten materiaalit sijoitetaan huoneeseen sekä huoneen kalustus. Vaimennusmateriaali kannattaa sijoittaa katon lisäksi myös seinille, jotta seinien välisiä tärykaikuja, ominaisvärähtelyjä ja niin kutsuttujen biljardipalloheijastumia voidaan vähentää. Mikäli tietyn äänilähteen aiheuttamia heijastuksia halutaan vaimentaa, kannattaa osa materiaalista sijoittaa kyseisen lähteen taakse. Vaimennusmateriaalien asennuspaikkaa mietittäessä tulee kiinnittää huomiota myös rakennusfysiikkaan ominaisuuksiin, kuten kastepisteeseen. (22, s. 12–13.)

Absorptiomateriaalit jaetaan absorptiosuhteensa perusteella luokkiin A–E. Luokan A materiaalilla on suurin absorptiosuhde ja luokan E materiaalilla vastaavasti pienin. Absorptiosuhde ilmoitetaan yleensä oktaavikaistoittain taajuusalueella 125–4 000 Hz (kuva 8). (23, s. 8.)



KUVA 8. Materiaalien absorptiosuhteita eri taajuuksilla (13, s. 3)

### 3.1.5 Puheensiirtoindeksi

Puheensiirtoindeksi STI (Speech Transmission Index) on luku, joka kuvaa puheen siirron laatua tavuerotettavuuden kannalta. Lukuarvo määritetään IEC 20268-16 mukaan ja se saa arvoja 0,00:sta 1,00:aan. Täydellinen tavuerotettavuus saa arvon 1,00 ja jos puheesta ei saa tavuaakaan selvää, arvo on 0,00. STI mitataan yleensä käyttämällä puheen kaltaista signaalia oktaavikastoilla 125–8 000 Hz ja puhujan äänenvoimakkuutena käytetään ANSI S3.5 mukaista standardipuhetta. Tämä tarkoittaa, että A-äänitaso metrin etäisyydellä puhujan etupolella kaiuttomassa tilassa on suunnilleen 60 dB. Puheen erotettavuuteen ja ymmärrettävyyteen vaikuttavat taustamelutason ja puheen tason suhde, jälkikaiunta-aika, etäisyys puhujan ja kuulijan välillä ja puhujan suuntaavuus. (14, s. 6.)

Puheen erotettavuuden ohjearvot koskevat vastaanottovalmiin huoneen tilan-  
netta eli huoneessa on paikoillaan arkkitehdin suunnittelemat kiintokalusteet. Mit-  
taushetkellä kaikkien LVIS-laitteiden tulee olla normaalissa käytössä ja tilassa ei  
saa olla paikalla yleisöä. Hyvin suunnitellussa luokkahuoneessa, jossa puheen  
erotettavuus on erinomainen, saa STI arvoksi yli 0,75. Puolestaan vierekkäisten  
hyvin äänieristettyjen työhuoneiden välillä ovet suljettuina STI-arvo on alle 0,05  
ja puheenpeitto on silloin täydellinen. (14, s. 6, 25.)

### **3.2 Rakennusakustiikka**

Rakennusakustiikka tutkii rakenteiden kautta siirtyvää ääntä eri tilojen välillä. Ää-  
nilähteen luonteen mukaan käytetään nimeä ilmaääneneristys ja askel- tai run-  
koääneneristys. (4, s. 16.) Asuinrakennuksissa ilmenee paljon eri taajuisia ääniä.  
Esimerkiksi välipohjalla kävely synnyttää ääntä taajuusalueella 25–200 Hz ja ih-  
minen puhuessaan 50–10 000 Hz. Rakenteiden ääneneristävyudessa otetaan  
erityisesti huomioon taajuusalue, jolla ihmisen kuulo on herkimmillään (100–  
3 150 Hz). Nykyisin suunnittelussa on alettu kiinnittää huomiota myös alle 100  
Hz:n taajuuksiin, sillä matalat äänet läpäisevät helposti kevyet seinä- ja välipoh-  
jarakenteet. (16, s. 11.)

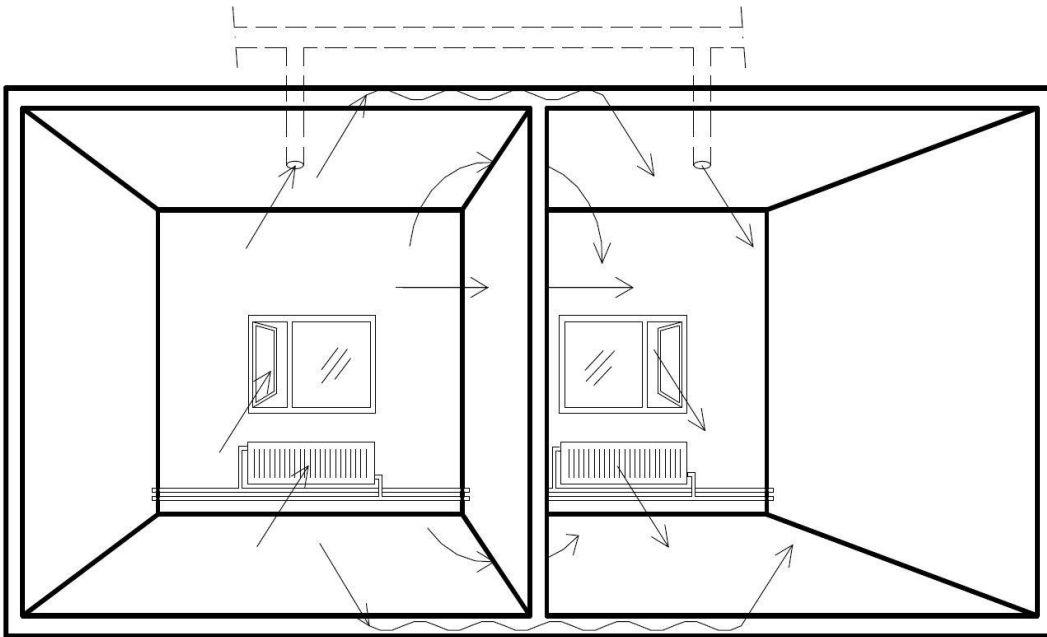
Luvuissa 3.2.1–3.2.4 laajennetaan äänen tarkastelua yksittäisestä tilasta koko  
rakennukseen. Käsitellään, miten ääni pääsee rakennuksessa etenemään ja mi-  
ten etenemiseen voidaan vaikuttaa muun muassa rakenteiden avulla. Rakentei-  
den tarkastelussa keskitytään opinnäytetyön kohderakennuksessa oleviin raken-  
teisiin sekä sinne soveltuviin uusiin rakenteisiin.

#### **3.2.1 Äänen kulkeutuminen rakennuksessa**

Ääni siirtyy ilmassa paineen vaihteluna ja rakenteissa mekaanisena värähtelynä.  
Se kytkeytyy rajapinnoille ilmasta rakenteeseen ja rakenteesta ilmaan. Rajapin-  
nalla osa äänestä heijastuu takaisin ilmaan, osa kytkeytyy rakenteeseen ja osa  
muuttuu kitkan vuoksi lämmöksi. (22, s. 16–17.)

Mikäli äänen siirtymätietä ei ole katkaistu, pääsee ääni etenemään huonetilasta  
toiseen. Aluksi äänilähteen synnyttämä painenvaihtelu kytkeytyy huoneilmasta

seiniin ja saa ne värähtelemään. Rakenteita pitkin värähtely siirtyy toisiin huoneisiin saaden aikaan huoneilmassa painevaihtelua, joka havaitaan taas äänenä. (22, s. 16.) Rakennuksessa ääni siirtyy sekä tiloja erottavien että muiden rakenteiden, LVIS-järjestelmän kanavien, putkien ja johtojen sekä mahdollisten rakojen ja reikien kautta (kuva 9) (24, s. 13).



*KUVA 9. Äänen siirtymäreittejä (24, s. 13)*

Rakenteellisilla sivutiesiirtymillä tarkoitetaan ainakin yhtä huoneita sivuavaa rakennetta, jota pitkin ääni pääsee kulkeutumaan (24, s.14). Mitä paremmin eristävä rakenneosaa eristää ääntä, sitä suurempi merkitys sivutiesiirtymällä on. Sivutiesiirtymä voi heikentää ääneneristävyyttä jopa 15–20 dB. (18, s. 14–15.) Rakenteellisia sivutiesiirtymiä voidaan estää liitokseen liittyvien rakennusosien massalla, liitosten jäykkyydellä ja rakenteisiin tehtävillä saumoilla, joissa rakenne katkaistaan esimerkiksi ilma- tai mineraalivillakerroksella (24, s. 14).

### **3.2.2 Ilmaääneneristys**

Ilmaääneksi kutsutaan ääntä, joka etenee ilman välityksellä äänilähteestä ympäristöön (25, s. 2). Tyypillisiä ilmaääniä ovat muun muassa puhe, musiikki ja äänentoistolaitteiden äänet. Ilmaääneneristävyys tarkoittaa huonetiloja erottavan

rakenteen kykyä eristää äänilähteestä ilman välityksellä ympäristöön kantautuvaa ääntä ja ilmaääneneristävyys muuttuu eri taajuuksilla. (14, s. 6.) Ääneneristyksessä äänienergia ei vähene, mutta suojattavan kohteen äänitaso alenee, koska äänienergiaa pääsee kulkeutumaan sinne vähemmän (11, s. 98). Ilmaääneneristävydessä ei kiinnitetä huomiota siihen, mitä kautta ääni siirtyy, vaan siihen, kuinka suuri osa tilassa syntyneestä äänestä siirtyy toiseen tilaan (22, s. 18). Se saadaan laskettua kaavan 15 mukaisesti (26, s. 3).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad \text{KAAVA 15}$$

$D_{nT}$  = ilmaääneneristävyys (dB)

$L_1$  = ääntä lähettävän huoneen keskimääräinen intensiteettitaso (dB)

$L_2$  = ääntä vastaanottavan huoneen keskimääräinen intensiteettitaso (dB)

$T$  = ääntä vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika (s)

$T_0$  = vertailujälkikaiunta-aika, asuntojen osalta  $T_0 = 0,5$  (s)

Rakenteen ilmaääneneristävyteen vaikutetaan muun muassa rakenneosan pinnolla, kerroksellisuudella, rei'illä, kytkennöillä rakenteen sisällä ja liittymillä muihin rakenteisiin (3, s. 147). Massan kasvattaminen rakenteen ääneneristävyysparantamisen kannalta on taloudellisesti järkevää silloin, kun rakenne on alkujaan kevyt. Massan kaksinkertaistamisella ilmaääneneristävyttä saadaan parannettua 4–6 dB. (16, s. 18.) Ääntä vastaanottavan huoneen äänitasoon vaikuttavat seinän ääneneristävyys lisäksi muun muassa äänilähteen ääniteho, ääntä lähettävän huoneen absorptio, äänilähteen etäisyys tilojen välisestä seinästä ja sivutiesiirtymien määrä (11, s.100).

Standardin SFS-EN ISO 717-1 mukainen ilmaääneneristysluku kuvaa kahden tilan välistä ilmaääneneristävyttä. Ilmaääneneristysluku saadaan, kun vertaillaan taajuuskaistoittain mitattuja ilmaääneneristävyksiä standardoituun vertailukäyrään. Tilojen välistä ilmaääneneristävyttä saadaan sitä paremmaksi mitä suurempi rakenteen ilmaääneneristysluku on. (14, s. 6.)

### 3.2.3 Runko- ja askelääneneristys

Runkoääniä ovat äänet, jotka etenevät rakenteissa. Niitä synnyttävät esimerkiksi rakenteeseen kohdistuva isku ja rakenteessa kiinni oleva laite värähtelyllään. Äänilähteiden synnyttämä ilmaääni saa ympäristön rakenteet värähtelemään. Tällöin ääni etenee rakennuksen rungossa erityisesti taivutusaaltona synnyttäen taivutusaallon nopeus riippuu taajuudesta ja materiaaliominaisuuksista eikä se siten ole vakio. Runkoäänet voidaan aistia myös ilmaääninä, sillä runkoäänen vaikutuksesta värähtelevä rakenne saa ympärillään olevan ilman värähtelemään. (4, s. 27–28.)

Runkoääneneristämällä tarkoitetaan kaikissa kiinteissä kappaleissa etenevän värähtelyn etenemisen estämistä. Etenemistä voidaan katkaista runkoäänilähteen lähellä lähdekohtaisesti, etenemisreitillä varrella tai häirityn tilan kohdalla. Etenemisreitillä varrella äänen eteneminen estetään ääniteknisellä rakennesaumalla, kuten esimerkiksi ilmalla tai mineraalivillalla. (11, s. 187, 189, 211.) Runkoääneneristyksessä käytetään pehmeitä ja joustavia materiaaleja (17, s. 86). Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi mineraalivilla ja solukumi. Äänilähde voidaan myös jousittaa ja tarvittaessa lisäksi sijoittaa raskaalle ja jäykälle alustalle. Tällainen yhdistelmä tulee erottaa rungosta tärinänvaimentimilla. (3, s. 161–162.)

Askelääniksi kutsutaan tiettyjen runkoääntä aiheuttavien iskujen, kuten kävelyn ja huonekalujen siirtelyn, synnyttämiä ääniä (4, s. 28). Askelääneneristuksen tavoitteena on vähentää rakenteisiin kohdistuvien iskujen aiheuttaman äänen leviämistä ympäröiviin tiloihin (24, s. 24). Se saadaan laskettua kaavalla 16 (27, s. 7–8).

$$L'_{nT} = L_2 - 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad \text{KAAVA 16}$$

$L'_{nT}$  = askelääneneristävyys (dB)

$L_2$  = askelääntä vastaanottavan huoneen keskimääräinen intensiteettitaso (dB)

$T$  = ääntä vastaanottavan huoneen jälkikaiunta-aika (s)

$T_0$  = vertailujälkikaiunta-aika, asuntojen osalta  $T_0 = 0,5$  (s)

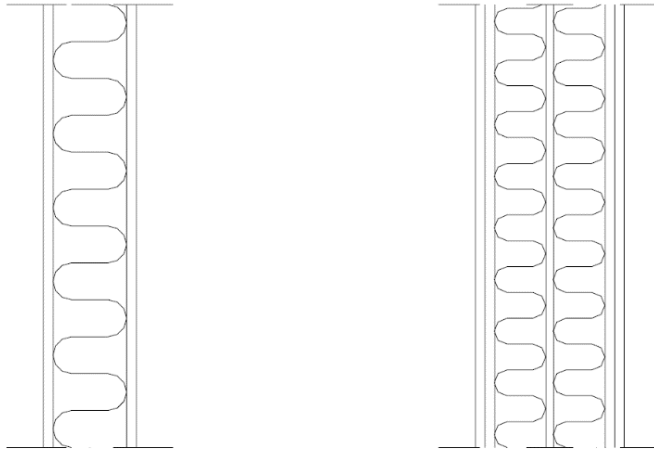
Lattian askelääneneristävyyteen vaikutetaan massalla, resonansseilla, koinsidenssilla, lattiapäällysteillä, kattoverhouksilla ja sivutiesiirtymillä. Tavallisesti askelääneneristämässä käytetään kelluvaa lattiaa ja pehmeitä lattiapäällysteitä. (3, s. 164.) Pehmeistä päällysteistä mainittakoon muovi-, linoleum- ja tekstiilimatot (17, s. 94).

Standardin SFS-EN ISO 717-2 mukainen askeläänitasoluku kuvaa, kuinka paljon ääntä siirtyy tilasta toiseen rakenteiden välityksellä. Askeläänitasoluku saadaan, kun vertaillaan taajuuskaistoittain mitattua normalisoitua äänitasoa standardoituun vertailukäyrään. Tilojen välistä askelääneneristävyyttä saadaan sitä paremmaksi mitä pienempi rakenteen askeläänitasoluku on. (14, s. 6–7.)

### **3.2.4 Rakenteet**

Äänentoiston kannalta puiset rakenteet ovat parempia kuin kivistä rakennetut ja lisäksi matalien taajuuksien akustiikka on puurakenteisessa talossa paras. (21, s. 19, 39.) Talonrakentamisessa yleisesti suositaan kaksinkertaisia seinärakenteita, sillä ne ovat tehokkaampia sekä äänen- että lämmöneristyksessä verrattuna yksinkertaiseen rakenteeseen (22, s. 24).

Kaksinkertainen rakenne muodostuu, kun kaksi tiivistä seinämää erotetaan toisistaan ilmatilalla tai pehmeällä materiaalilla esim. mineraalivillalla (kuva 10). Suljettu ilmatila muodostaa rakenteiden väliin ilmajousen, mikä estää äänen välittymisen eteenpäin sitä paremmin mitä pehmeämpi ilmajousi on eli mitä suurempi ilmaväli on. Kaksinkertaisen levyrakenteen väliin sijoitetun mineraalivillan avulla ääneneristystä saadaan parannettua 5–10 dB ja resonanssien haittavaikutuksia vähennettyä. Kaksin- ja moninkertainen rakenne eristävät molemmat hyvin korkeita ääniä. Kaksinkertaisella rakenteella saavutetaan lisäksi helpommin hyvä matalien äänten eristys. (18, s. 11–13.) Rakenteen äänitekniiseen toimivuuteen vaikutetaan lisäksi luvussa 3.2.1 mainituilla sivutiesiirtymillä ja liitosten huomioimiselle.

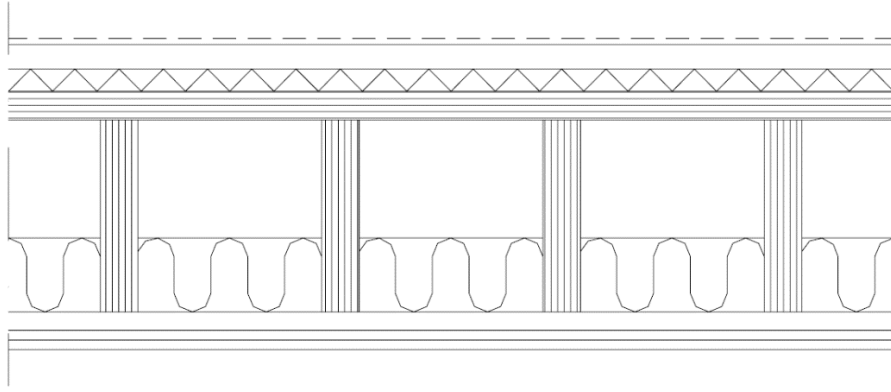


*KUVA 10. Esimerkkejä kaksinkertaisista seinärakenteista (4, s. 57)*

Kelluvilla rakenteilla pystytään tehokkaasti eristämään askelääntä (kuva 11) (22, s. 25). Puuvälipohjien askelääneneristävyydessä tärkeintä on ottaa huomioon koko rakenne. Kun askelääneneristävyyttä halutaan parantaa tehokkaasti, kannattaa oleelliset äänen etenemisreitit vaimentaa mahdollisimman lähellä äänilähdettä. Äänen kannalta oleellisia etenemisreittejä palkkivälipohjalla ovat runkoääni palkkien kautta ja ilmaääni välitilassa. (28, s. 149.)

Palkkien ylä- ja alapuolisten rakenteiden massojen kasvattamisella saadaan askelääneneristävyyttä parannettua koko taajuusalueella. Tämän lisäksi eristävyys paranee erityisesti alle 100 Hz:n taajuuksilla. Puuvälipohjassa kannattaa käyttää useita ohuita levykerroksia yhden paksun levyn sijaan, koska siten saadaan sama massalisäys ja lisäksi värähtelyhäviöitä levykerrosten välille. Massan lisäksi liitoksilla vaikuttaa huomattavasti puuvälipohjan askelääneneristävyyteen. Raskas pintalaatta kannattaa toteuttaa kelluvana rakenteena, jotta pinta-laatan värähtely ei pääse etenemään. Myös alakaton joustavalla kiinnityksellä saadaan välipohjan askelääneneristävyyttä parannettua. (28, s. 149.) Kuvassa 11 on esitetty esimerkkinä yksi Suomessa käytetyistä kevyistä välipohjarakenteista (4, s. 106).





*KUVA 11. Esimerkki kevyestä välipohjarakenteesta (4, s. 106)*

Näiden lisäksi lattiapäällysteiden avulla voidaan parantaa askeläänilähteen tuottaman iskun vaimentamista erityisesti yli 250 Hz:n taajuuksilla. Lattiapäällysteet parantavat enemmän raskaan ja kovan laatan askelääneneristävyyttä kuin kevyen ja joustavan laatan. (28, s. 149.) Erilaisia rakenneratkaisuja on olemassa useita ja niitä on esitelty esimerkiksi RIL 129 Ääneneristyksen toteuttaminen (18).

RIL 243-1-2007 mukaan useimmat rakenteet on tarkoitettu tiiviiksi eikä niihin siten ole tarkoitus jättää työvirheistä aiheutuvia rakoja. Käytännössä rakoja voi jäädä esimerkiksi kevytväliseiniin tiivistämättöminä saumoina tai massiivisiin rakenteisiin huonosti valettuina liitoksina. Useimmin äänivuotoja ilmenee kuitenkin ovissa ja ikkunoissa. (1, s. 86.)

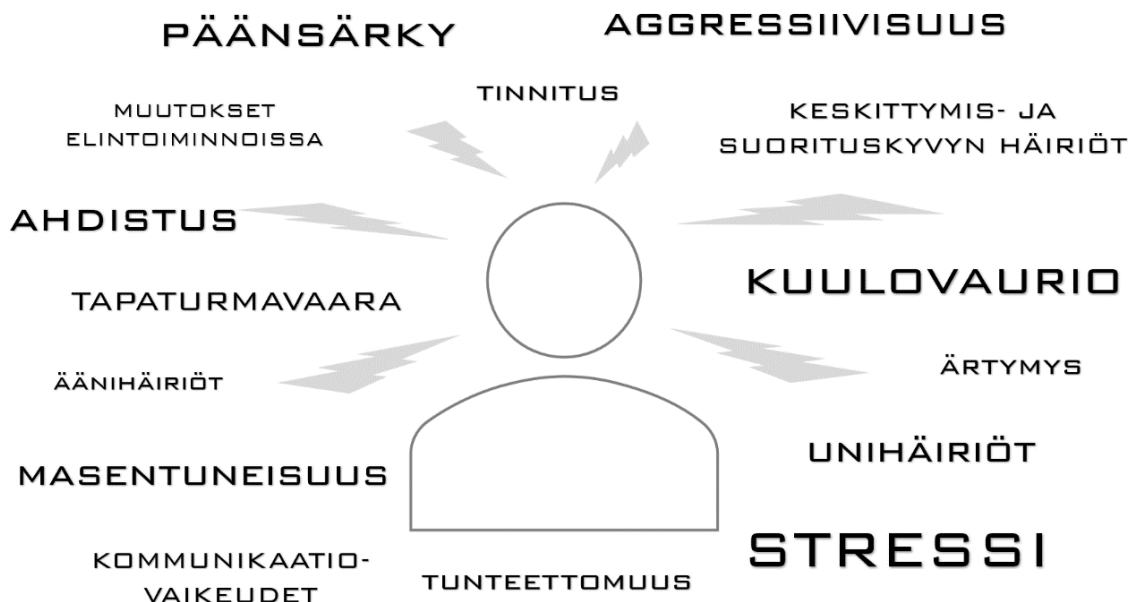
Rakojen tiivistäminen on erityisen tärkeää silloin, kun raot ovat kovapintaisia ja rakenteen oma ääneneristävyys on hyvä. Kun oven ääneneristävyyttä halutaan parantaa, kiinnitetään puitteen ulkopintaan tai karmin sisäpintaan absorboivaa materiaalia. Raon pinta-alan osuus rakenteeseen nähden tulisi olla niin pieni kuin mahdollista. Käytännössä kynnyksettömällä ovelle ei koskaan saavuteta yli 24 dB:n ilmaääneneristävyyttä riippumatta siitä, mikä oven oma rakenteellinen ääneneristyskyky on. (1, s. 87–88.)

### 3.3 Melu ja meluntorjunta

Meluntorjuntalain mukaan melulla tarkoitetaan ääntä tai siihen rinnastettavissa olevaa tärinää, joka on terveydelle haitallista. Melu vähentää merkityksellisesti ympäristön viihtyvyyttä tai haittaa merkityksellisesti työn tekemistä. (29, 2 §.) Toisin sanoen melulla tarkoitetaan ei-toivottuja ääniä (1, s. 10). Haitallisimmaksi melu koetaan silloin, kun siihen ei pystytä itse vaikuttamaan (3, s. 186). Luvuissa 3.3.1–3.3.3 käsitellään melun vaikutuksia ihmiseen ja meluntorjuntaa asuinrakennuksissa erityisesti ilmanvaihtolaitteiden osalta.

#### 3.3.1 Melun vaikutus ihmisiin

Ihmisten yksilöllinen reagoitiherkkyys melulle vaihtelee suuresti, ja lisäksi saman ihmisen reagoitiherkkyteen vaikuttavat erilaiset ajat ja ympäristö. Terveiden kannalta melun vakavin seuraus on pysyvä kuulokyvyn heikkeneminen. Yleisimmin melun aiheuttama kuulovamma syntyy, kun ihminen altistuu kymmenien vuosien ajan päivittäin yli 75–85 dB:n melulle ilman kuulon asianmukaista suojaamista. (30, s. 31.) Muita melun vaikutuksia ihmiselle on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Melun vaikutuksia ihmiseen (1, s. 10; 7, s. 53–55, 58–59, 61; 30, s. 31–32; 31, s. 17–18)

Yksilöllisen herkkyyden lisäksi melun terveydellinen haitta riippuu altistuksen kestosta sekä melun voimakkuudesta ja laadusta. Terveydellisen haitan lisäksi melulla on negatiivinen vaikutus työtehoon, tarkkaavaisuuteen ja oppimistuloksiin. (30, s. 31–32.) Melu on yksi yleisimmistä elinympäristön tasoa heikentävistä tekijöistä (7, s. 8).

Äänen voimakkuus ja altistuksen kesto vaikuttavat myös äänen häiritsevyyteen. Pitkäkestoinen tasainen ja hiljainen kohina häiritsee vähemmän entä hetkellinen voimakas ääni. Verrataan esimerkiksi rakennuksen ilmanvaihdon ja hissien tuottamaa ääntä. Tämän vuoksi äänilähteiden hallinnassa huomioidaan pitkäaikainen keskiäänitaso ja hetkellinen enimmäisäänitaso. (4, s. 32.)

### **3.3.2 Meluntorjunta yleisesti**

Meluntorjunnalla tarkoitetaan toimia, joilla melua aiheuttavan äänilähteen päästöjä vähennetään. Lisäksi meluntorjuntaan kuuluvat melun leviämisen tai melua aiheuttavan toiminnan harjoittamisajan tai -alueen rajoittaminen tai melulle altistuvan kohteen suojaaminen. (29, 2 §.) Meluntorjunnalla on tarkoitus parantaa ympäristön turvallisuutta, viihtyisyyttä ja tuottavuutta. Myös omilla valinnoilla pystyy vaikuttamaan ympärillään olevaan äänimaailmaan esimerkiksi valitsemalla hiljaisia kodinkoneita. (7, s. 68–69.)

Ensisijaisesti melu kannattaa torjua sen lähteeltä, koska melun torjuminen on siten tehokkainta ja halvinta. Melua aiheuttavat usein erilaiset koneet ja laitteet, joita voidaan vaimentaa teknisin keinoin, eristämällä ja kunnossapidolla. Äänilähteeltä ympäristöön leviävää ääntä voidaan rajoittaa esimerkiksi rakenteiden äänieristyksellä, akustoinnilla, koteloinneilla ja erilaisilla absorptiomateriaaleilla. (7, s. 73–74.) Muita meluntorjunnan keinoja ovat rakennusmassojen tarkoituksenmukainen sijoittelu, rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden valinta, parvekelasitusten asentaminen ja melusteiden rakentaminen pihojen oleskelualueille (32, s. 8, 10).

Vaatimukset meluntorjunnalle on annettu ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä sekä jatkuvalla laajakaistaisella että impulssimai-

selle äänelle (2, 5 §). Lisäksi melutasolle on annettu ohjearvoja esimerkiksi Sosiaali- ja terveysministeriön asumisterveysohjeessa ja Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista (30, s. 33–35; 33, 2 §, 3 §). Asuinrakennusten ulkovaipan ääneneristykseen on oltava vähintään 30 dB huolimatta siitä, ovatko ne rakennettu melualueilla vai ei (34, s. 24). Melutaso mitataan yleensä A-äänitasona eli äänet painotetaan vastaamaan ihmiskorvan kuulemaa ääntä (3, s. 186).

### **3.3.3 Ilmanvaihtolaitteiden meluntorjunta**

Asuin- ja työtiloissa melua saattavat aiheuttaa LVI- ja sähkölaitteet. Ilmastointimelua voidaan torjua esimerkiksi verhoamalla konehuoneiden seinämät vaimennusmateriaalilla, eristämällä laitteet rakennuksen rungosta sekä mitoittamalla ilmakehanavisto ja siihen liittyvät päätelaitteet riittävän väljiksi. Oikeanlaisella mitoituksella virtausnopeudet voidaan pitää riittävän pieninä ja siten myös virtausäänet hiljaisempina. (3, s. 187, 188.) Suurimmilla laitevalmistajilla ilmanvaihtokoneiden tärinä- ja runkoääneneristys on otettu huomioon jo suunnittelussa (4, s. 148).

Kanavan ääneneristävyyteen vaikuttavat kanavan rakenne ja muoto. Pyöreä kanava on jäykempi ja ääntä eristävämpi kuin suorakaiteen muotoinen kanava. Äänen vaimenemiseen voidaan vaikuttaa lisäksi kanavien äänenvaimennusmateriaaleilla, mutkilla, poikkipinta-alan muutoksilla ja erilaisilla äänenvaimentimilla. Äänenvaimentimet voidaan jakaa toimintatavan, muotoilun ja rakenteen perusteella kolmeen ryhmään: absorptio- ja kammiovaimentimet sekä reaktiiviset vaimentimet. (35, s. 28, 67–68, 71.)

Kanavan ilmatilaa pitkin kulkevan äänen lisäksi tulee huomioida kanavan seinämän kautta kulkeva ääni. Ääni voi siirtyä kanavan seinämää pitkin huonetilasta toiseen sekä seinämän läpi kanavasta huoneeseen ja toisinpäin. Sivutiesiirtymästä johtuvaa äänen leviämistä voidaan vähentää muun muassa parantamalla ääneneristävyyttä siinä seinässä, josta kanava menee läpi, sekä laittamalla rasakan rakenteen läpimenevän kanavan lujasti ja jäykästi siihen kiinni. (35, s. 87–88.)

### 3.4 Tärinäneristys

Tärinällä tarkoitetaan mekaanista värähtelyä, jonka ihminen pystyy havaitsemaan ja lisäksi kokee sen häiritsevänä (2, 2 §). Tärinää ja runkoääntä aiheuttavat yleensä erilaiset koneet ja laitteet. Tärinä voi aiheutua esimerkiksi edestakaisin liikkuvista massoista, pyörivien osien epätasapainosta tai erilaisista iskuista. (17, s. 86.)

Tärinäeristyksellä tarkoitetaan laitteen eristämistä rakennuksen rungosta. Eristämisessä hyödynnetään joustavia rakenneosia, joiden avulla laitteen aiheuttaman energian siirtymistä runkoon voidaan vähentää. Joissakin tapauksissa rakenteen massa on tarpeeksi suuri, jotta runkoäänen äänentaso pysyy sallittujen äänitasojen alapuolella. Mikäli massaa ei ole riittävästi, suunnitellaan laitteille tärinäneristys. Onnistunut tärinäneristys edellyttää, että se on suunniteltu ja asennettu oikein. (4, s. 16, 167.)

Tärinäeristimiä ovat esimerkiksi kumi-, muovi- tai teräsjouset. Jotta runkoääniltä ja tärinältä vältyttäisiin, tärinäeristetyistä koneista ei saa olla kiinteitä osia rakennuksen runkoon. Tämä edellyttää, että putkiin asennetaan joustavat putkenosat, sähköjohdot toteutetaan vapaasti riippuvana lenkinä ja ilmastointikanaviin asennetaan tarvittavat joustavat liitinnauhat. Tärinäeristyksen alla ei saa koskaan olla kelluvaa lattiaa. (4, s. 169–171.)

Joustavien tärinäeristimien lisäksi tärinän etenemistä voidaan estää rakentamalla äänitekniinen rakennesauma eli katkaisemalla rakenne (18, s. 219). Runkoääni- ja tärinäneristys on asuinrakennuksissa suunniteltava ja toteutettava tilan käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla. Tämä tarkoittaa, että tilassa saavutetaan riittävän hyvä ääniympäristö sitä toimintaa, jota tilassa tehdään, varten. (2, 5 §.)

### 3.5 Akustinen luokitus

Standardissa SFS 5907 on esitetty erilaisten rakennusten akustinen luokitus. Tämän tarkoituksena on auttaa suunnittelijoita, urakoitsijoita, rakennuttajia ja kiinteistönomistajia suunnittelemaan ja toteuttamaan akustisesti tarkoituksenmukaisia tiloja. Standardissa tilat jaetaan neljään luokkaan A–D. Luokat A ja B mahdol-

listavat sellaisten rakennusten suunnittelun, jotka ovat akustiikaltaan tavanomaista tasoa parempia. Luokka C tarkoittaa sellaisten rakennusten suunnittelua, jotka täyttävät vähimmäistason ja rakentamismääräyskokoelmassa määritellyn tason niiltä osin kuin sellaisia on. Luokka D puolestaan on tarkoitettu ainoastaan vanhoille rakennuksille. Tällöin vanhan rakennuksen akustiset ominaisuudet halutaan osoittaa mittauksia tekemällä. Lisäksi samassa rakennuksessa voi olla eri luokkiin kuuluvia tiloja. (14, s. 2.)

Standardissa tavoitteet on annettu teknisinä lukuarvoina, jotka koskevat ilma- ja askelääneneristystä, jälkikaiunta-aikaa sekä rakennuksen LVIS-laitteiden ja ulkopuolisten äänilähteiden aiheuttamaa äänitasoa. Rakennuksen tai tilan standardin mukainen akustinen luokitus voidaan todentaa ainoastaan, kun valmiissa rakennuksessa on tehty akustiset kenttämittaukset ja mittauksissa saatujen arvojen on todettu täyttävän luokituksessa annetut arvot. Standardi ei ole määräys vaan suositus, jota voidaan hyödyntää opastavana asiakirjana ja suunnitteluohjeena. (14, s. 2, 7–9.)

## 4 KOTITEATTERI

Kotiteatteri tarkoittaa eri ihmisille eri asioita. Toiselle kotiteatteri on elokuvateatteri, mutta pienemmässä koossa ja toiselle television ympärille riittää kaiuttimet. Tärkeintä on, että käyttäjät viihtyvät tilassa. Kotiteatterin suunnittelulle ei siis ole olemassa yhtä oikeaa ratkaisua. (21, s. 16.) Luvuissa 4.1–4.3 tutustutaan asioihin, joihin kannattaa kiinnittää huomiota kotiteatteria suunniteltaessa. Aluksi perehdytään audiolaitteiden ja kuuntelupaikan sijoitteluun sekä huoneen akustointiin kalustamisella. Lopuksi vielä käsitellään muita suunnittelussa huomioon otettavia asioita kuten valaistusta, pintamateriaaleja ja -värejä sekä johtojen ja tekniikan sijoittelua. Luvussa 3.1.4 on jo esitelty erilaisia absorptiomateriaaleja.

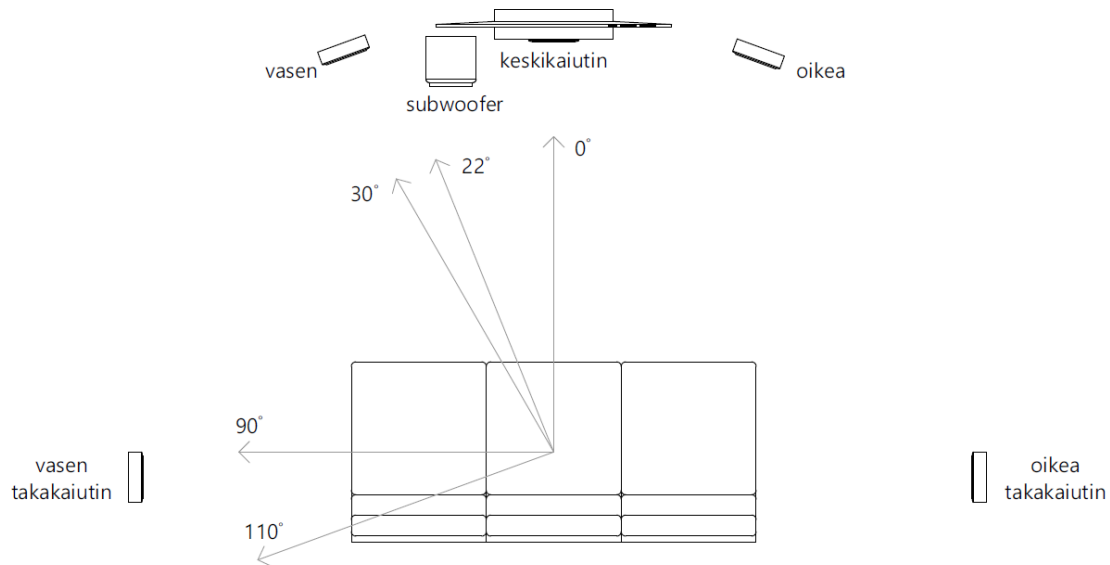
### 4.1 Audiovisuaalisten laitteiden ja kuuntelupaikan sijoittelu

Kaiuttimien ja kuuntelupaikan oikeanlainen sijoittelu on todella tärkeää äänentoiston onnistumisen kannalta. Tämä johtuu siitä, että huoneen rajapinnat vaikuttavat merkittävästi äänenlaatuun. (36, s. 66.) Kuvan olisi hyvä olla mahdollisimman lähelle silmien tasoa ja kaiuttimien korvien tasoa (21, s. 19).

Monikanavaisen äänen toistamisesta on olemassa kaiutinsijoittelusuositus, joka on ITU:n julkaisema ITU-R BS 775. Suosituksessa määritellään yleisin 5.1-kaiutinsijoittelu. Edellä mainitussa numeroyhdistelmässä ensimmäinen numero kuvaa järjestelmää, jossa on viisi koko taajuuskaistan kanavaa. Toinen numero kertoo, että järjestelmässä on yksi kapean taajuuskaistan toistava pienten taajuuksien kanava. (5, s. 61, 108.) Kotiteattereissa tavallisin valinta on juuri 5.1-järjestelmä, sillä suurimmassa osassa DVD- ja Blue-ray-elokuvia ääniraita toimii kyseisellä äänijärjestelmällä (21, s. 133).

Suosituksen mukaan kaikki viisi pääkaiutinta sijoitetaan korvien tasolle ja samalle etäisyydelle kuuntelupisteestä. Korkeudessa tulee kuitenkin kiinnittää huomiota mahdollisiin esteisiin korvien kohdalla ja tarvittaessa sijoittaa kaiuttimet hieman korkeammalle suoran yhteyden saavuttamiseksi. Keskikaiuttimen paikka on suoraan kuuntelijan edessä. Vasemman ja oikean etukaiuttimen paikat ovat keskikaiuttimen molemmin puolin, suuntiin  $\pm 30$  astetta. Kahden takakaiuttimen paikat ovat keskikaiuttimesta nähden suuntiin  $\pm 110$  astetta. (5, s. 109.) Kuvassa 13 on

esitetty, miten kaiuttimet kannattaa kuuntelupaikkaan nähden sijoittaa (21, s. 137).



*KUVA 13. Kaiuttimien sijoittelu suhteessa kuuntelupaikkaan (mukaillen 21, s. 137)*

Subwoofer tarkoittaa matalien äänien toistoon tarkoitettua kaiutinta (21, s. 210). Sen paikan löytää parhaiten kokeilemalla ja siirtelemällä kaiutinta. Oikea paikka on sellainen, jossa mahdollisimmat monet pienten taajuuksien huoneresonanssit ovat keskimäärin yhtä voimakkaita. (5, s. 109.) Subwooferin paikan etsintä kannattaa aloittaa toisen pääkaiuttimen ja keskikaiuttimen välistä (21, s. 137). Toinen hyvä tapa subwooferin paikan löytämiselle on sijoittaa subwoofer kuuntelupaikan kohdalle ja liikkua itse tilassa. Kohta missä ääni kuulostaa parhaimmalta, on subwooferille paras paikka. (37.)

Mikäli kuunteluhuone on tarkoitettu muuhunkin käyttöön, joudutaan usein tekemään kompromisseja akustoinnin ja huoneen ulkonäön suhteen. Tällöin on tärkeintä kiinnittää huomiota kaiuttimien ja kuuntelupaikan hyvään sijoitteluun ja ensimmäisten heijastusten vaimentamiseen. Ensiheijastuspisteet seinällä, lattiassa ja katossa paikannetaan, kun kuuntelupaikalta nähdään peilin kautta kaiuttimet. (36, s. 66, 69.)



Keskikaiuttimen korkeudessa pyritään mahdollisimman lähellä pääkaiuttimien tasoa ja se mieluiten sijoitetaan kuvan alapuolella. Takakaiuttimien hyvä paikka on usein suoraan sivuilla ja noin metrin kuuntelutasoa korkeammalla. (21, s. 137.)

Kotiteatterin keskipisteeksi voidaan sanoa kotiteatterivahvistinta eli AV-vahvistinta, jonka tehtävänä on huolehtia siitä, että kuva ja ääni siirtyvät hyvässä järjestyksessä lähteistä toistettaviin laitteisiin. Akustisiin ominaisuuksiin ja niiden vaikutuksiin voidaan vaikuttaa myös huonekorjaimella, joka on nimenomaan akustointia parantamaan suunniteltu laite. (21, s. 41, 162.) Huonekorjain voi olla myös vahvistimessa ja sen tehtävänä on vaimentaa matalat taajuudet, jotta ne eivät pääse etenemään rakenteiden kautta (38).

Kotiteatterissa kannattaa panostaa AV-vahvistimen laadukkaisiin kaapeleihin, joilla kuva- ja äänisignaali siirtyvät häiriöttä puhtaasti. Laadukas AV-viritinvahvistin skaalaa kuvaa paremmaksi kuvanparannuspiirin ansiosta sekä äänenkäsittelykomponentit ovat laadukkaampia paremmissa malleissa. (37.)

#### **4.2 Tilan akustointi kalustuksella**

Luvuissa 3.1.4 ja 3.2.4 mainittujen absorptiomateriaalien ja rakenteiden lisäksi kotiteatterin akustiikkaan voidaan vaikuttaa kalustuksella ja sisustuksella. Huoneen jälkikaiunta-aikaa ja äänekkyttä voidaan laskea esimerkiksi matoilla, verhoilla, sohvilla ja sängyillä (22, s. 13). Kotiteatteriin kannattaa valita runsaasti tekstiilimassaa, sillä siten huoneeseen syntyy vähemmän häiritseviä kaikuja (21 s. 54).

Sohvapöytä kannattaa sijoittaa siten, ettei kaiuttimen peilikuva heijastu pöydästä, jotta aikaisilta heijastuksilta vältytään. Ensimmäisiä lattiaheijastuksia voi vaimentaa sopivasti sijoitetuilla raheilla tai lattiatyynyillä ja massiivisella sohvalla basso- ja taajuuksia. Sohvan rungon voi myös täyttää vaimentavalla materiaalilla, jolloin jälkikaiunta pienenee matalilla taajuuksilla. (36, s. 67–68.) Kaiuttimien ensimmäisiä heijastuksia voidaan estää myös paksulla matolla (21, s. 38).

Kirjahyllyä voidaan hyödyntää vaimentimena ja erityisesti diffuusorina (36, s. 68). Diffuusorit ovat satunnaisesti epätasaisia pintoja, joilla voidaan ehkäistä tärykaikuja (22, s. 6–7). Ne hajottavat äänirintaman siten, että ääni etenee moneen eri

suuntaan. Kirjahyllyn diffuusoivaa vaikutusta voidaan parantaa sijoittamalla esi-  
neet epäsymmetrisesti. Hylly kannattaa sijoittaa kuuntelupaikan taakse tai kaksi  
kirjahyllyä symmetrisesti huoneen sivuseinille. (36, s. 68, 78.)

Epätasaisilla pinnoilla ja esineillä sekä huonekasveilla huoneen akustiikkaa voi-  
daan myös yleisesti parantaa. Huoneen nurkkiin, katon ja seinän tai seinän ja  
lattian välisiin kulmiin sijoitettavilla bassovaimentimilla vaimennetaan puolestaan  
basson jälkikaiuntaa ja resonanssitajuuksien kerrannaisia. Yleisesti ottaen hu-  
nekalut kannattaa sijoittaa mahdollisimman symmetrisesti kuuntelupaikkaan ja  
kaiuttimiin nähden. (36, s. 68–69.)

### **4.3 Suunnittelussa huomioitavia asioita**

Huoneen mittasuhteilla ei ole suurta merkitystä, mutta poikkeuksellisen pitkään  
ja kapeaan tilaan on haastavaa sijoittaa kaiuttimet (21, s. 19). Suorakaiteen muo-  
toisessa huoneessa ominaisvärähtelyjen vaimentaminen akustoimalla ja kaiutin-  
ten ja kuuntelupaikan sijoittelulla on yleensä helpointa (36, s. 40). Neliön muotoi-  
nen tila on bassoresonanssien kannalta epäedullisin erityisesti, jos huone on  
pieni ja koko asunto on kivirakenteinen. Korkeissa tiloissa kaikuisuus sen sijaan  
tulee helposti ongelmaksi. (21, s. 37.)

Valittaessa valaistusta kotiteatteriin kannattaa kiinnittää huomiota valolähteiden  
määrän ja valotehon riittävyteen, häikäisyjen minimointiin, valaisimien himmen-  
nettävyyteen ja hallittavuuteen sekä energiatehokkuuteen ja paloturvallisuuteen.  
Valaistuksen on hyvä olla säädettävissä. (21, s. 21, 55.)

Ikkunoissa on syytä olla pimentävät verhot, jotta ikkunoiden kautta tulevaa valoa  
pystytään hallitsemaan. Paksuilla verhoilla parannetaan myös akustisia ominai-  
suuksia. Verhon on hyvä olla tukeva (paino 200–300 g/m<sup>2</sup>) ja laskoksilla myös  
ikkunan eteen vedettynä. (21, s. 39.)

Kotiteatterit pyritään sisustamaan tummahkoilla ja mattapintaisilla sävyillä. Liik-  
kuvan ja välkkyvän kuvan katselemista parantavat rauhalliset ja heijastamattomat  
pinnat. Optimaalisimpia värejä ovat musta ja tumman harmaa, mutta myös muita  
tummia sävyjä voidaan käyttää. Vaaleampien pintojen käyttö ei myöskään ole

kokonaan poissuljettua, jos huolehditaan huoneen asianmukaisesta pimentämisestä. (21, s. 53.)

Kotiteatteria suunniteltaessa kannattaa kiinnittää huomiota johtojen sijoitteluun. Uudiskohteissa johdoille voidaan tehdä vedot seinien sisään. Johdot voidaan myös piilottaa johtolistoilla tai -kouruilla. Jos huomaamattomuus on oleellinen asia suunnittelussa, kannattaa valkokangas ja kaiuttimet upottaa seiniin ja kattoon. Nykyään kaiuttimia saa myös monenlaisilla pintamateriaaleilla ja eri värisinä, mikäli laitteet tulevat näkyville. Laitteet voidaan laittaa säilytyskalusteisiin kokonaan pois näkyviltä, kun hankkii radiotaajuuksilla toimivan kaukosäätimen, jolloin laitteeseen ei tarvita suoraa näköyhteyttä. Säilytyskalusteissa tulee olla kunnan ilmatila paloturvallisuuden vuoksi, ja lisäksi aukot sähköjohtojen läpivientiä varten lisäävät käyttömukavuutta. (21, s. 19, 25, 27, 48.) Kotiteatterin laitteita voidaan hallita nykyisin myös älypuhelimeen ladattavien sovellusten avulla (37).

## 5 TILA- JA SISUSTUSSUUNNITELMA KOTITEATTERIIN

Opinnäytetyön suunnittelukohteeseen on mitoitettu yläkertaan käyttöullakko, joka halutaan lähivuosina ottaa käyttöön opinnäytetyössä tehtävän suunnitelman pohjalta. Helsingin rakennusvalvonnan ohjeessa ullakko määritellään seuraavasti:

”Ullakko on kerroksen yläpuolella, yläpohjan ja vesikaton välissä ja pääasiallisesti julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan yläpuolella. Ullakoksi tulkitaan se alue, joka jää enintään 45 asteen kulmassa kohoavan vesikattotason – todellisen tai kuvitellun – alapuolelle.”  
(39, s. 3.)

Ohjeen mukaan tila siis luokitellaan ullakoksi. Luvuissa 5.1–5.2 esitellään kohderakennuksen tiedot ja käsitellään tilalle asetetut tavoitteet. Luvuissa 5.3–5.4 esitetään tavoitteiden pohjalta tila- ja sisustussuunnitelma kotiteatteriin huomioiden tilan muut tarpeet.

### 5.1 Kohderakennuksen tiedot

Kohteena on vuonna 2011 valmistunut puurunkoinen omakotitalo. Omakotitalon yläkertaan on mitoitettu käyttöullakoksi tila, jonka koko pohjapiirustuksen mukaan on 6,5 m x 5,6 m. Käyttöullakko sijoittuu kahden makuuhuoneen, kylpy- ja kodinhoituhuoneen sekä teknisen tilan yläpuolella ja sijaitsee rakennuksen lounaisosassa.

Asemakaavan ja pääpiirustusten asemapiirustuksen mukaan tontilla on jäljellä rakennusoikeutta 50,1 m<sup>2</sup> eli tämän kokoinen laajennustyö voidaan toteuttaa. Asemakaavassa ullakon koolle on asetettu määräys, jonka mukaan toisen kerroksen koko suhteessa rakennuksen suurimman kerroksen alaan saa olla enintään puolet. (40.) Tämä on otettu huomioon jo alkuperäisessä pohjapiirustuksessa.

Tällä hetkellä käyttöullakko on kylmä tila. Ullakolle pääsee kodinhoituhuoneesta ullakkoluukun portaiden kautta. Käyttöullakolla ei ole tällä hetkellä ikkunaa, jota olisi voinut hyödyntää suunnitelmassa varatienä. Suunnittelun ja mallintamisen apuna olivat rakennuksen alkuperäiset pääpiirustukset ja kohteesta mitatut mitat.

## **5.2 Tilalliset tavoitteet**

Käyttöullakolle toivottiin kotiteatterin lisäksi oleskelu- ja säilytystilaa. Kotiteatterin lisäksi tilassa haluttiin pelata video- ja lautapelejä. Lautapeliin pelaamiselle toivottiin viihtyisää oleskeluryhmää ja säilytystilaa peleille. Lisäksi säilytystilaa toivottiin muun muassa kirjoille, leluille ja erilaisille koriste- ja käyttötarvikkeille. Tilassa haluttiin katsella elokuvien lisäksi myös lyhyempiä ohjelmia.

Toiveena oli, että tilaa voidaan hyödyntää perheen lisäksi ystävien kanssa. Istumapaikat vakituiseen käyttöön tuli siten olla 6–8 hengelle. Elokuvien katselua ajatellen rennompaa istumista varten tuli olla istumapaikat ainakin neljälle hengelle. Lisäksi oli suotavaa, että yläkerrassa on nukkumismahdollisuus kahdelle hengelle.

Yläkertaan johtavien portaiden toivottiin vaikuttavan mahdollisimman vähän alakerran tiloihin ja olemassa oleviin kiintokalusteisiin. Lisäksi portaista toivottiin tilatehokkaita ja niiden tuli sopia talon muuhun sisustukseen.

Yläkerrassa ei ollut ikkunaa, joten sellainen tuli kohteeseen suunnitella, jotta tilasta on hätätilanteessa tarvittava varatie ja tilaan saadaan luonnonvaloa. Kotiteatterin kannalta ikkuna ei ollut tarpeellinen, mutta koska tilaa haluttiin hyödyntää myös muussa tarkoituksessa, saatiin sen avulla tilaan viihtyisyyttä ja tarvittaessa tilan käyttötarkoitusta voidaan tulevaisuudessa muuttaa.

## **5.3 Tilasuunnitelma**

Suunnittelussa oli selkeästi kaksi osa-aluetta. Toinen niistä oli portaiden ja niiden ympärillä olevien tilojen suunnittelu ja toinen itse käyttöullakon suunnittelu tilana. Luvuissa 5.3.1–5.3.2 esitellään kummankin osa-alueen suunnittelutyön lopputulokset sekä kerrotaan perusteluja ratkaisuille.

### **5.3.1 Portaat**

Tilasuunnitelmaan vaikutti vahvasti uusien portaiden paikan valinta. Alun perin toiveena oli, että portaat sijoitetaan kodinhoitohuoneeseen, mutta haasteeksi osoittautui kattoristikoiden suunta. Kierreportaat olivat myös yksi vaihtoehto,

mutta silloinkin ainakin yhteen kattoristikoon olisi jouduttu suunnittelemaan lisätuenta. Tämän seurauksena portaille alettiin etsiä paikkaa muualta asunnosta. Suunnitelmaa johdatti ajatus siitä, mihin huoneeseen tarvitaan mahdollisesti lisätilaa ja missä sitä vastaavasti on liikaa.

Lopputuloksena portaat päädyttiin sijoittamaan makuu- ja työhuoneen väliin, sillä makuuhuoneessa oli tehotonta tilaa ja työhuoneeseen kaivattiin lisätilaa uuden ompeluharrastuksen myötä (liite 1). Tässä suunnitelmassa nykyinen seinä työ- ja makuuhuoneen väliltä poistettiin ja uusi seinä suunniteltiin siten, että makuuhuone pieneni 810 mm. Makuuhuoneen ovi siirtyi myös suunnitelmassa.

Ympäristöministeriön perustelumuistion mukaan portaan tulee täyttää seuraavat ehdot:

”Yksinomaan varatienä käytettävän ja asunnossa tai majoitustilassa muihin kuin asumista palveleviin välttämättömiin tiloihin johtavan portaan nousu voisi olla enintään 220 millimetriä ja etenemän olisi oltava vähintään 220 millimetriä. Muut kuin asumista palvelevat välttämättömät tilat olisivat ullakolla tai parvella, jotka eivät täyttäisi kerroksen tunnusmerkkejä, tai kellarissa. Tällainen porraskorkeus voisi olla niin kapea, että siinä kulkija ylittää käsijohteeseen molemmin puolin. Tällainen porraskorkeus ei voisi olla varsinaisten asuintilojen uloskäytävään johtavalla kulkureitillä”. (41, s. 4.)

Kattoristikoiden välin ja olohuoneen seinälinjan vuoksi portaista tuli 700 mm leveät. Portaiden etenemäksi tuli 240 mm ja nousuksi 202 mm. Tällä jaolla portaiden yläosa ei tullut näkyviin olohuoneen puolelle. Yläkerran ovi voitiin tällöin sijoittaa yläkerran korkeimpaan kohtaan siten, että oven ja portaan välissä oli RT 88-11018:n mukainen vähintään 400 mm:n tila (42, s. 7).

Suojakaiteeksi suunniteltiin ylös asti oleva rimoitus, sillä portaiden reunasta haluttiin mahdollisimman yhtenäinen (kuva 14). Tällainen rimoitus täytti ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen käyttöturvallisuudesta 7 §:n. Rimojen väli määräytyi asetuksen mukaan 100 mm:ksi. Lisäksi portaisiin suunniteltiin asetuksen mukaisesti käsijohteet portaiden kumpaankin reunaan korkeudelle  $h = 900$  mm ja portaikon kulkukorkeudeksi mitoitettiin vähintään 1 950 mm. (43, 7 §, 8 §, 9 §, 14 §.)



*KUVA 14. Portaat (visualisointikuva tehty Twinmotion 2018 -ohjelmalla)*

Portaiden alle suunniteltiin vedettävät säilytyshyllyköt ja pöytätaaso, jotka näkyvät kuvassa 15. Suunnitelman mukaisen pöytätaason ympärillä pystyy liikkumaan. Se suunniteltiin seisomakorkeudelle, jotta kankaiden leikkaus onnistuu helposti. Korkeimpaan hyllykköön suunniteltiin ompelutarvikkeet, jotta hyllykkö ja pöytätaaso voivat olla samanaikaisesti auki, kun kankaita työstetään. Toiseksi ylimpään ja matalimpaan hyllykköön mahtuu puolestaan hyvin kansioita, kirjoja ja erilaisia tarvikkeita. Suunnitelman mukainen pöytätaaso muodostuu hyllykön yläosasta ja taittavasta pöytälevystä, joten pöydän koko suurimmillaan on 750 mm x 1 300 mm. Tason alapuolelle suunniteltiin lisäksi paikat ompelukoneelle ja saumurille.



*KUVA 15. Portaiden säilytysjärjestelmä (visualisointikuva tehty Twinmotion 2018 -ohjelmalla)*

### **5.3.2 Käyttöullakko**

Huonealaltaan suunnitelman mukaisesta tilasta tuli 21 m<sup>2</sup> (liite 1). Korkein kohta rakenteineen oli 2057 mm eli se ei täytä ympäristöministeriön asetusta, jonka mukaan asuintilan vähimmäiskorkeus pientalossa on 2 400 mm (liitteet 2 ja 3) (44, 4 §). Matalammilla reuna-alueilla tila hyödynnettiin pääasiassa säilytykseen ja kotiteatterin akustisiin ratkaisuihin (kuva 16). Ilmastoinnin olemassa oleva kanava sijoittui myös matalammalle alueelle ja sitä siirrettiin noin 500 mm, jotta huoneeseen ei tullut uloketta ja säilytyksen seinälinjasta saatiin yhtenäinen. Uuden tilan vaatima poistoilmakanava mahtui vanhan kanavan kanssa samaan talotekniseen tilaan.





*KUVA 16. Kotiteatterin säilytysjärjestelmä (visualisointikuva tehty Twinmotion 2018 -ohjelmalla)*

Yläkerran väliseinän paikka määräytyi oven koon mukaan siten, että oven saa auki. Portaiden yläosassa näkyi tällöin kattoristikko, joten se koteloitiin kipsilevyllä. Koteloinnin sisään suunniteltiin tilavaraus taloteknisille asennuksille. Valtioneuvoston asetuksen rakennuksen esteettömyydestä oven koolta vaaditaan seuraavaa:

”Muun rakennuksen kuin asuinrakennuksen huonetiloihin sekä asuinrakennuksen asuinhuoneisiin, asumista palveleviin välttämättömiin tiloihin ja rakennuksen käyttöä palveleviin tiloihin johtavan oven ja kulkuaukon vapaan leveyden on oltava vähintään 800 millimetriä” (45, 4 §).

Oven leveydeksi valikoitui 9 M, sillä vaikka oven vapaa leveys olisi 800 mm, ovi ei olisi mahtunut aukeamaan silloin, kun seinä oli kattoristikon kanssa samassa linjassa. Oven taakse jäävästä tilasta muodostui erillinen vaatehuone, jonne mahtuu helposti esimerkiksi kesäksi talvivaatteet sekä vieraiden petivaatteet.

Tilasuunnitelmaan kuului lisäksi ikkunan suunnittelu, joka toimii varatienä (liite 4). Ikkunan kooksi valikoitui 8 + 8 x 10 M, sillä sen haluttiin olevan yhtä leveä kuin

tielle näkyvät muut ikkunat. Korkeuden määritteli ikkunasta saatava riittävä luonnonvalon määrä, joka takaa tarvittaessa tilan muuntojoustavuuden. Suunnitelmassa ikkuna muodostui kiinteästä ikkunasta ja varatieikkunasta. Rakennusvalvonnan mukaan varatienä toimivan ikkunan alareuna ei saa olla alle 700 mm lattiasta ja sen leveyden ja korkeuden summan tulee olla vähintään 1 500 mm. Lisäksi varatienä toimiva ikkuna ei saa olla leveämpi kuin 1 200 mm. Varatieikkunassa tulee olla kiintopainike ja aukipitolaite, joka täyttää aukipitolaitteen vaatimukset ja on hätätilanteessa riittävän helposti aukaistavissa. (46.)

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta asetetaan ikkunan U-arvoksi 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Asetus koskee myös rakennuksen laajennusta. (47, 1 §, 24 §.) Ikkunan tuli siis täyttää edellä mainittu U-arvo ja lisäksi varatien kriteerit, jotka on esitetty edellisessä kappaleessa. Ikkunan U-arvo täyttyy esimerkiksi Skaalan Alfa 30 -ikkunalla (48).

Luvuissa 5.3.1 ja 5.3.2 esitettyjen ratkaisujen pohjalta tila ei siis voi olla asumista välttämättömästi palveleva tila tai asuintila. Tällaisen ullakolle tulevan tilan rakennuslupaa voidaan hakea esimerkiksi harrastetilana (49, s. 20).

#### **5.4 Sisustussuunnitelma**

Pintojen sävyiksi valikoitui pääasiassa vaaleita sävyjä, sillä tila on suunnitelman mukaan suhteellisen matala. Katon ja päätyseinän sävyssä päädyttiin maalarinvalkoiseen 0802-G72Y ja näyttölaitteen takana olevassa seinässä NCS-sävyyn 5634-B13G (50). Liukuoviseinän liukuovissa päädyttiin valkoiseen väriin. Aiemmin mainittujen NCS-sävyjen lisäksi seinissä käytettiin tehosteena NCS-sävyjä 3647-B13G, keskiyö 8900-N, tuhka 3303-G89Y ja greippi 1155-Y01R (50). Kotiteatterin kannalta vaaleita sävyjä käytettäessä tilan pimentämisestä huolehdittiin verhojen avulla (ks. luku 4.3).

Kuvassa 17 esitetyt sävyt toistuivat suunnitelmassa myös tilan tekstiileissä. Koska kotiteatteri erosi toiminnoiltaan rakennuksen muista huoneista, haluttiin, että tila on erilainen myös värivalinnoiltaan verrattuna rakennuksen muihin tiloihin. Portaista puolestaan suunniteltiin valkoiset alakerran muuhun värimaailmaan mukautuen.



*KUVA 17. NCS-sävyt vasemmalta oikealle: 0802-G72Y, 3303-G89Y, 8900-N, 5634-B13G, 3647-B13G ja 1155-Y01R (50)*

Lattiamateriaaliksi valikoitui Timberwisen Moonstone-tammiparketti, jossa on vaalean kuultoharmaan sävy (51). Lattiamateriaalin valintaa ohjasi alakerran ole-massa olevan lattian sävy, sillä sen haluttiin olevan koko rakennusta yhdistävä tekijä.

Kalustus suunniteltiin tilaan siten, että tilalle asetetut luvussa 5.2 mainitut tavoit-teet täyttyivät. Tilaan suunniteltiin kalustukseksi neljän hengen divaanisohva ja kaksi erillistä säkkituolia, joita voi käyttää elokuvia katseltaessa, videopelejä pe-latessa tai muuten vain oleskeltaessa. Lisäksi sohva toimii kokonsa puolesta tar-vittaessa vierasvuoteena.

Tilaan ei haluttu erillistä pelipöytää vaan matala sohvapöytä. Sovhapöytää voi-daan hyödyntää elokuvia katseltaessa tarjoilupöytänä ja lisäksi sen ympärillä pystytään pelaamaan lautapelejä, kun istuimina hyödynnetään sohva ja ra-heja. Pöydän paikka pitää kohteen valmistuttua katsoa siten, että se ei ole äänen ensiheijastuspisteessä (ks. luku 4.2). Sohvan ympärille haluttiin vielä erillisiä las-kutasoja, joita voi hyödyntää elokuvien katselun aikana ja pelattaessa.

Kattoon valaisimiksi suunniteltiin säädettävät ja kattoon upotetut led-nauhat. Ala-katon reunoille saatiin akustiikkalevyn ansiosta upotettua epäsuoraa valoa, joka heijastuu sivuseiniin ja liukuoviin. Kattoon asennettavien ledien avulla tilaan saa-tiin hyvä yleisvalo ja himmennettävyyden ansiosta tilaan voidaan luoda erilaisia tunnelmavalvoja. Lisäksi portaiden reunaan suunniteltiin valaistukseksi led-nauha. Erilaisten valaistuskokonaisuuksien saavuttamiseksi tilaan valittiin myös lattiava-laisimia. Kalustus- ja sisustussuunnitelmia on havainnollistettu kuvilla 18 ja 19.



*KUVA 18. Harrastetila (visualisointikuva tehty Twinmotion 2018 -ohjelmalla)*



*KUVA 19. Harrastetila (visualisointikuva tehty Twinmotion 2018 -ohjelmalla)*

## 6 ÄÄNIYMPÄRISTÖ KOTITEATTERISSA

Nykyaikaisissa kodeissa yhä useammin panostetaan äänentoistolaitteisiin. Parasta äänenlaatua tavoiteltaessa tulee laitteiden lisäksi kiinnittää huomiota laitteiden sijoitteluun ja akustointiin. (22, s. 27.) Luvuissa 6.1–6.3 esitetään kohderakennuksen akustiset tavoitteet ja tavoitteiden pohjalta tehty ääniympäristön huomioiva suunnitelma. Suunnittelussa on kiinnitetty huomiota audiovisuaalisten laitteiden ja kuuntelupaikan sijoitteluun, absorptiomateriaaleihin, kalustukseen ja rakenteellisiin ratkaisuihin.

### 6.1 Akustiset tavoitteet

Kohteen kotiteatterin päätavoitteina olivat miellyttävä äänimaailma ja arkinen käyttömukavuus. Haittaavat heijastukset ja korostukset haluttiin vaimentaa siten, että äänimaailmasta saatiin miellyttävä isommillakin äänen voimakkuuksilla. Tavoiteltava jälkikaiunta-aika kotiteattereissa on 0,5 sekunnin molemmin puolin (38). Kyseinen jälkikaiunta-aika asetettiin myös suunnitelman tavoitteeksi.

Ääneneristyksen kannalta kotiteatterin haluttiin olevan sellainen, että äänet eivät häiritsevästi kantaudu alakerran muihin tiloihin ja tilaa voidaan käyttää myös myöhemmin illalla ilman, että alakerran nukkuminen merkittävästi häiriytyy. Videopelien ja elokuvien äänien siis toivottiin pysyvän mahdollisimman hyvin kotiteatterin sisällä. Rakenteiden ääneneristävyys ei kuitenkaan toivottu vievän tarpeettomasti tilaa eli öisin elokuvia voidaan katsoa pienemmällä äänenvoimakkuudella. Tavoitteena oli suunnitella tila siten, että laitteet ja erityisesti johdot ovat mahdollisimman huomaamattomasti rakenteisiin upotettuina.

### 6.2 Ääniympäristön suunnitelma

Kotiteatterin suunnittelussa oleellisinta tässä kohteessa olivat arkinen käyttömukavuus ja miellyttävä äänimaailma. Pohjolan mukaan tämä käytännössä tarkoittaa, että kohteeseen valitaan sellainen laitteisto, jonka äänentoisto on mieleinen ulkonäköön, helppokäyttöisyyteen ja käytettävään budjettiin nähden sekä huomioidaan laitteiden ja kalusteiden asianmukaisesta sijoittelusta ja ensiheijastusten vaimentamisesta (38). Kohteessa kotiteatterin lisäksi tilassa tuli ottaa huomioon

oleskelutilan vaatimukset ja toimivat säilytysratkaisut. Tämän vuoksi akustisista tavoitteista jouduttiin jonkin verran tinkimään. Luvuissa 6.2.1–6.2.3 esitetään suunnitelmaan valitut ratkaisut audiovisuaalisiin laitteisiin, absorptiomateriaaleihin ja kalustukseen liittyen.

### **6.2.1 Audiovisuaaliset laitteet**

Kohteeseen valikoitui 5.1-järjestelmä ja audiovisuaaliset laitteet saatiin sijoitettua tilaan ITU-suositusta mukailemalla tavalla. Takakaiuttimet sijoitettiin korvan tasoa noin metrin korkeammalle ja etukaiuttimet korvien tasolle.

Näyttölaitteen vuoksi keskikaiutinta ei tässä tapauksessa voitu sijoittaa korvien tasolla vaan sen alapuolella. Laaksosen mukaan televisio soveltuu paremmin lyhytaikaisten ohjelmien katseluun kuin videotykki. Lisäksi kuvan koon olisi hyvä olla suunnilleen katseluetäisyys jaettuna kahdella, mutta koon valinta on osittain myös makuasia. (21, s. 47, 62.) Näillä ohjeistuksilla kohteeseen valikoitui 70 tuuman taulutelevisio.

Tällä hetkellä kohteessa on mahdollista pelata videopelejä alakerran olohuoneessa, mutta suunnitelman mukaisen uuden kotiteatterin myötä myös videopelien pelaaminen siirtyy yläkertaan. Täten PlayStation 4, ohjaimet ja lisälaitteet sijoitettiin kotiteatterin etuseinälle liukuovien taakse AV-vahvistimen kanssa. Lisäksi videopeleille ja DVD:ille tuli suunnitelmassa hyvin tilaa etuseinän säilytysratkaisun myötä. AV-vahvistimeksi valittiin sellainen vahvistin, jossa on huonekorjain helpottamaan matalien äänten hallintaa. Säilytysratkaisu ja siinä olevat liukuovet mitoitettiin sen verran tilaviksi, että ilma pääsee siellä kiertämään. Liukuovia voi myös tarvittaessa pitää auki silloin, kun laitteet ovat käytössä.

### **6.2.2 Absorptiomateriaalit**

Kotiteatteriin kannattaa sijoittaa absorptioluokan A akustiikkalevyä 30–35 % pinta-alasta erityisesti ensiheijastuspisteisiin (37). Tämä toteutettiin suunnitelmassa akustoimalla koko katto ja osittain etu- ja sivuseinät, jolloin akustiikkalevyä suhteessa akustoivien pintojen alaan oli noin 33 %. Parocin sivuilla olevan laskurin avulla jälkikaiunta-ajoiksi eri taajuuksilla saatiin kuvan 20 mukaiset arvot, jotka vastaavat luvussa 6.1 asetettua jälkikaiunta-ajan tavoiteaikaa (52).

## CALCULATION RESULT

Room name: Room size: 4800 mm x 5750 mm x 1800 mm (WxDxH)

Type of wall: Light

Furnishing: Sparse

WITHOUT ABSORBERS		Reverberation times (s)
		125Hz - 0,6
		250Hz - 0,8
		500Hz - 1
		1kHz - 1
		2kHz - 1
		4kHz - 1
Mean value 250 Hz - 4 KHz		1

COMPARISON 1						
Surface	Product	Edge	Thickness (mm)	Suspension height (mm)	Area (m <sup>2</sup> )	Reverberation times (s)
Ceiling	PARAFON Direct	A	40	Direct	22	125 Hz - 0,5
Wall	PARAFON Wall Panel Slugger		40		8	250 Hz - 0,3
						500 Hz - 0,2
						1 kHz - 0,2
						2 kHz - 0,2
						4 kHz - 0,2
Mean value 250 Hz - 4 KHz						0,2

### *KUVA 20. Suunnitelmalla saavutettavat jälkikaiunta-ajat eri taajuuksilla (52)*

Laskuri ei ottanut huomioon tilan todellista muotoa ja laskurissa ei ollut valittavana juuri samoja tuotteita, jotka kohteeseen valittiin. Tuotteet olivat kuitenkin absorptioluokan A materiaaleja, kuten myös kohteeseen valitut suunnitelman mukaiset tuotteet olivat. Katon akustiikkalevyjen pinta-alasta vähennettiin kattovalaisimien tarvitsema ala.

Yläpohjaan asennettiin absorptioluokan A akustiikkalevyä koko näkyvän alakaton alalle. Akustiikkalevyksi valittiin Parocin PARAFON Step Direct, sillä sen pystyy asentamaan suoraan alustaan erilaisilla ladontamalleilla ja sitä saa kaikissa NCS-sävyissä. Lisäksi sitä saa absorptioluokassa A. (53.) Sivuseinien ensiheijastuspisteet tulee tarkastaa kohteen valmistuttua ja sijoittaa absorptioluokan A akustiikkalevyt sen mukaisesti (ks. luku 4.1).

Seppälän mukaan matalien äänten vaimentamiseen kannattaa näyttölaitteen ja etukaiuttimien taakse sijoittaa 400–500 mm mineraalivillaa (37). Aluksi äänen- vaimennusmateriaalin paksuus vaikutti tähän kohteeseen tilan turhalta käytöltä, mutta ison näyttölaitteen taakse oli haastavaa sijoittaa toimivaa säilytystä. Lisäksi kalteva alakaton muoto edesauttoi ratkaisua, että tilaan sijoitettiin matalia ääniä vaimentamaan paksu kerros äänenvaimennusmateriaalia näyttölaitteen ja etukaiuttimien taakse.

Jotta mineraalivillakerros ei ole osa ulkovaipan rakennusfysikaalista toimintaa, tuli mineraalivillakerroksen ja ulkovaipan väliin jättää tuulettuva ilmarako. Lisäksi mineraalivilla päällystettiin asianmukaisella riittävän tiheällä kankaalla, esimerkiksi paksulla verhokankaalla tai Alcantara-verhoilukankaalla, jotta hiukkasia ei pääse huoneilmaan (38). Matalien äänten vaimentamiseen voidaan lisäksi käyttää tilan takanurkkiin sijoitettavia bassoansoja (37).

### **6.2.3 Kalustus**

Kalustuksessa pyrittiin tilan symmetrisyyteen ja runsaaseen tekstiilimassaan. Suunnitelmassa ikkunan saa peitettyä paksulla ja pimentävällä verholla ja lattialla ensiheijastukset vaimentaa muhkea matto. Tilaan valikoituivat suuri sohva, säkkituoleja, runsaasti tyynyjä ja suuri huonekasvi, jotka myös edesauttavat tilan akustiikkaa. Vaikka avohyllyköt toimisivat luonnostaan diffuusoreina, kohteeseen valittiin umpinainen säilytysratkaisu, jotta tilan puhtaanapito on vaivattomampaa.

### **6.3 Äänen etenemisen hallinta kotiteatterista**

Rakenteita valittaessa kiinnitettiin huomiota ilma- ja askelääneneristävyyksiin, energiatehokkuusmääräyksiin, asennuksen helppouteen ja riittävän ohuisiin rakennepaksuuksiin, jotta itse tilalle jää tarpeeksi tilaa varsinkin pystysuunnassa. Erityisesti välipohja ja -seinät vaikuttavat äänen etenemiseen rakennuksen alakertaan, mutta asiayhteyden vuoksi luvussa 6.3.1 esitetään myös yläpohjan ja ulkoseinien rakennevalinnat. Luvuissa 6.3.2–6.3.3 esitetään puolestaan valitut ratkaisut ovelle ja ilmanvaihdolle.



### 6.3.1 Rakenteet

Rakenteiden valintaa ohjasivat vahvasti rakenteiden askel- ja ilmaääneneristysluvut ja U-arvot. Alkuperäiset U-arvot ulkoseinille ovat 0,140 W/m<sup>2</sup>K ja yläpohjalle 0,074 W/m<sup>2</sup>K. Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta asetetaan seinän U-arvoksi 0,17 W/m<sup>2</sup>K ja yläpohjan 0,09 W/m<sup>2</sup>K. Asetus koskee myös rakennuksen laajennusta. (47, 1 §, 24 §.)

Ulkoseinissä päädyttiin puurunkoisiin Kingspan Therma -eristeisiin ulkoseiniin (US 1.2.1). Yläpohjaksi puolestaan valittiin Kingspan Therma -eristeinen yläpohja (YP 1.2.1), jonka eristepaksuudet määriteltiin Kingspan Therma yläpohjien U-arvotaulukosta. (54, 55.) Yläpohjaan ja seiniin suunniteltiin lisäksi akustiikkalevyt luvussa 6.2.2 esitetyllä tavalla.

Väli­pohjan rakenne valikoitui kelluvaksi rakenteeksi, jossa oli akustinen jousiranka. Uuden ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 mukaan suurin sallittu askeläänitasoluku  $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$  asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä on 53 dB (2, 4 §). Kyseistä arvoa hyödynnettiin rakenteen valinnassa. Rakenteeksi valikoitui Isoverin puurunkoinen dB-väli­pohja, johon suunnitelmassa tuli sähkökaapelilla lattialämmitys (56, 57). Väli­pohjan pintamateriaaliksi valittiin luvussa 5.4 mainittu tammiparketti.

Väliseinäksi valittiin Parocin Palo- ja äänikirjasta parhaiten ilmaääntä eristävä väliseinä eli kaksoispuurankainen tuplalevyseinä (58, s. 78). Suunnitelmassa pyrittiin mahdollisimman lähelle uuden ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017 mukaista pienintä sallittua äänitasoerolukua  $D_{nT,w}$  asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä eli 55 dB (2, 4 §). Alakertaan sekä portaiden ja olohuoneen väliseksi väliseinäksi valittiin puolestaan mahdollisimman kapea puurankainen levyväliseinä­rakenne (58, s. 81).

Rakenteiden valinnan lisäksi rakenteiden väliset liitokset suunniteltiin hyvin ja ne tulee myös toteuttaa huolellisesti, jotta rakenteisiin ei jää rakoja tai reikiä, kuten luvussa 3.2.4 esitettiin. Rakenteet sekä niiden U-arvot ja askel- ja ilmaääneneristysluvut on esitetty liitteissä 2 ja 3.

Johtojen huomaamattomuus oli yhtenä tilalle asetetuista tavoitteista. Suunnitelmassa kaikki johdot ja kaapelit kuljetettiin rakenteiden sisässä suojaputkessa. Lisäksi etukaiuttimet ja keskikaiutin upotettiin rakenteisiin, mikä lisää tilan käyttömukavuutta ja siivoamisen helppoutta. Seinärakenteeseen jätettiin kaiuttimien upotusta varten asennustila siten, että kaiuttimien taakse jäi 10–20 mm:n väli. (38.) Takakaiuttimien asennuksessa päädyttiin pintakaiuttimiin väliseinän ääneneristyksen varmistamiseksi ja tilan säästämiseksi.

### **6.3.2 Ovi**

Oveksi valittiin Jeld-Wenin ääniluokiteltu tammikynnyksinen ovi, jonka ilmaääneneristysluku  $R_w$  on 42 dB (59). Tuplaovi olisi ääneneristyksen kannalta hyvä (38). Kohteessa päädyttiin kuitenkin käyttömukavuuden kannalta yhteen oveen, sillä ovi, joka olisi avautunut tilaan päin, olisi avautunut vain vähän yli 90 astetta katon kaltevan muodon vuoksi ja olisi siten haitannut tilan arkikäyttöä.

### **6.3.3 Ilmanvaihto**

Kylliäisen mukaan ilmanvaihdon äänenkehitystä voidaan hallita parhaiten hyvillä äänenvaimentimilla ja valitsemalla puhaltimet, ilmankäsittelyosat ja kanavakoot oikein (4, s. 143). Suunnitelmassa päädyttiin edellä mainittuihin ratkaisuihin eli kun kohteeseen suunnitellaan lopullinen ilmanvaihto, tulee kyseiset menetelmät ottaa huomioon.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyössäni käsittelin ääntä ja akustiikkaa sekä sitä, miten niihin voidaan rakennuksissa vaikuttaa esimerkiksi rakenteilla, absorptiomateriaaleilla ja kalusteilla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä tilasuunnitelma omakotitalon kotiteatteriin ääniympäristö huomioiden. Mallinsin kohteen ArchiCAD 21 -ohjelmalla ja visualisointikuvat tein Twinmotion 18 -ohjelmalla.

Alun perin toiveenani oli tehdä suunnitelman lisäksi akustiikkaan liittyviä mittauksia sekä opetella jokin akustiikan mallinnusohjelma. Käsiteltävää kirjallisuutta ja aineistoa löytyi kuitenkin niin paljon, että päädyin rajamaan opinnäytetyön pohjautuen kirjallisuuteen. Kotiteattereihin liittyvissä asioissa sain lisäksi tietoa Sami Pohjolalta ja Jari Seppälältä.

Kokonaisuuden kannalta käytin suhteellisen paljon aikaa teoriaosuuden kirjoittamiseen. Kirjoittamisen sijaan minun olisi kannattanut varata enemmän aikaa suunnitelman viimeistelyyn ja rakennedetaljien työstämiseen. Kirjallisesta osuudesta tuli kuitenkin hyvä koonti ääneen ja akustiikkaan liittyvistä asioista, joita kotiteatteria itselleen suunnittelevan on helppo hyödyntää.

Työni luotettavuutta rajoittaa se, etten pääse testaamaan tai mittaamaan suunnitelmani todenmukaisuutta valmiissa tilassa. Olen kuitenkin todella tyytyväinen asiantuntijoilta saamiini tietoihin ja uskon, että suunnitelmani on hyvä käyttämiini menetelmiin nähden. Lisäksi suunnitelmani todistaa sen, että kotiteatterin rakentaminen kohteen käyttöullakolle on mahdollista.

Laajan kirjallisuuskatsauksen vuoksi opinnäytetyöni lisäsi tietämystäni ja ymmärrystäni ääneen ja akustiikkaan liittyen sekä opetti minulle prosessityöskentelyä. Työn edetessä aihe osoittautui todella haastavaksi ja siinä tuli ottaa useita eri osa-alueita huomioon yhtenäisen kokonaisuuden saavuttamiseksi. Jatkokehitysehdotukseni on jonkin akustiikan mallinnusohjelman opettelu ja suunnitelmani tarkastaminen sen avulla. Lisäksi kotiteatterien äänenvaimennukseen voitaisiin entisestään kehittää kalusteisiin tai rakenteisiin integroitavia vaihtoehtoja.

## LÄHTEET

1. RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu – Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
2. A 24.11.2017/796. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä.
3. Siikanen, Unto 2014. Rakennusfysiikka – Perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
4. Kylliäinen, Mikko 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tutkimusraportti 137. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, rakennetekniikan laitos.
5. Aro, Eero 2006. Tilääni. Helsinki: Idemco Oy.
6. Opi lisää äänestä. 2015. Tieteen kuvalehti. Saatavissa: <http://tieku.fi/fysiikka/aani-on-ilman-varahtelyja>. Hakupäivä 17.1.2018.
7. Starck, Jukka – Teräsvirta, Laura 2009. Melu. Helsinki: Työterveyslaitos.
8. Viita, Heli – Huttunen, Kerttu – Sorri, Martti 1998. Korvat ja kuuleminen. Helsinki: Suomen Kuurosokeat ry.
9. Äänikirja. 1991. Helsinki: Oy Partek Ab.
10. Alitalo, Sanna 2016. T522106 Rakennusfysiikka 6 op. Opintojakson luennot keväällä 2016. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
11. Halme, Alpo 1977. Rakennus- ja huoneakustiikka – Meluntorjunta. Espoo: Otakustantamo.
12. Everest, F. Alton 2001. The Master Handbook of Acoustics – Fourth Edition. New York: McGraw-Hill.
13. RT 07-10881. 2006. Huoneakustiikka. Rakennustieto Oy. Saatavissa: [https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/RT\\_9359.html.stx](https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/RT_9359.html.stx) (vaati käyttäjälisenssin). Hakupäivä 4.2.2018.

14. SFS 5907. 2004. Rakennusten akustinen luokitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
15. Björk, Erkki 1997. Meluntorjunta. 3. uudistettu painos. Kuopio: Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos.
16. Wood Focus Oy: Tero Lahtela 2004. Ääneneristys puutalossa – Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyuden suunnitteluohje. Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>. Hakupäivä 14.2.2018.
17. Borenus, Juhani – Jauhiainen, Tapani – Lampio, Eero – Nuotio, Juhani – Pesonen, Kari – Pyykkö, Ilmari 1981. Akustiikan perusteet. Insinööritieto Oy.
18. RIL 129. 2003. Ääneneristysten toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
19. Gyproc äänikirja – Rakennusakustiikka – Keskeisiä ohjeita. 1992. Helsinki: Gyproc Oy.
20. SFS-EN ISO 354. 2003. Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
21. Laaksonen, Kaj 2011. Kotiteatteri – Luo toimiva viihdekeskus. Jyväskylä: WSOYpro Oy.
22. Taina, Pekka 2006. Pientalon huoneakustiikan parantaminen. Diplomityö. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu, sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.
23. SFS-EN ISO 11654. 1997. Acoustics. Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
24. Asuinrakennusten äänitekniikan täydentävä suunnitteluohje. 2009. Insinööri-toimisto Heikki Helimäki Oy. Saatavissa: [www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21797/Suunnitteluohje\\_final\\_osa1.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21797/Suunnitteluohje_final_osa1.pdf). Hakupäivä 16.2.2018.

25. C1. 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998. C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1917/c1.pdf>. Hakupäivä 15.2.2018.
26. SFS-EN ISO 16283-1. 2014. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
27. SFS-EN ISO 16283-2. 2015. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
28. Latvanne, Pekka 2015. Puuvälipohjien akustiset ominaisuudet ja laskentamallit. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma.
29. L 3.4.1987. 382/1987. Meluntorjuntalaki.
30. Asumisterveysohje – Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Saatavissa: [https://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje\\_pdf.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje_pdf.pdf). Hakupäivä 19.1.2018.
31. Ampuja, Outi 2008. Oikeus hiljaisuuteen – Pamfletti. Barrikadi-sarja No 2. Helsinki: WSOY.
32. Kylliäinen, Mikko 2018. Melun ja värinäntorjunta. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/486338/17726385/20180212+Kylli%C3%A4inen+Mikko+Melu+ja+t%C3%A4rin%C3%A4.pdf/c9868fc7-f42c-45a6-9414-9843288d93de>. Hakupäivä 28.2.2018.
33. 29.10.1992/993. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista.

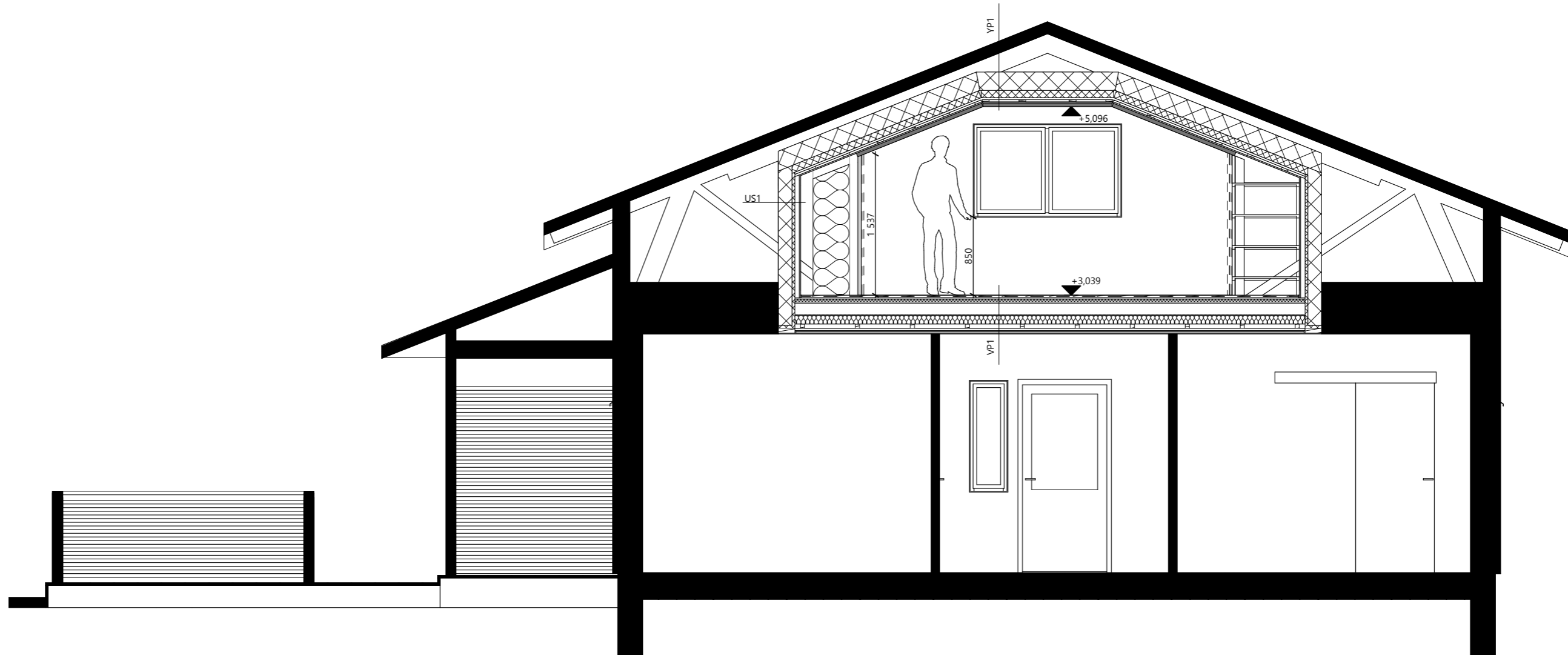
34. Kylliäinen, Mikko 2018. Asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/486338/17726385/20180212+Kylli%C3%A4inen+Mikko+%C3%84%C3%A4niymp%C3%A4rist%C3%B6.pdf/ba9b280c-6160-4821-946b-a9a5d7f7e8f4>. Hakupäivä 28.2.2018.
35. Halme, Alpo – Seppänen, Olli 2002. Ilmastoinnin äänitekniikka. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto.
36. Häikiö, Jyrki 2014. Akustiikkaopas. Hifiharrastajat ry.
37. Seppälä, Jari 2018. GOAT-elokuvateatterin perustaja, Hifi-jälleenmyyjä. Keskustelu 30.3.2018. Täydennetty puhelinkeskustelu 12.5.2018. Täydennetty Re: Opinnäytetyö kotiteatteriin liittyen. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Johanna Kalliainen. 5.6.2018.
38. Pohjola, Sami 2018. AV-asiantuntija, Hifi Studio. Keskustelu 28.3.2018. Täydennetty Re: Opinnäytetyö kotiteatteriin liittyen. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Johanna Kalliainen. 15.5.2018.
39. Ullakkoasunnot. 2015. Helsingin kaupunki, Rakennusvalvonta. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/Ullakkoasunnot.pdf>. Hakupäivä 25.4.2018.
40. Karttatie – Oulun seudun karttapalvelu. 2018. Oulun kaupunki, yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut. Saatavissa: <https://kartta.ouka.fi/ims>. Hakupäivä 22.4.2018.
41. Lukkarinen, Pekka 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta. Muistio. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Kayttoturvallisuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Kayttoturvallisuus). Hakupäivä 22.3.2018.
42. RT 88-11018. 2011. Portaat ja luiskat. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortistot/tuotteet/105877.html.stx> (vaati käyttäjälisenssin). Hakupäivä 6.3.2018.

- 43.A 20.12.2017/1007. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta.
- 44.A 20.12.2017/1008. Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista.
- 45.A 5.5.5017/241. Valtioneuvoston asetus rakennuksen esteettömyydestä.
- 46.Varatie 2013. Oulun kaupunki, Rakennusvalvonta. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/varatie>. Hakupäivä 22.4.2018.
- 47.A 27.12.2017/1010. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.
- 48.Ikkunat. Skaala. Saatavissa: <http://www.skaala.com/ikkunat.html>. Hakupäivä 26.4.2018.
- 49.Kerrosalan laskeminen. 2000. Ympäristöopas 72. Tampere: Ympäristöministeriö.
- 50.Tikkurila Symphony 2436 -värikartta 2018. Tikkurila. Saatavissa: [https://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/varit/varikartat\\_sisamaalaukseen/symphony\\_2436\\_-varikartta](https://www.tikkurila.fi/ammattilaiset/varit/varikartat_sisamaalaukseen/symphony_2436_-varikartta). Hakupäivä 27.4.2018.
- 51.Moonstone. Timberwise. Saatavissa: <http://timberwise.fi/tuote/moonstone/>. Hakupäivä 26.4.2018.
- 52.Parafon Sound Calculator 2018. Paroc. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/parafon-acoustic-calculator>. Hakupäivä 27.4.2018.
- 53.PARAFON Step 2018. Paroc. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/tuotteet/akustiikka/moduulikatot/varilliset-akustiikkalevyt/parafon-step>. Hakupäivä 26.4.2018.
- 54.Pientalorakentamisen detaljikirjasto. Kingspan. Saatavissa: <https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/tietopankki/pientalorakentamisen-detaljikirjasto>. Hakupäivä 7.4.2018.



55. Aineistot – Suunnittelu- ja työohjeet – U-arvotaulukot – Kingspan Therma U-arvotaulukot, yläpohjat. Kingspan. Saatavissa: <https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/aineistot>. Hakupäivä 7.4.2018.
56. Puurunkoinen välipohja, dB 2018. Isover Saint-Gobain. Saatavissa: <https://www.isover.fi/rakenneratkaisut/puurunkoinen-valipohja-db>. Hakupäivä 3.4.2018.
57. Lattialämmitys. 2011. Gyproc Saint-Gobain. Saatavissa: <http://www.gyproc.fi/ratkaisut/lattiat/lattialammitys>. Hakupäivä 26.4.2018.
58. Paroc Palo- ja äänikirja 2018. Paroc. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/kampanjat/paroc-palo-ja-aanikirja>. Hakupäivä. 26.4.2018.
59. Yleisten tilojen ääniluokiteltu ovi FE  $R_w$  42 dB. Jeld-Wen. Saatavissa: [https://www.jeld-wen.fi/media/1021278/jeld\\_wen\\_ovi\\_fe\\_tuotekortti.pdf](https://www.jeld-wen.fi/media/1021278/jeld_wen_ovi_fe_tuotekortti.pdf). Hakupäivä 26.4.2018.





YP1  $U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $R_w \geq 31 \text{ dB}$ ,  $R_w + C \geq 30 \text{ dB}$ ,  $R_w + C_{tr} \geq 27 \text{ dB}$

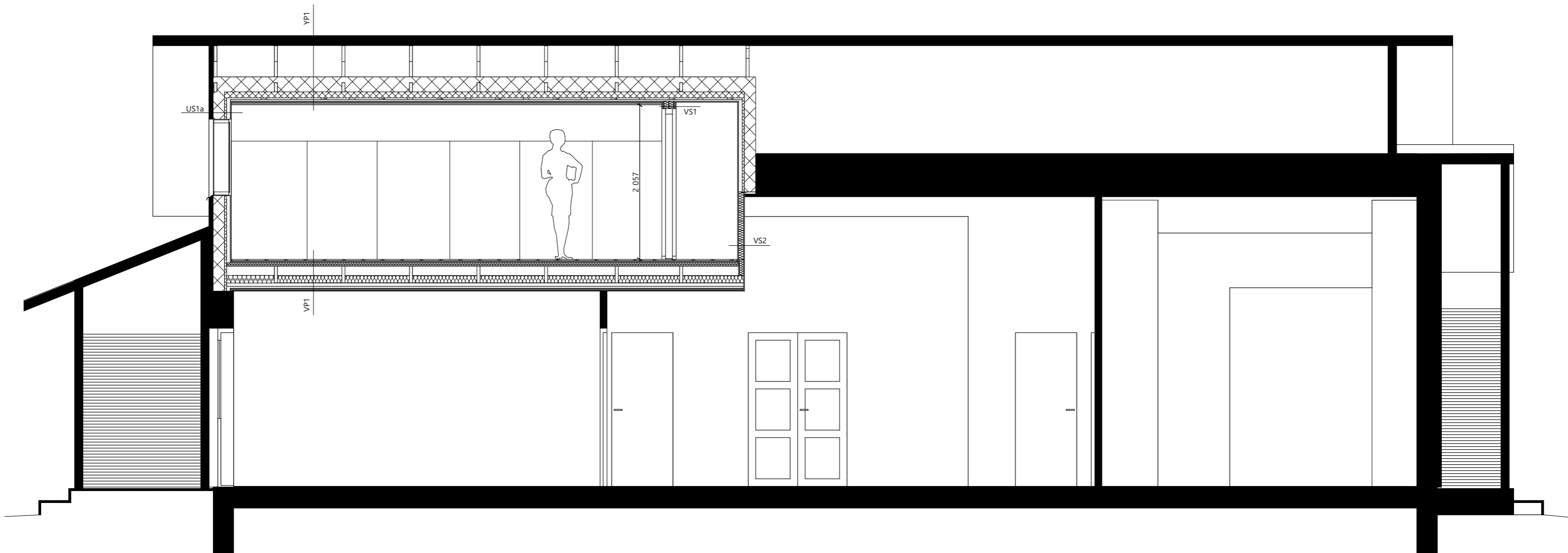
- 1 Muovipinnoitettu pelti (olemassa oleva)
- 2 Ruoteet katevalmistajan ohj. mukaan (olemassa oleva)
- 3 Korotusrima 19 mm (olemassa oleva)
- 4 Aluskate (olemassa oleva)
- 5 Tuuletusväli  $\geq 100 \text{ mm}$ ,
- 6 Kattokannattajat k900 rakennesuunnitelmien mukaan
- 7 Kingspan Therma™ TP10 Runkolevy 200 mm, vaahdotus runkoon
- 8 Kingspan Therma™ TP10 80 mm, saumat vaahdotetaan
- 9 Asennustila, ristikoolaus 22x75, toisiokannattajat k400
- 10 Kipsilevy 13 mm
- + Akustiikkalevy 40 mm, absorptioluokka A, Parafon Step tai vastaava

VP1  $L'_{n,w} \leq 53$ ,  $L'_{n,w} + C_{50-2500} \leq 63 \text{ dB}$ ,  $R'_w \geq 58 \text{ dB}$ ,  $R'_w + C_{50-3150} \geq 52 \text{ dB}$

- 1 Parketti 15 mm, esim Tiberwise Moonstone tai vastaava
- 2 2xGyproc GL 15, 30 mm, levysaummat limitetään
- 3 Askeläänieriste ISOVER FLO 30 mm, dynaaminen jäykkyys  $< 15 \text{ MN/m}^3$
- 4 Vaneri 18 mm
- 5 Lattiakannattajat, korkeus  $\geq 200 \text{ mm}$  k 600, rakennesuunnitelman mukaan
- 6 Ääneneriste ISOVER KL-AKU 100 mm
- 7 Koolaus 45x45 k600
- 8 Akustinen jousiranka Gyproc AP25 k400
- 9 Kipsilevy Gyproc GN 13 tai GEK 13
- 10 Kipsilevy Gyproc GF 15, levysaummat limitetään
- 11 Kattopaneeli 10 mm

US 1  $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $R_w \geq 30 \text{ dB}$ ,  $R_w + C \geq 29 \text{ dB}$ ,  
 $R_w + C_{tr} \geq 26 \text{ dB}$

- 1 Vaakaponttilauta 28x145 (olemassa oleva)
- 2 Pystykoolaus 28x100 (olemassa oleva)
- 3 Runkotolpat k600, rakennesuunnitelmien mukaan
- 4 Kingspan Therma™ TW55 Runkolevy 150 mm, vaahdotus runkoon
- 5 Kingspan Therma™ TW55 30 mm, saumat vaahdotetaan
- 6 Asennustila, pystykoolaus 48x48 mm
- 7 Sisäverhouslevy



US 1 U = 0,13 W/m<sup>2</sup>K, R<sub>w</sub> ≥ 30 dB, R<sub>w</sub> + C ≥ 29 dB, R<sub>w</sub> + C<sub>tr</sub> ≥ 26 dB

- 1 Vaakaponttilauta 28x145 (olemassa oleva)
- 2 Pystykoolaus 28x100 (olemassa oleva)
- 3 Runkotolpat k600, rakennesuunnitelmien mukaan
- 4 Kingspan Therma™ TW55 Runkolevy 150 mm, vaahdotus runkoon
- 5 Kingspan Therma™ TW55 30 mm, saumat vaahdotetaan
- 6 Asennustila, pystykoolaus 48x48 mm
- 7 Sisäverhouslevy

US 1a

Kuten US1, mutta tuuletusväli siten, että Kingspan Therma™ TW55 30 mm -eriste muodostaa vanhan ulkoseinärakenteen höyrynsulun kanssa yhtenäisen höyrynsulkukerroksen.

VS 1 EI60, R<sub>w</sub> 59 dB, R<sub>w</sub> + C 56 dB, R<sub>w</sub> + C<sub>tr</sub> 48 dB

- 1 Pintamateriaali tai -käsittely
- 2 2 x Kipsilevy, 13 + 13 mm
- 3 Puurunko, 2 x 70 x 45 mm, k600 limittäin 300 mm + kivilla PAROC eXtra
- 4 2 x Kipsilevy, 13 + 13 mm
- 5 Pintamateriaali tai -käsittely

VS 2 EI60, R<sub>w</sub> 40 dB, R<sub>w</sub> + C 37 dB, R<sub>w</sub> + C<sub>tr</sub> 34 dB

- 1 Pintamateriaali tai -käsittely
- 2 Kipsilevy, 13 mm
- 3 Puurunko, 66 x 39 mm, k600 + kivilla PAROC eXtra (2,1 x 50 mm naulat k600 molemmin puolin runkoa eristeen paikallapysymisen varmistamiseksi)
- 4 Kipsilevy, 13 mm
- 5 Pintamateriaali tai -käsittely

