

Jonne Alakärppä

ÄÄNITEKNIikka ILMANVAIHDON SUUNNITTELUSSA

ÄÄNITEKNIikka ILMANVAIHDON SUUNNITTELUSSA

Jonne Alakärppä
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Jonne Alakärppä

Opinnäytetyön nimi: Äänitekniikka ilmanvaihdon suunnittelussa

Työn ohjaaja: Tomi Jäävirta

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 55 + 2 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä ilmanvaihdon äänitekniikkaan sekä äänitekniiseen suunnitteluun. Työssä käytiin läpi ilmanvaihdon äänitekniikkaan liittyvä teoria, järjestelmän komponentit sekä suunnittelua ohjaavat alan rakennus-, ja viranomaismääräykset. Lisäksi työssä tehtiin esimerkkilaskelmia, -suunnitelmia, -piirustuksia sekä mitoituksia.

Suunnittelua ohjaavia määräyksiä ovat ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä, ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018 sekä sisäilmastoluokitus 2018. Tämän lisäksi äänitekniiseen suunnitteluun on olemassa LVI-kortteja sekä standardeja. Työn edetessä huomattiin että ilmanvaihdon äänitekniikkaan liittyvät asetukset ja ohjeet ovat vähäiset. Asetukset käytännössä vain määrittelevät äänitekniset raja-arvot taloteknisille laitteille, mutta eivät ota kantaa suunnitteluun.

Tarkastelua tehtiin esimerkkisuunnitelmien ja piirustusten avulla. Lisäksi tehtiin esimerkkilaskelmia ja mitoituksia ilmanvaihdon äänitekniiseen suunnitteluun liittyen. Esimerkkilaskelmia tehtiin puhallinmelun siirtymisestä ilmanvaihtokoneelta päätelaitteelle, äänen siirtymisestä tilasta kanavaan ja kanavasta tilaan sekä vertailulaskentaa eri asennustapojen vaikutuksesta päätelaitteen aiheuttamaan äänitasoon.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin ilmanvaihdon äänitekniikan suunnitteluun työkalu, joka kattaa teorian, määräykset, sekä käytännön suunnitteluun liittyviä ohjeita. Opinnäytetyö toimii myös opiskelumateriaalina ilmanvaihdon äänitekniikkaan.

Asiasanat: LVI, Ilmanvaihto, äänitekniikka, suunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services

Author: Jonne Alakärppä
Title of thesis: Noise Control in Design of Ventilation System
Supervisor: Tomi Jäävirta
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022
Number of pages: 55 + 2 appendices

The aim of this thesis was to get acquainted with the sound engineering design of a ventilation system. The theory related to ventilation sound technology, system components and building regulations governing the design were reviewed in the work. In addition, example calculations and plans were made in the work.

The result of the thesis was a tool for the design of ventilation sound technology, which covers theory, regulations, and practical design instructions. The thesis also serves as a study material for ventilation sound technology.

Keywords: HVAC, Ventilation design, Noise control, Engineering

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ILMANVAIHDON ÄÄNITEKNIikka	8
2.1	Äänen taajuus	8
2.2	Äänenpaine ja tehotaso	9
2.3	Jälkikaiunta-aika, huoneabsorptio ja vaimennus	10
2.4	Taajuuskaistat ja A-painotus	12
2.5	Äänilähteiden yhteenlasku	13
2.6	Virtausmelu	14
2.7	Päätevaimennus	15
3	JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT	16
3.1	Ilmanvaihtokone ja puhaltimet	16
3.2	Säätöpelti	16
3.3	Päätelaitteet	17
3.4	Äänenvaimentimet	19
3.5	Pyöreä kanava	21
3.6	Suorakaidekanava	22
3.7	Kanaviston osat	23
4	RAJA-ARVOT JA RAKENNUSMÄÄRÄYKSET	25
4.1	Ympäristöministeriön asetus 2017	25
4.2	Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018	26
4.3	Sisäilmaluokitus 2018	26
5	ÄÄNITEKNINEN SUUNNITTELU	28
5.1	Omakotitalo	28
5.1.1	Kanaviston haaroitukset omakotitalossa	33
5.1.2	Ääniteknisesti eristetty tila	34
5.2	Koulu ja päiväkotii	35
5.2.1	Äänenvaimentimen sijoitus IV-konehuoneessa	36
5.2.2	Äänen siirtyminen kanavasta tilaan	39
5.2.3	Kanaviston suunnittelusta	42
5.2.4	Luokahuoneen suunnittelu	45
6	RAKENNUKSEN ULKOPUOLISET JÄRJESTELMÄT	48

6.1	Suunnittelun perusteista	48
6.2	Ulkoilma- ja ulospuhalluslaitteet.....	50
7	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET.....	53
	Liite 1 Omakotitalon äänitekniinen laskenta	
	Liite 2 Päätelaitteiden äänitasovertailun laskenta	

1 JOHDANTO

Äänitekniikka ja huoneakustiikka ovat merkittäviä tekijöitä rakennuksen asumisviihtyvyyden sekä rakennusterveyden kannalta. Ääniteknisesti toimiva ilmanvaihtojärjestelmä on oleellinen osa toimivan kokonaisuuden muodostumisessa. Kouluissa äänekäs ilmanvaihto voi häiritä opetusta ja oppimista tai vastaavasti päiväkodin lepotiloissa nukkumista. Ilmanvaihtojärjestelmän äänitekniikkaan vaikuttavat ilmanvaihtokoneen aiheuttama melu sekä kanaviston ja järjestelmän komponenttien suunnitteluun ja mitoitukseen liittyvät asiat.

Ilmanvaihdon äänitekniikka ja sen hallitseminen ovat tärkeä osa LVI-suunnittelijan työtä. Hyvällä suunnittelulla saadaan aikaan toimiva kokonaisuus, jossa ei ole häiritsevää melua eikä ääni pääse kantautumaan kanavaa pitkin tilasta toiseen.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään ilmanvaihdon äänitekniseen suunnitteluun, sillä ilmanvaihdon äänitekniikka on yleisesti koettu haasteelliseksi. Työn tavoitteena onkin koota yhteen dokumentti, joka kattaa alan rakennus- ja viranomaismääräykset, teorian sekä käytännön suunnitteluun ja äänitekniseen laskentaan liittyvää ohjeistusta. Tarkastelua tehdään esimerkisuunnitelmien, piirustusten sekä niihin liittyvien laskelmien avulla. Työ käsittelee omakotitalo- ja koulu- sekä päiväkotikokoluokan rakennuksia sekä järjestelmiä.

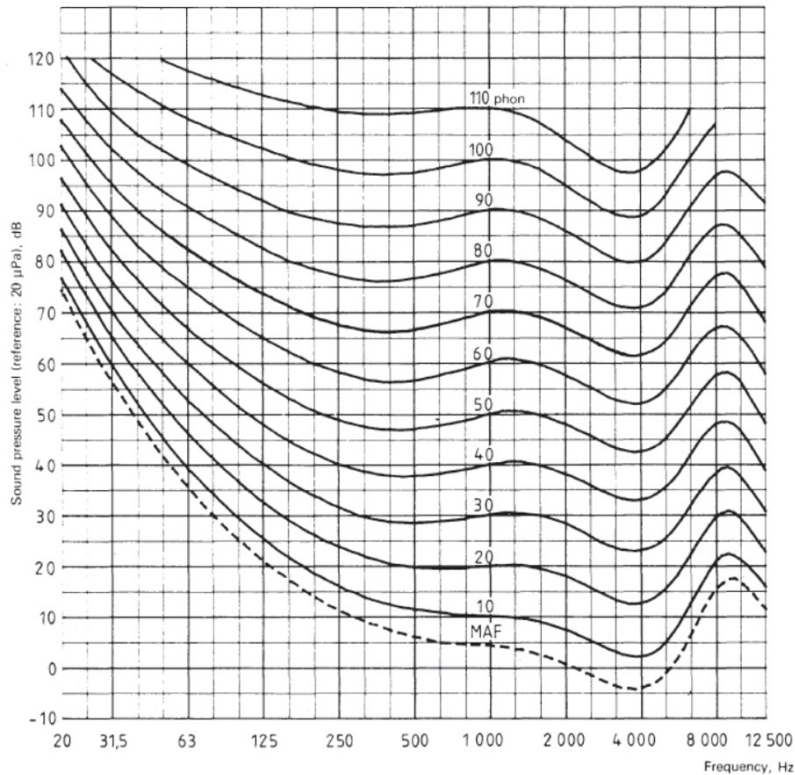
2 ILMANVAIHDON ÄÄNITEKNIikka

Tämä luku käsittelee ilmanvaihdon äänitekniikan teoriaa. Luvussa tutustutaan äänitekniikan käsitteisiin sekä tutkitaan niiden vaikutusta ilmanvaihtojärjestelmään. Ääni on etenevää aaltoliikettä, joka tarvitsee väliaineen. Yleensä väliaineena toimii ilma, jolloin puhutaan ilmaäänestä, mutta ääni voi myös edetä muissakin väliaineissa (1). Ääni vaimenee etäisyyden kasvaessa äänilähteestä, mutta taajuus ei muutu vaan pysyy vakiona. Ääni luokitellaan meluksi silloin kun se koetaan häiritsevänä. Äänitekniikan kannalta olennaisia käsitteitä ovat äänen taajuus, äänenpaine ja tehotaso, huonevaimennus sekä taajuuskaistat ja taajuuspainotukset.

2.1 Äänen taajuus

Äänen taajuus ilmaisee värähtelyn lukumäärää sekunnissa, ihmisen korva tunnistaa taajuuden väliltä 20...20000 Hz. Tärkein taajuusalue on kuitenkin 100...4000 Hz. Pieni taajuus tarkoittaa matalaa ääntä ja vastaavasti suuri taajuus tarkoittaa korkeaa ääntä. Korkeat taajuudet ovat yleensä häiritsevämpiä kuin matalat taajuudet. Toisaalta korkeita taajuuksia on helpompi vaimentaa kuin matalia taajuuksia. Aallonpituus voidaan määrittellä jakamalla äänennopeus taajuudella. Esimerkiksi äänennopeuden ollessa 343 m/s aallonpituudeksi 200 Hz taajuudella saadaan noin 1,7 m (2).

Korvan taajuusvastetta kuvastaa hyvin kuva 1 (3, s. 4). Kuvasta voidaan havaita, että kun koettu äänenvoimakkuus (phon) on esimerkiksi 50 dB, tarvitaan sen kokemiseen 1 kHz:n taajuudella 50 dB. Vastaavasti saman aistimuksen kokemiseen 4 kHz:n taajuudella tarvitaan ainoastaan 43 dB.



KUVA 1. Korvan taajuusvaste eri äänekkyystasoilla (3, s. 4)

2.2 Äänenpaine ja tehotaso

Äänenpainetta kuvaa ilmakehän paineessa tapahtuvien heilahtelujen suuruus eli amplitudi. Ilmanpaineen muutos aistitaan äänenä ja sitä kuvaa suure äänenpaine p [Pa]. Suunnittelutyössä äänenpainetta [Pa] kannattaa tarkastella äänenpainetasona [dB]. Tämä siksi että äänen aiheuttamat ilmanpaineen vaihtelut ovat verrattain pieniä suhteessa esimerkiksi vallitsevaan ilmanpaineeseen, joka on noin 1 bar. Äänenpainetaso voidaan määritellä kaavalla 1 (4, s.60), jossa vertailuarvo on valittu vastaamaan heikointa 1000 Hz:n taajuudella olevaa ääntä, jonka normaalikorva havaitsee. 1000 Hz:n taajuudella pienin havaittavissa oleva äänenpaine on $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (4).

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

KAAVA 1

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

$p = \text{tarkasteltava äänenpaine}$

Äänenpainetason suuruuteen vaikuttavat oleellisesti mittauspisteen etäisyys äänilähteestä sekä äänilähteen suuntaavuus suhteessa mittauspaikkaan. Esimerkiksi jos tarkasteltava äänenpaine

olisi kipukynnyksen ylittävä 20 Pa, saadaan äänenpainetasoksi 120 dB. Taulukossa 1 (4, s. 2) on esimerkkejä äänien voimakkuuksista.

TAULUKKO 1 Esimerkkejä äänien voimakkuuksista (4, s. 2)

Äänitaso dB	Äänilähde esimerkiksi	Oleskeluaika enintään
0	kuulokynnys	
20...25	makuuhuoneiden taustamelu yöllä	
30...40	ilmastoinnin taustamelu	
60...70	puheääni huoneessa	
70...80	voimakas puheääni, liikenne	8 tuntia
85...90	moottoripyörä	2...4 tuntia
90...110	disco tai rock-konsertti	2 tuntia...1 minuutti
110...130	kipukynnys	oleskelua ei suositella

Äänenteho kuvaa sitä äänienergian määrää, jonka äänilähde säteilee ympäristöönsä ajan funktiona (5). Äänitehosta käytetään yksikköä watti [W], ja kuten äänenpainetta myös äänitehoa voidaan käsitellä äänitehotasona [dB]. Äänentehotaso lasketaan kaavalla 2 (4, s. 60). Äänitehotasoon ei vaikuta mittauspisteen etäisyys äänilähteestä, vaan äänen säteilyteho W pysyy vakiona riippumatta etäisyydestä tai äänen suuntaavuudesta. Äänitehoa voidaan siis ajatella äänen ominaisuutena, joka ilmoittaa äänilähteen aiheuttaman äänimäärän.

$$L_W = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ dB}$$

KAAVA 2

P = ääniteho, W

$P_0 = 10^{-12} W$

2.3 Jälkikaiunta-aika, huoneabsorptio ja vaimennus

Jälkikaiunta-aika tarkoittaa sitä aikaa, joka kuluu, että huoneen äänenpainetaso laskee 60 dB kun äänilähde lakkaa (1). Jälkikaiunta-aikaa voidaan arvioida Sabinen kaavalla 3 (1, s. 20).

Taulukossa 2 (2, s. 2) on tyypillisiä jälkikaiunta-aikoja eri tiloille.

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

KAAVA 3

$V = \text{huoneen tilavuus } m^3$

$A = \text{huoneen absorptioala } m^2$

TAULUKKO 2. Tyypillisiä jälkikaiunta-aikoja (2, s. 2)

Tila	Jälkikaiunta-aika s
Hoitolaitokset	
• lääkärin, sosiaaliterapeutin, papin, terapeutin jne. vastaanottohuone, vastaanotto- ja palvelutilat, oleskelutilat, röntgenhuone, henkilöstön tilat kokoushuone, luentosali jne.	0,8
• potilas-, hoito- ja tutkimushuone, lepohuone, päivystyshuone, leikkaussali, käytävät	0,6...0,8
• sisääntulo- ja hissiaulat, laboratoriotilat	1,2
Oppilaitokset	
• opetustila	0,5...0,8
• opetustila, jolla on monikäyttövaatimus esimerkiksi ryhmätyöhuoneena, kuulovammaisten opetustilana tai esikouluopetuksessa	0,6
• opetuskeittiö, studio, puheopetustila, puu- ja metallityötila	≤ 0,5
• kirjasto, oleskelukäytävä	≤ 0,8
• porrashuone ja käytävä	≤ 1,0
• liikuntasali, juhlasali, uimahalli	1,5
• esikoulutilat	≤ 0,6
Päiväkodit	
• oleskelu- ja leikkitilat	≤ 0,6
Toimistot	
• toimistohuone, kokoustila	0,5...0,7
• työpaikkaruokala	0,7...0,9
Asunnot	
• uloskäytävä, josta on käynti vähintään kahteen huoneistoon	1,3
Esimerkkejä	
• Kalustettu (tyhjä) makuuhuone	0,5 (1,5)
• Auditorio	0,8
• Teatteri	1,0
• Konserttisali	2,0
• Vanha kirkko	2,5
• Helsingin rautatieasema	9,5

Jotta voidaan tietää huoneen todellinen äänitaso, täytyy tilalle määrittää absorptioala. Absorptioalan laskemiseksi täytyy selvittää huoneen vaipan kokonaispinta-ala sekä absorptiokertoimet oiktaavikaistoittain (1). Kaavalla 3 saadaan tilan absorptioala helposti laskettua, mikäli tilan jälkikaiunta-aika on tiedossa.

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

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

Huoneen vaimennus D voidaan laskea kaavalla 4 (1, s. 21).

$$L_w - L_p = D = 10 \log \left(\frac{A'}{4} \right) \quad \text{KAAVA 4}$$

A' = huoneen absorptioala tarkasteltavalla oktaavikaistalla, m^2

Jos tiedetään huoneen jälkikaiunta-aika, voidaan vaimennus D laskea kaavalla 5 (1, s. 21).

$$D = 10 \log \left(\frac{0,16 V}{4 T'} \right) \quad \text{KAAVA 5}$$

V = huoneen tilavuus, m^3

T' = jälkikaiunta – aika, s

2.4 Taajuuskaistat ja A-painotus

Tarkasteltavan äänilähteen aiheuttamat paineenvaihtelut ovat hyvin erilaisia yksittäisillä taajuuksilla. Tämän vuoksi äänen taajuusjakauma eli äänispektri on jaettu pienempiin osiin kaistoittain. Akustiikassa yleisesti käytetään oktaavikaistoja tai tarkemmassa tarkastelussa terssikaistoja, joka on kolmannesosa oktaavikaistaa. Taajuuskaistat on määritelty kuuloaistin ominaisuuksien mukaan, sillä oktaavikaistan kaistanleveys hertseinä on noin 70 % keskitaajuudesta. Kun äänenkorkeus kasvaa oktaavin taajuus kaksinkertaistuu. (6.)

Ilmanvaihdon äänitekniikassa kaikkein matalimmat ja korkeimmat taajuudet on jätetty pois, sillä niillä ei ole laskennan kannalta käytännön merkitystä. Käytettävät taajuuskaistat ovat 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 ja 8000 Hz.

Ääni on käsitteenä subjektiivinen ja ihmiset voivat kokea sen eri tavalla. Äänitasolaskentaa tehtäessä tilan lopullinen äänenpainetaso voidaan painottaa kuvastamaan paremmin tätä subjektiivista kokemusta. Ilmanvaihdon äänitekniikassa käytetään lähes poikkeuksetta A-painotusta, sillä se sopii parhaiten heikoille äänille sekä kuvastaa hyvin ihmisen kuuloaistimusta. Muita standardin mukaisia painotuksia ovat B- ja C-painotus (1.) Taulukosta 3 (7, s. 59) nähdään A ja C-suodatukset taajuuskaistoittain.

TAULUKKO 3. A- ja C-suodatukset taajuuskaistoittain (7, s. 59)

Hz	A-suodatus [dB]	C-suodatus [dB]
63	-26,2	-0,7
125	-16,1	-0,2
250	-8,6	0,0
500	-3,2	0,0
1000	0,0	0,0
2000	1,2	-0,2
4000	1,0	-0,8
8000	-1,1	-3,0

2.5 Äänilähteiden yhteenlasku

Desibeli on logaritminen suhdeluku, minkä vuoksi äänilähteitä ei voida laskea yhteen normaalisti, vaan se täytyy tehdä logaritmisena yhteenlaskuna. Yhteenlasku voidaan tehdä kaavalla 6 (6, s. 37). Logaritmisuus desibelissä tarkoittaa sitä, että kun äänenpaine kymmenkertaistuu, tuntuu sen muutos aina yhtä suurelta, vaikka todellinen muutos ei ole yhtä suuri. (4.)

$$L_{P,tot} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{LP_1}{10}} + 10^{\frac{LP_2}{10}} + \dots \right) = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \quad \text{KAAVA 6}$$

L_{p_1} = äänilähde 1

L_{p_2} = äänilähde 2

Esimerkiksi jos tilassa on kolme ilmanvaihtoventtiiliä, joiden aiheuttamat äänenpainetasot ovat 25, 27 ja 29 dB, saadaan tilan yhteenlasketuksi äänenpainetasoksi 32 dB.

$$L_{p,tot} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{25}{10}} + 10^{\frac{27}{10}} + 10^{\frac{29}{10}} \right) = 32 \text{ dB}$$

Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että jos tilassa on kaksi samansuuruisia äänilähdettä, niiden yhteenlaskettu äänenpainetaso on 3 dB suurempi kuin yksittäisen äänilähteen. Tämä voidaan havaita alla olevasta esimerkkilaskennasta, jossa yksittäisen äänilähteen suuruus on 26 dB.

$$L_{p,tot} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{26}{10}} + 10^{\frac{26}{10}} \right) = 29 \text{ dB}$$

$$29 \text{ dB} - 26 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$$

Logaritmisesti yhteenlasketusta äänitasosta ei äänitasomittauksissa välttämättä havaita hyvin korkealla taajuudella olevaa kapeakaistaista ääntä. Mittaus saattaa näyttää täysin määräysten mukaista äänitasoa, vaikka äänen voi selkeästi korvalla havaita häiritseväksi. Tämä johtuu siitä, että yhteenlasketusta äänitasosta ei tiedetä tarkemmin millä taajuuksilla ääntä esiintyy. Tällainen äänilähde voisi olla esimerkiksi korkealla taajuudella viheltävä ilmanvaihtoventtiili.

2.6 Virtausmelu

Ilman virtaus kanavistossa ja sen osissa on aina turbulenttista. Ilman virtauksesta sekä suorassa kanavassa että myös kanaviston osissa aiheutuu ääntä, jota voidaan arvioida kaavalla 7 (1, s. 52). Virtausmelun vuoksi kanaviston mitoitukseen ja virtausnopeuteen on syytä kiinnittää erityistä huomiota.

$$L_w = 10 \lg S + n \lg v + L_o \text{ dB}$$

KAAVA 7

S = virtauksen poikkileikkauksen ala

v = virtausnopeus, m/s

L_o = ominaisäänitehotaso, dB

n = 50 kanavassa, ja 60 säätöpellissä/mutkassa

Suorassa kanavassa virtauksen ollessa suhteellisen vähän turbulenttinen ääniteho on verrannollinen nopeuden viidenteen potenssiin, $n = 50$. Säleiköissä, säätöpellissä ja kanavien mutkissa ääniteho kasvaa virtausnopeuden kuudenteen potenssiin $n = 60$ (1, s. 52).

Mikäli virtausnopeus kanavassa kaksinkertaistuu, virtauksen aiheuttama melutaso kasvaa noin 15 dB. Tätä kuvaa alla oleva esimerkkilaskenta. Esimerkkilaskennassa on halkaisijaltaan 125 mm:n ilmanvaihtokanava. Virtausnopeus kanavassa on aluksi 2,5 m/s, jonka jälkeen lasketaan virtausmelun kehittyminen nopeudella 5 m/s. 125 mm:n kanavassa voidaan kuljettaa ilmaa enintään 30 l/s, jotta virtausnopeus ei ylitä arvoa 2,5 m/s.

$$L_w = 10 \lg \frac{\pi \cdot 0,125^2}{4} + 50 \cdot \lg \cdot 2,5 + 10 = 10,8 \text{ dB}$$

$$L_w = 10 \lg \frac{\pi \cdot 0,125^2}{4} + 50 \cdot \lg \cdot 5 + 10 = 25,8 \text{ dB}$$

$$25,8 \text{ dB} - 10,8 \text{ dB} = 15 \text{ dB}$$

2.7 Päätevaimennus

Ilmanvaihtokanavan päättyessä huonetilaan heijastuu osa tulevasta äänestä kanavaan takaisin ja syntyy päätevaimennus, jonka suuruuteen vaikuttavat kanavan poikkipinta-ala, äänen taajuus ja päätelaitteen sijainti tilassa. Huoneeseen ei siis siirry samaa äänitehtäsoa, joka on tulossa kanavasta (1). Vaimennuksen suuruus voidaan laskea kaavalla 8 (1, s. 83). Taulukosta 4 nähdään avaruuskulman Q arvot eri tilanteissa (1, s. 83).

$$D = 10 \log \left[1 + \left(\frac{c}{4f\pi} \right)^2 \frac{Q}{S} \right]$$

KAAVA 8

D = vaimennus, dB

C = äänen nopeus ilmassa, m/s

f = taajuus, Hz

S = kanavan pääteaukon ala, m²

Q = avaruuskulma, johon ääni heijastuu

TAULUKKO 4. Avaruuskulma Q arvot (1, s. 83)

Aukon sijainti huoneessa	Q
Vapaasti tilassa	4π
Tasopinnalla (seinällä, katossa)	2π
Kulmassa	π
Nurkassa	$\pi/2$

3 JÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

Ilmanvaihtojärjestelmän komponentit voidaan jakaa karkeasti ääntä tuottaviin sekä ääntä vaimentaviin osiin. Tämä luku käsittelee ilmanvaihtojärjestelmän komponentteja ja niiden vaikutusta järjestelmään sekä ääniteknikkaan.

3.1 Ilmanvaihtokone ja puhaltimet

Ilmanvaihtokone on selkeästi äänekkäin osa ilmanvaihtojärjestelmää. Ilmanvaihtokone tulisikin varustaa tärinänestimillä, millä vältetään kanaviston runkomelulta. Ilmanvaihtokoneen ääni syntyy pääosin puhaltimissa, joita ovat sekä tulo- että poistopuhaltimet. Ilmanvaihtokone valitaan ilmavirtamitoitus sekä painehäviölaskennan perusteella. Valinnassa on tärkeää myös vertailla koneen tuottamaa ääntä, sillä kaikki koneet eivät ole ääniteknisesti samanlaisia. Järjestelmätason laskelmissa tarvitaan koneen tuottamat äänitekniset tiedot. Ilmanvaihtokoneen valmistaja ilmoittaa koneensa äänitekniset tiedot taajuuskaistoittain.

3.2 Säätopelti

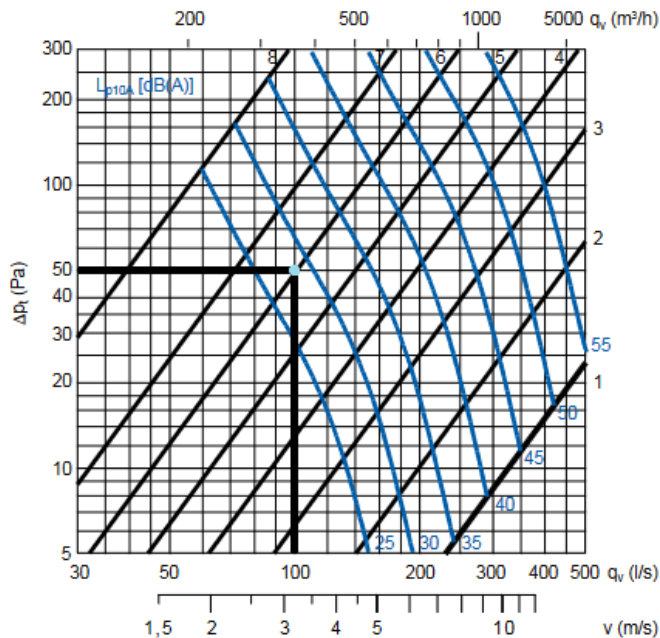
Säätopellillä pyritään tuottamaan kanavistoon lisäpainehäviötä, jotta saadaan säädettyä jokin kanaviston haara/osa, ellei se muuten ole mahdollista. Säätopellit tuottavat kanavistoon aina ääntä ja niitä ei pidä käyttää turhaan. Myös säätopellin sijoittelulla on merkitystä, esimerkiksi säätopelti asennettuna juuri ennen päätelaitetta tuottaa todennäköisesti ongelmia. Kuvassa 2 on esimerkki FläktGroupin Iris-säätopelistä.



KUVA 2. Iris säätopelti (8, s. 2)

Säätöpellin tuottama äänitaso voidaan lukea valmistajan dokumentaatiosta. Kuvassa 3 on esimerkki FläktGroupin Iris-200 säätöpellin tuottamasta äänitasosta ilmavirralla 100 dm³/s ja 50 pascalin painehäviöllä. Esimerkin säätöpellin aiheuttama äänitaso on noin 28 dB.

IRIS-200



KUVA 3. Iris- 200 äänitaso (8, s. 4)

Säätöpellin tuottama äänitaso on ilmoitettu A-painotettuna keskiäänitasona, 10 m²:n absorptioalalla. Laskelmissa se täytyy vielä korjauskertoimilla muuttaa äänitasoksi taajuuskaistoittain lisäämällä äänitasoon valmistajan ilmoittamat korjauskertoimet.

3.3 Päätelaitteet

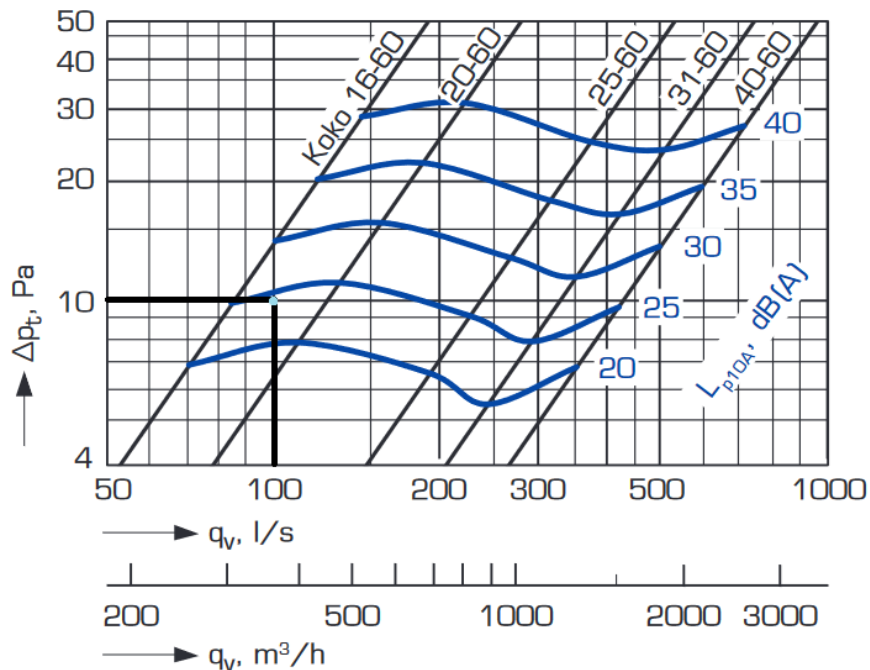
Ilmanvaihdon päätelaitteita ovat sekä tulo- että poistolaitteet. Kuten säätöpellin niin myös näiden tarkoituksena on tuottaa järjestelmään painehäviötä, jotta saadaan järjestelmään säädettyä suunnitelman mukaiset ilmavirrat. Päätelaitteella saadaan tilan ilmavirralle myös haluttu heittokuvio. Kuvassa 4 (9, s. 2) on esimerkki FläktGroupin PSWB-poistoilmahajottajasta.



KUVA 4. PSWB-poistoilmahajotin (9, s. 2)

Päätelaitevalmistajat ilmoittavat laitteen äänitason A-painotettuna keskiäänitasona, samalla tavalla kuten säätöpellissä. Laskelmia varten äänitasoon tulee lisätä valmistajan ilmoittamat korjauskertoimet taajuuskaistoittain. Kuvassa 5 esimerkki päätelaitteen äänitasosta (9, s. 3). Yleensä päätelaittevalmistajat ilmoittavat päätelaitteen äänitason merkinnällä L_{pA10} , tai L_{pA} 10-Sab. Tämä kuvaa A-painotettua ääntä tilassa, jonka kokonaisabsorptioala on 10 m^2 . Käytännön laskelmissa tämä tarkoittaa 4 dB:n huonevaimennusta. Päätelaitteen valintaan vaikuttavat laitteen äänitaso, tilan tyyppi ja haluttu heittokuvio sekä päätelaitteen ulkonäkö.

PSWB + SKHA-TASAUCLAATIKKO ILMAN ÄÄNENVAIMENNUSMATERIAALIA



KUVA 5. PSWB-poistoilmahajottimen äänitaso (9, s. 3)

3.4 Äänenvaimentimet

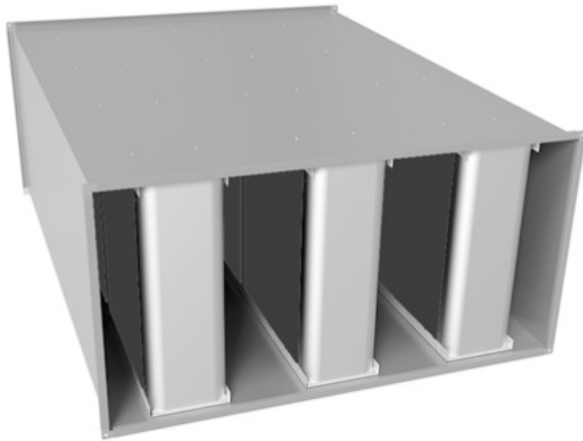
Äänenvaimentimilla pyritään vaimentamaan ilmanvaihtokoneen puhaltimien aiheuttamaa melua. Pää- eli primäärivaimennin pitäisi sijoittaa runkokanavaan mahdollisimman lähelle ilmanvaihtokonetta. Päävaimentimen lisäksi tarvitaan mahdollisesti sekundäärivaimentimia tuottamaan lisävaimennusta. Myös äänen haitallinen siirtyminen tilasta toiseen voidaan estää äänenvaimentimilla. Äänenvaimentimilla korkeiden taajuuksien äänienvaimennus on helpompaa kuin matalien taajuuksien vaimennus. Korkeat taajuudet vaimenevat helpommin myös kanavistossa sekä päätelaitteissa.

Yleisimmät ilmanvaihdon suunnittelussa käytettävät äänenvaimentimet ovat absorptiovaimentimia. Tyypillisiä absorptiovaimentimia ovat kantikkaat ja sylinterinmuotoiset äänenvaimentimet. Absorptiovaimentimen toiminta perustuu huokoisen voimakkaasti ääntä absorboivan materiaalin käyttöön (10, s. 3). Kuvassa 6 esimerkki sylinterin mallisesta absorptiovaimentimesta (11, s. 1).



KUVA 6. Sylinterin mallinen absorptiovaimennin (11, s. 1)

Absorptiovaimentimiin kuuluu myös lamellivaimentimet eli levyvaimentimet, joihin on asennettu ääntä absorboivia levyjä. Levyjen väliin on jätetty raot, joiden kautta ilma pääsee kulkemaan. Vaimennus perustuu kapeassa raossa tapahtuvaan äänen taipumiseen kohti absorboivia levyjä (1.) Lamellivaimentimia käytetään pääosin suorakaidekanavissa. Kuvassa 7 on esimerkki lamellivaimentimesta (12, s. 1).



KUVA 7. Lamelliäänenvaimennin (12, s. 1)

Äänenvaimentimien valmistajat ilmoittavat vaimennuksen suuruuden [dB] taajuuskaistoittain ja äänilaskelmissa vaimennus tulee vähentää puhaltimen aiheuttamasta melusta kanavaan. Taulukosta 5 (11, s. 1) nähdään esimerkki, valmistajan ilmoittamista vaimennusarvoista taajuuskaistoittain.

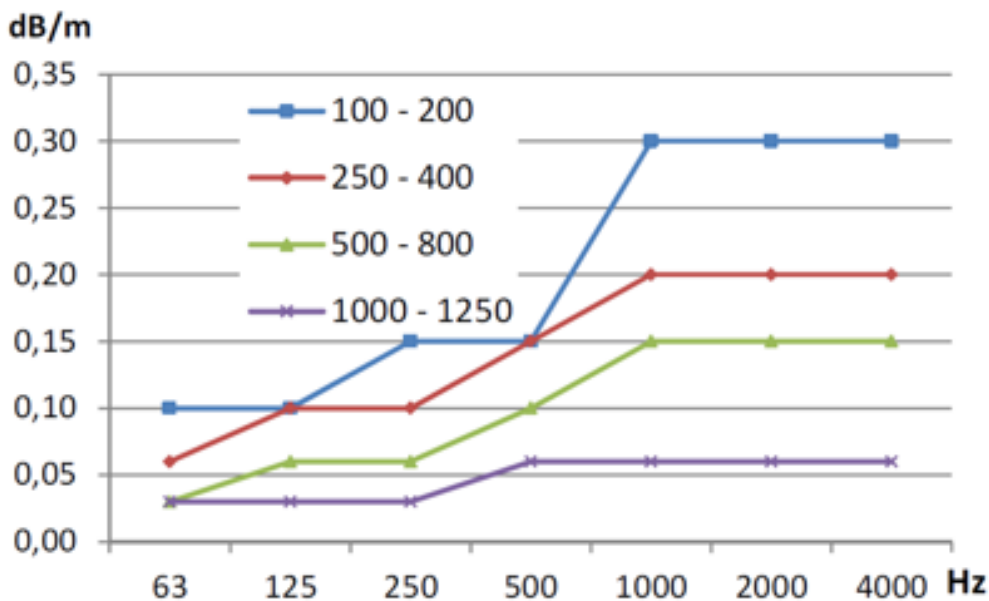
TAULUKKO 5. Valmistajan ilmoittamat vaimennukset (11, s. 1)

Ød ₁ nom [mm]	l _{nom} [mm]	Vaimennus (dB) keskitäajuudella (Hz)								Ød _y [mm]	m [kg]
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
100	300	1	5	8	12	25	25	18	12	197	1,9
100	600	3	8	12	19	43	44	31	16	197	3,4
100	900	4	10	19	31	50	47	38	23	197	4,8
100	1200	5	13	23	38	50	45	38	30	197	6,3
125	300	1	3	4	10	23	20	13	7	220	2,2
125	600	3	6	10	19	41	39	25	15	220	3,9
125	900	4	9	14	24	50	46	34	17	220	5,4
125	1200	5	11	18	33	50	44	38	21	220	7,0
160	300	1	2	5	10	18	14	10	7	276	3,0
160	600	2	5	10	15	34	22	15	11	276	4,8
160	900	3	6	13	21	41	33	21	13	276	6,9
160	1200	4	7	14	26	49	41	24	15	276	8,9

3.5 Pyöreä kanava

Pyöreä kierresaumakanava on hyvin yleinen ilmanvaihtojärjestelmissä. Pyöreä kanava on jäykempi kuin suorakaidekanava ja on siksi paremmin ääntä eristävä (1). Äänilaskelmissa suoran kanavan vaimennus voidaan huomioida ja vaimennus vähennetään kokonaisäänitasosta taajuuskäsitteittäin. Suoran kanavan vaimennus on melko vähäistä, mutta kuviosta 1 voidaan nähdä pyöreän kanavan vaimennus dB/m (7, s. 74).

KUVIO 1. Pyöreän kanavan vaimennus (7, s. 74)



Kanaviston mitoitus vaikuttaa äänitekniikkaan hyvin oleellisesti, mutta myös muihin asioihin. Kanavisto voidaan mitoittaa esimerkiksi virtausnopeuden perusteella m/s tai painehäviön perusteella dB/m. Kanavat mitoitetaan virtausnopeuden perusteella taulukon 6 mukaan, kuitenkin niin että yhtä päätelaitetta palvelevassa kanavassa virtausnopeus ei ylitä arvoa 2 m/s. Runkokanavaa ei kannata pienentää aina, kun se virtausnopeuksien puitteissa on mahdollista, vaan ääniteknisesti on järkevämpää tehdä pitempiä osuuksia samalla kanavakoolla (10, s. 9).

TAULUKKO 6. Virtausnopeudet kanavassa (10, s. 9)

Runkokanavan koko \varnothing [mm]	Ilman virtausnopeus [m/s]
125	2,5
160	3,0
200	3,0
250	3,5
315	3,5
400	4,0
500	4,5
630	5,5

3.6 Suorakaidekanava

Suorakaidekanavaa käytetään varsinkin suurten järjestelmien IV-konehuoneissa, kun tarvitaan todella suuria kanavakokoja. Suorakaidekanava vie tällöin vähemmän tilaa kuin pyöreä kanava, ja pyöreät kanavat loppuvat kokoon 1600 mm. Suorakaidekanavaa käytetään esimerkiksi myös silloin, kun asennustilaa on korkeussuunnassa vähän.

Myös suorakaidekanavassa tapahtuu vaimennusta kuten pyöreässä kanavassa, suorakaidekanavan vaimennusta dB/m voidaan arvioida taulukon 7 avulla (4, s. 77).

TAULUKKO 7. Suorakaidekanavan vaimennus (4, s. 77)

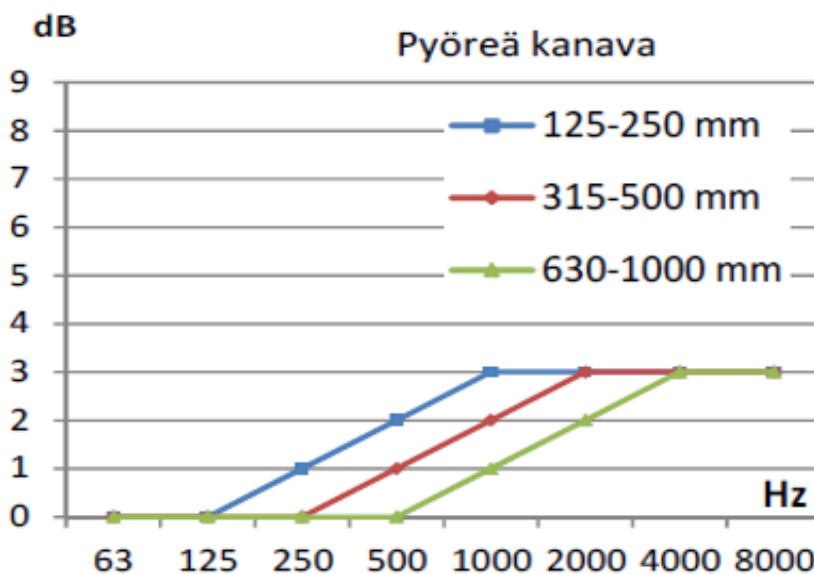
Kanavan sivu [mm]	63	125	250	500	1000	Hz
75 - 200	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3	dB/m
200 - 400	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2	dB/m
400 - 800	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15	dB/m
800 - 1600	0,45	0,3	0,15	0,1	0,06	dB/m

3.7 Kanaviston osat

Käyrät

Ilmanvaihtojärjestelmässä suunnan ja koon muutokset tehdään loivilla, tehdasvalmisteisilla ja tyyppihyväksytyillä osilla, joista löytyy ääni- ja virtaustekniset mittaustulokset (10). Käyrät ilmanvaihtojärjestelmässä vaimentavat ääntä, sillä kun ääniaallot kohtaavat kanavaan asennetun käyrän takaseinämän, heijastuu osa äänestä takaisin kohti äänilähdettä (1). Pyöreään käyrän vaimennusta voidaan arvioida kuvion 2 avulla (7, s. 76). Äänilaskelmissa käyrän vaimennukset voidaan vähentää kokonaisäänitasosta taajuuskaistoittain.

KUVIO 2. Pyöreään käyrän vaimennus (7, s. 76)



Supistimet

Kanavistossa käytetään yleisesti tehdasvalmisteisia supistimia, kun kanavan poikkipinta-ala muuttuu. Muutoskohdan rajapinnassa syntyy vaimennus, jota voidaan arvioida kaavalla 9. Kaava pätee silloin kun siirrytään suuremmasta kanavasta pienempään (1, s. 71).

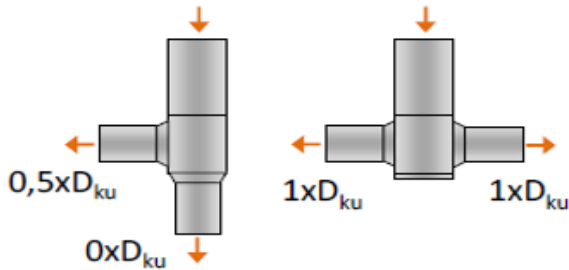
$$D = 10 \lg[(m + 1)^2 / 4m] \text{ dB}$$

KAAVA 9

$m = \text{kanavien poikkipinta-alojen suhde } (m > 1)$

T-haarat

Kanavistoon asennettu haara vaimentaa ääntä. Vaimennus perustuu kulmavaimennukseen, kuvion 2 arvoihin. Vaimennus korjataan haaravaimennukseksi kuvan 8 (7, s. 77) mukaisesti.



Kuva 8. Haaran vaimennus (7, s.77)

Kanavan haaroittumisesta syntyy haaravaimennus, jossa ääni jakaantuu kanavan pinta-alojen suhteessa. Haaravaimennus voidaan laskea kaavalla 10 (1, s. 64).

$$L_{w'} = L_w - 10 \lg[(A' + A'')]/A' = L_w - 10 \lg\left(\frac{A}{A'}\right) \text{ dB} \quad \text{KAAVA 10}$$

A = Tulokanavan pinta – ala

A' ja A'' = haarakanavien pinta – alat

Suunnittelun kannalta käytännöllisempää on laskea kanaviston haaroittumisesta syntyvä vaimennus ilmavirtojen suhteessa. Tämä tapahtuu kaavalla 11 (1, s. 64).

$$L_{w'} = 10 \cdot \log\left(\frac{qv}{qv'}\right) \text{ dB} \quad \text{KAAVA 11}$$

qv' = haaran ilmavirta

qv = kokonaisilmavirta

4 RAJA-ARVOT JA RAKENNUSMÄÄRÄYKSET

Ilmanvaihdon suunnittelua ohjaavat rakennusmääräykset, jotka määrittävät äänitekniset raja-arvot taloteknisille laitteille. Tämä luku käsittelee rakennus- ja viranomaismääräyksiä ilmanvaihdon suunnittelussa ääniteknikan osalta. Rakennusmääräykset eivät tiloille määriteltujen raja-arvojen lisäksi ota kovinkaan suuresti kantaa ilmanvaihdon ääniteknikkaan. Tärkein asetus ilmanvaihdon ääniteknisen suunnittelun kannalta on ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 2017. Määräysten lisäksi on olemassa ympäristöministeriön oppaita, LVI-kortteja sekä standardeja, jotka toimivat opastavana tekstinä suunnittelussa. Tärkeimmät ohjeet ilmanvaihdon ääniteknikan suunnitteluun ovat ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018 ja sisäilmasto- luokitus 2018. Muita hyviä ohjeita suunnitteluun ovat LVI 30-10333, RT 07-10881 sekä standardi SFS 5907.

4.1 Ympäristöministeriön asetus 2017

Ympäristöministeriön asetusta voidaan soveltaa uuden rakennuksen rakentamiseen sekä rakennuksen korjaus- ja muutostyöhön. Asetus on määrittänyt taloteknisille laitteille seuraavat taulukon 8 mukaiset äänitasojen raja-arvot (13).

TAULUKKO 8. Ympäristöministeriön asetuksen määrittämät raja-arvot (13, §5)

Huone - ja ulkotila	Jatkuva laaja- kaistainen ääni		Impulssimainen tai kapeakaistai- nen ääni	
	Keskiaänitaso $L_{A_{eq, T}}$ [dB]	Enimmäisääni- taso $L_{A_{Fmax, T}}$	Keskiaänitaso $L_{A_{eq, T}}$ [dB]	Enimmäisääni- taso $L_{A_{Fmax, T}}$
Asuin-, majoitus- tai potilas- huone	28	33	25	30
Asunnon keittiö tai rakennuk- sen harrastus tila	33	38	30	35
Porrashuone tai uloskäytävä	38	43	35	40
Ulkotila	45	50	40	45

4.2 Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018 ei ole asetus vaan ohje eikä tästä syystä velvoita suunnittelussa ja rakentamisessa, ellei sitä erikseen määritellä sopimusteknisesti velvoittavaksi hankkeeseen ryhdyttäessä. Ympäristöministeriön ohje 2018 täydentää asetusta ja on määritellyt taulukon 9 mukaiset LVI-laitteista syntyvän melun ohjearvot opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotiloille (14).

TAULUKKO 9. LVI-laitteista aiheutuvan melun ohjearvot (14, s. 32)

Tilatyyppe	Ohjearvo Keskiäänitaso $L_{Aeq, T}$ (dB)	Ohjearvo Enimmäisäänitaso $L_{AF-max, T}$ (dB)
Opetustila	33	38
Varhaiskasvatuksen opetustila	28	33
Kokoustila	33	38
Ruokailutila	38	43
Hoitotila	33	38
Harrastustila	33	38
Liikuntatila	38	43
Toimistotila	33	38

Ympäristöministeriön ohje 2018 on myös määrittänyt tilojen jälkikaiunta-ajoille seuraavat ohjearvot: opetustilat 0,5–0,7 sekuntia, kokoustitat 0,5–0,7 sekuntia, ruokailu ja liikuntatilat alle 1,2 sekuntia, ja potilas, hoito ja harrastustilat alle 0,8 sekuntia (14).

4.3 Sisäilmaluokitus 2018

Sisäilmastoluokitus määrittää rakennuksen ääniolosuhteiden tavoitearvot standardin SFS 5907 mukaan. Taulukossa 10 on esimerkkejä S1-, S2- ja S3-luokkia vastaavista akustisen suunnittelun tavoitearvoista (15, s.7–8). S3-luokka vastaa ympäristöministeriön asetusta. Sisäilmastoluokitus ottaa tarkemmin kantaa myös äänitasoerolokuihin asuntojen välillä, sekä LVIS-laitteiden keskiäänitasoihin. Keskiäänitaso tarkoittaa äänitasomittauksen perusteella laskettua äänen ekvivalenttikeskisarvoa ajan funktiona. Enimmäisäänitaso taas tarkoittaa mittausajankohdan suurinta hetkellistä äänitasoa.

TAULUKKO 10. Akustisen suunnittelun tavoitearvot, sisäilmaluokitus 2018 (15, s. 8)

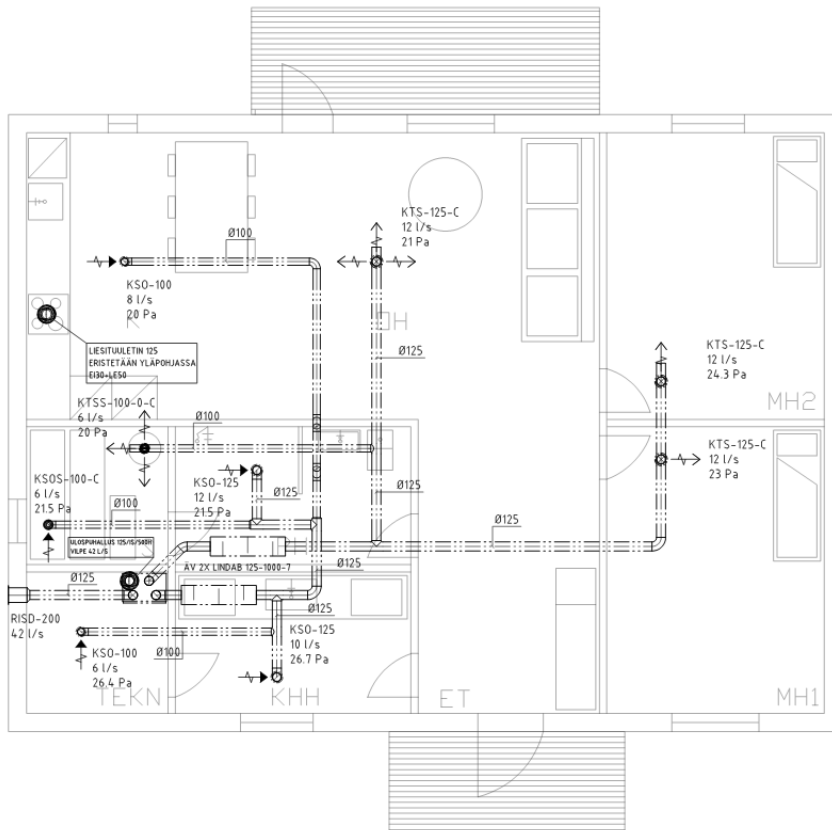
Tila ja suure	Merkintä	yksikkö	S1	S2	S3
Asuinhuone					
Äänitasoeroluku asuntojen välillä	$D_{nT,w}$	dB	≥ 58	≥ 55	≥ 55
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	dB	≤ 49	≤ 53	≤ 53
LVIS-laitteiden äänitaso asuinhuoneissa	$L_{A,eq}$	dB	≤ 24	≤ 28	≤ 28
LVIS-laitteiden äänitaso keittiössä	$L_{A,eq}$	dB	≤ 33	≤ 33	≤ 33
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso päiväsaikaan klo 7–22	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 30	≤ 35	≤ 35
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso yöaikaan klo 22–7	$L_{A,eq,22-07}$	dB	≤ 25	≤ 30	≤ 30
1–2 hengen toimistohuone					
Äänitasoeroluku työhuoneiden välillä	$D_{nT,w}$	dB	≥ 44	≥ 40	≥ 35
Äänitasoeroluku käytävälle	$D_{nT,w}$	dB	≥ 30	≥ 25	-
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika ¹⁾	T	s	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,7
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 40
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 40	≤ 40	≤ 40
Neuvotteluhuone					
Äänitasoeroluku naapurihuoneeseen	$D_{nT,w}$	dB	≥ 48	≥ 44	≥ 40
Äänitasoeroluku käytävälle	$D_{nT,w}$	dB	≥ 35	≥ 30	≥ 30
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	dB	≤ 58	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika ¹⁾	T	s	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,7
Puheensiirtaindeksi ³⁾	STI	-	≥ 0,8	≥ 0,7	≥ 0,7
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 40
Avotilatoimisto⁴⁾					
Äänitasoeroluku työhuoneeseen	$D_{nT,w}$	dB	≥ 30	≥ 25	≥ 25
Äänitasoeroluku neuvotteluhuoneeseen	$D_{nT,w}$	dB	≥ 35	≥ 30	≥ 30
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Häiritsevyysetäisyys ²⁾	r_D	m	≤ 4	≤ 6	≤ 8
Puheensiirtaindeksi ³⁾	STI	-	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Jälkikaiunta-aika ¹⁾	T	s	≤ 0,40	≤ 0,50	≤ 0,60
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	35	35	40
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 40	≤ 40	≤ 45
Opetustila					
Äänitasoeroluku luokkien välillä ja luokasta käytävään, kun välissä ei ole ovea	$D_{nT,w}$	dB	≥ 48	≥ 44	≥ 44
Äänitasoeroluku luokkien välillä ja luokasta käytävään, kun välissä on ovi	$D_{nT,w}$	dB	≥ 39	≥ 34	≥ 34
Askeläänitasoluku ympäristöstä	$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika ^{1,5)}	T	s	0,4–0,6	0,5–0,7	0,5–0,7
Puheensiirtaindeksi ^{3,5)}	STI	-	≥ 0,75	≥ 0,70	≥ 0,70
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 30	≤ 33	≤ 33
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 30	≤ 35	≤ 35
Terveydenhoidon vastaanottohuone, tutkimushuone, hoituhuone					
Äänitasoeroluku naapurihuoneeseen	$D_{nT,w}$	dB	≥ 48	≥ 44	≥ 40
Äänitasoeroluku käytävälle	$D_{nT,w}$	dB	≥ 39	≥ 34	≥ 34
Askeläänitasoluku ympäröivistä tiloista	$L'_{nT,w} + C_{L,50-2500}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika ¹⁾	T	s	≤ 0,6	≤ 0,8	≤ 0,8
Puheensiirtaindeksi ³⁾	STI	-	≥ 0,70	≥ 0,60	≥ 0,60
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 35	≤ 40	≤ 40
Rakennuksen ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq,07-22}$	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 35

5 ÄÄNITEKNINEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa perehdytään ilmanvaihdon äänitekniiseen suunnitteluun omakotitalo sekä koulu- ja päiväkotikokoluokan järjestelmissä. Luvussa käydään läpi suunnitteluun liittyviä ongelmakohtia ja pyritään löytämään niihin toimivia ratkaisuja. Tarkastelua tehdään esimerkkipiirustuksilla ja niihin liittyvillä mitoituksilla sekä laskelmilla.

5.1 Omakotitalo

Opinnäytetyötä varten suunniteltiin yksinkertainen esimerkkiomakotitalo (kuva 9), jonka pinta-ala on noin 90 m². Esimerkkiomakotitaloon tehtiin ilmanvaihtosuunnitelma, päätelaitteina suunnitelmassa käytettiin KTS- ja KSO-venttiileitä. Kanavat mitoitettiin ilmavirran nopeuksien mukaan ja tasapainotettiin päätelaitteilla ilman säätöpeltejä. Kanavisto on suunniteltu järkevästi, niin ettei päätelaitteiden välille muodostu suuria paine-eroja. Suunnitelmasta voidaan havaita että kun ”vaikeimman” linjan venttiilin painehäviö on 20 pascalia, erot muihin venttiileihin ovat hyvin pieniä. Kanavisto on siis helposti säädettävissä.



KUVA 9. Omakotitalon IV-suunnitelma

Esimerkkinä lasketaan kohteen tulo-, ja poistoilman päätelaitteiden sekä puhaltimien aiheuttamat kokonaisäänitasot tiloihin. Tilojen absorptioalana käytetään tässä tapauksessa normaalihuonetta eli 10m²:n absorptioalaa. Kohteen ilmanvaihtokoneen äänitiedot on esitetty taulukossa 11, ilmanvaihtokoneeksi valittiin Vallox 096 MV.

TAULUKKO 11. IV-koneen äänitiedot (16, s. 19)

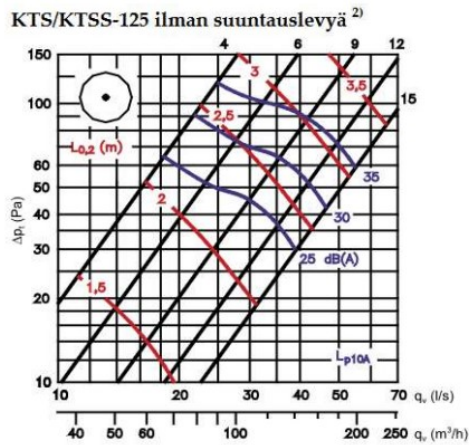
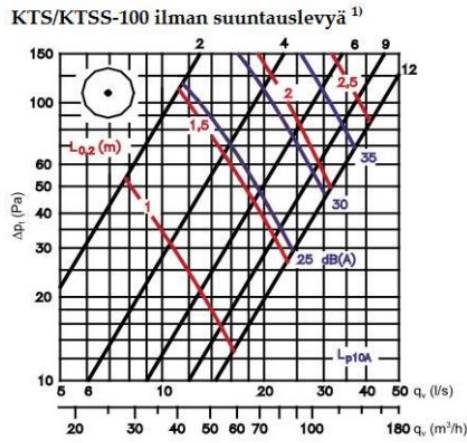
Taajuuskaistat	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _w dB
Tuloilma	76	70	66	61	60	54	47	42	78
Poistoilma	70	60	51	51	46	33	23	21	71

Äänenvaimentimiksi suunnitelmaan valittiin Lindabin KVDP-sarjan absorptiovaimentimet, joiden äänitekniset tiedot on esitetty taulukossa 12 tietoja tarvitaan äänilaskelmissa.

TAULUKKO 12. Äänenvaimentimen tekniset tiedot (17, s. 1)

Ød ₁ [mm]	l [mm]	a x b [mm]	Vaimennus (dB) keskitaajuudella (Hz)									m [kg]
			63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
125	300	263 x 177	6	7	7	14	19	15	14	10	3,8	
125	600	263 x 177	13	10	11	17	26	28	29	21	6,7	
125	1000	263 x 177	17	12	15	26	36	37	40	34	10,5	
160	300	280 x 212	4	6	6	11	16	10	8	9	4,5	
160	600	280 x 212	14	8	10	16	23	24	18	21	7,5	
160	1000	280 x 212	16	12	15	22	33	35	29	28	11,4	
200	300	361 x 253	4	3	5	11	11	7	6	7	6,3	
200	600	361 x 253	9	6	8	15	19	21	14	15	9,5	
200	1000	361 x 253	10	8	12	20	25	25	21	21	13,9	

Päätelaitteina suunnitelmassa käytettiin FläktGroupin KTS- ja KSO-venttiilejä. KTS-venttiilien äänitiedot nähdään kuvasta 10 ja päätevaimennukset sekä niiden korjauskertoimet kuvasta 11. KSO-venttiilien äänitiedot ja päätevaimennukset nähdään kuvasta 12 ja 13.



KUVA 10. KTS-venttiilin äänitiedot (18, s. 2)

KTS/KTSS ilman suuntauslevyä

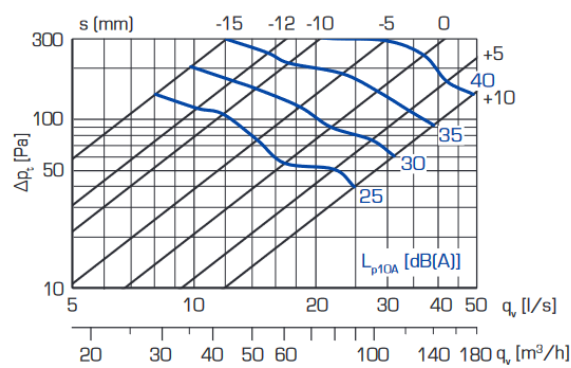
KTS KTSS	Äänitason korjauskertoimen K_{okt} (dB) oktaavikaistan keskitäajuuudella (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	-2	2	1	-1	-4	-5	-11
125	4	5	3	-1	-11	-17	-29
160 *	7	6	3	-2	-11	-19	-32
Tol. +/-	3	2	2	2	2	2	3

Äänenvaimennus ΔL

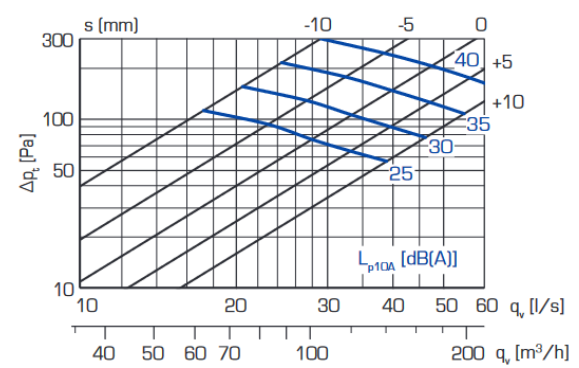
KTS KTSS	Äänenvaimennus ΔL (dB) oktaavikaistan keskitäajuuudella (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	22	18	13	11	9	8	7	8
125	20	16	11	9	9	7	6	5
160 *	18	14	10	9	9	7	6	6
Tol. +/-	6	3	2	2	2	2	2	3

KUVA 11. KTS-venttiilin päätevaimennus ja korjauskertoimet (18, s. 3)

KSO-100-C



KSO-125-C



KUVA 12. KSO-venttiilin äänitiedot (19, s. 3)

KSO KSOS	Äänitason korjauskertoimen K_{okt} (dB) oktaavikaistan keskitäajuuudella (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	16	5	-3	-2	0	-3	-6	-13
125	14	6	-3	-2	-3	0	-10	-14
160	16	4	-2	-1	0	-3	-10	-13
200	16	5	-2	-2	0	-4	-7	-13
Toleranssi ±	6	3	2	2	2	2	2	3

KSO KSOS	Äänenvaimennus ΔL (dB) oktaavikaistan keskitäajuuudella (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	23	19	14	13	12	14	7	8
125	21	16	12	11	11	13	6	6
160	19	14	10	10	10	10	6	6
200	17	15	12	12	13	11	8	7
Toleranssi ±	6	3	2	2	2	2	2	3

KUVA 13. KSO-venttiilin päätevaimennus ja korjauskertoimet (19, s. 5)

Laskenta suoritettiin sekä tulo- että poistokanavistolle. Tuloilmakanaviston äänitasolaskenta makuuhuoneeseen 1 on esitetty taulukossa 13. Poistoilmakanaviston äänitasolaskenta keittiöön on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 13. Tuloilman äänitaso makuuhuoneeseen 1

Tuloilma	Taajuuskaistat								Hz	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	76	70	66	61	60	54	47	42	dB	
Äänenvaimennin $D_{äv}$	17	12	15	26	36	37	40	34	dB	
Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	59	58	51	35	24	17	7	8	dB	
Haaravaimennus D_q dB	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	dB	
Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB	
Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	
Haaravaimennus D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kanava vaimennus	0,8	0,8	1,2	1,2	2,4	2,4	2,4	2,4	dB/m	
Vaimennukset yhteensä	6,2	6,2	8,1	9,6	12,3	12,3	12,3	12,3	dB	
Äänitaso ennen päätelaitetta	52,8	51,8	42,9	25,4	11,7	4,7	-5,3	-4,3	dB	
Päätevaimennus KTS-125 $D_{l,okt}$	20	16	11	9	9	7	6	5	dB	
Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	
Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	28,8	31,8	27,9	12,4	-1,3	-6,3	-15,3	-13,3	dB	
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB	
Äänitaso huoneeseen dB(A)	2,6	15,7	19,3	9,2	-1,3	-5,1	-14,3	-14,4	dB(A)	
Puhaltimen äänitaso dB(A)	21,2	dB(A)								
Päälaitteen äänitaso KTS-125	6	dB(A)								
Kokonaisäänitaso tilaan	21,4	dB(A)	Kokonaisäänitaso makuuhuoneeseen 1							

TAULUKKO 14. Poistoilman äänitaso keittiöön

Poistoilma	Taajuuskaistat								Hz	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	70	60	51	51	46	33	23	21	dB	
Äänenvaimennin $D_{äv}$	17	12	15	26	36	37	40	34	dB	
Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	53	48	36	25	10	-4	-17	-13	dB	
Haaravaimennus D_q dB	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	dB	
Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB	
Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB	
Haaravaimennus D_q dB	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	dB	
Kanava vaimennus	1,1	1,1	1,7	1,7	3,3	3,3	3,3	3,3	dB/m	
Vaimennukset yhteensä	6,9	6,9	9,4	11,4	15,1	15,1	15,1	15,1	dB	
Äänitaso ennen päätelaitetta	46,1	41,1	26,6	13,6	-5,1	-19,1	-32,1	-28,1	dB	
Päätevaimennus KSO-100 $D_{l,okt}$	23	19	14	13	12	14	7	8	dB	
Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	
Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	19,1	18,1	8,6	-3,4	-21,1	-37,1	-43,1	-40,1	dB	
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB	
Äänitaso huoneeseen dB(A)	-7,1	2,0	0,0	-6,6	-21,1	-35,9	-42,1	-41,2	dB(A)	
Puhaltimen äänitaso dB(A)	4,8	dB(A)								
Päälaitteen äänitaso KSO-100	8	dB(A)								
Kokonaisäänitaso tilaan	9,7	dB(A)	Kokonaisäänitaso keittiöön							

Laskennan tulokset koottiin kokonaisuudessaan taulukkoon 15 ja loput laskennat löytyvät tämän opinnäytetyön liitteistä (liite 1). Laskelmista saatujen tulosten perusteella voidaan todeta järjestelmä ääniteknisesti toimivaksi. Korkein äänitaso tulee makuuhuoneeseen 1, jossa äänitaso on

21,4 dB. Tämäkin on reilusti alle ympäristöministeriön asetuksen määrittelemän 25 dB:n alapuolella.

TAULUKKO 15. Omakotitalon äänitasolaskennan tulokset

TILA	TULOKSET [dB]
MH1	21,4
MH2	20
OH	20,6
K	9,7
PH	9,1
S	16,0 / 8,9
KHH	10,1
TEKN	9,3

Äänilaskelmia tehtäessä on syytä ymmärtää, että tilojen todellinen huonevaimennuksen absorptioala ei ole aina normaalihuoneen mukainen 10 m². Tila ei aina vaimenna ääntä, vaan huonevaimennuksen vaikutus tilan kokonaisäänitasoon saattaa olla negatiivinen ja lisätä näin tilan kokonaisäänitasoa. Taulukkoon 16 (10, s. 2) on listattu asuinrakennuksen tilojen huonevaimennuksia. Taulukosta voidaan havaita, että esimerkiksi pesuhuoneessa huonevaimennus lisää kokonaisäänitasoa 7 dB:llä. Tämä kannattaa huomioida äänitarkasteluissa, jotta tilan todellinen äänitaso ei ylitä ympäristöministeriön asetuksen määrittelemää enimmäisäänitasoa.

TAULUKKO 16. Huonevaimennuksen arvoja (10, s. 2)

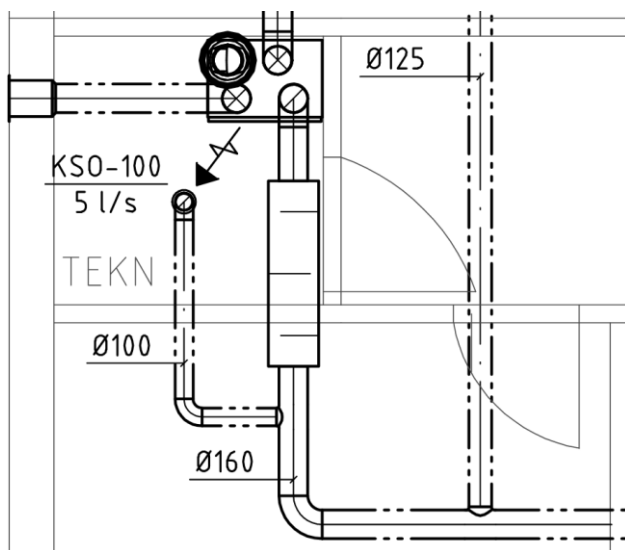
Huonetila	Huonevaimennus
Makuuhuone	-3 dB
Olohuone	-2 dB
Tupakeittiö	-1 dB
Eteinen	+/- 0 dB
Pesuhuone, WC	+7 dB

Tiloihin jotka ovat suorassa yhteydessä toisiinsa ilman ääntä eristävää seinää voi vaikuttaa kaksi erillistä äänilähdettä. Tyypillinen tapaus on esimerkiksi keittiö, joka avautuu suoraan olohuonee-

seen. Tällöin on huomioitava, että keittiötä ei voi suunnitella alittamaan vain asetuksen sille määrittelemää 33 dB:ä, vaan se on suunniteltava alittamaan olohuoneelle määritelty enimmäisäänitaso 28 dB, jotta olohuoneessa asetuksen määrittelemä enimmäisäänitaso ei ylity.

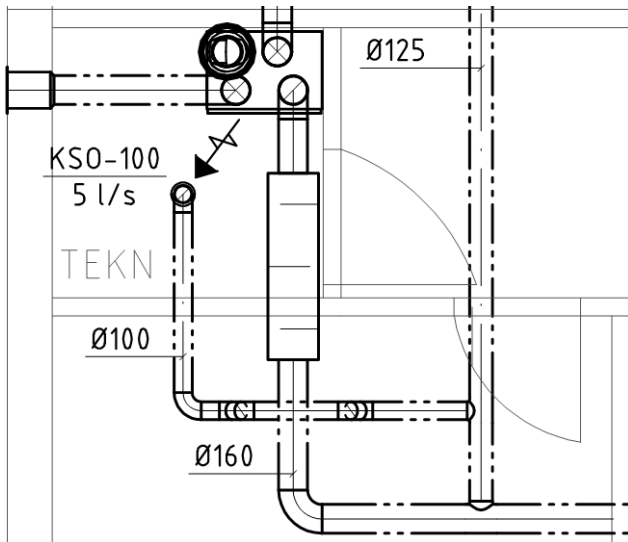
5.1.1 Kanaviston haaroitukset omakotitalossa

Kanavisto tulisi suunnitella niin, että päätelaitteiden välinen tasapainotustarve olisi mahdollisimman vähäinen. Tällöin järjestelmä on helposti säädettävissä, eikä yksittäisellä venttiilillä tarvitse kuristaa liikaa. Ilmanvaihtokoneelta lähtevässä runkokanavassa kuljetetaan suuria ilmamääriä tällöin runkokanavasta ei voida ottaa yksittäistä haaraa päätelaitteelle, jonka ilmavirta on pieni suhteessa runkokanavan tilavuusvirtaan. Esimerkkinä huonosta kanavahaaroituksesta tekniseen tilaan nähdään kuvassa 14. Esimerkin teknisen tilan venttiili ei ole säädettävissä ja päätelaitetta joudutaan kuristamaan niin paljon, että se voi aiheuttaa suhinaa tai vihellystä.



KUVA 14. Huono kanavahaarointu

Kuvassa 15 nähdään paremmin suunniteltu ratkaisu, teknisen tilan venttiili on otettu rungosta lähtevästä haarasta.



KUVA 15. Tasapainossa oleva venttiili

5.1.2 Ääniteknisesti eristetty tila

Ilmanvaihtokanavistosta kantautuu melua huoneesta toiseen, kun huoneiden välillä on yhteys ilmanvaihtokanavia pitkin. Tämä aiheuttaa ilmapääntien eristävyyden heikkenemistä usein sellaisilla taajuuksilla, joilla seinärakenteissa ei tavallisesti havaita ongelmia. Sivutiesiirtymän kautta kulkeutuva ääni voi heikentää ilmapääntien eristävyys R_w -arvon jopa 30–40 desibelin tienoille (6.) Tästä syystä sivutiesiirtymään tulisi kiinnittää ilmanvaihdon suunnittelussa erityistä huomiota.

Yksinkertaisissa tapauksissa ilmapääntien eristävyys kanavaa pitkin voidaan arvioida kaavalla 12 (5, s. 205).

$$R = D_{ala} + D_{lähtö} + D_q + D_{mutka} + D_{äv} + D_{pääte}$$

KAAVA 12

$$D_{ala} = 10 \log_{10} \frac{4}{S}; \text{ missä } S = \text{päätelaitteen pinta-ala}$$

$$D_{lähtö} = \text{päätelaitteen vaimennus}$$

$$D_q = \text{vaimennus ilmavirtojen jakaantumisesta}$$

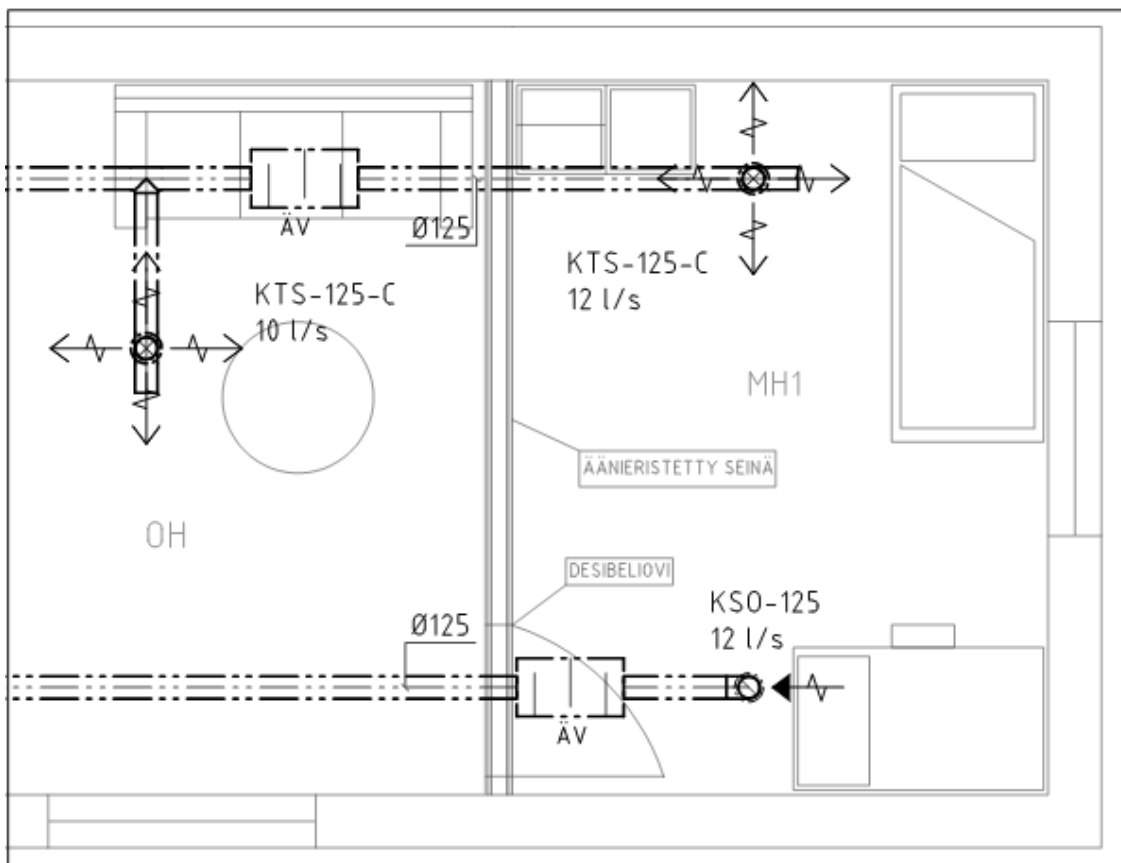
$$D_{mutka} = \text{mutkan aiheuttama vaimennus}$$

$$D_{äv} = \text{äänenvaimentimen vaimennus}$$

$$D_{pääte} = \text{päätelaitteen päätevaimennus}$$

Ongelma laskentakaavassa on kuitenkin se, että ei ole olemassa laskentamallia tai yleispätevää kaavaa, kuinka $D_{\text{lähtö}}$ voidaan laskea. Päätelaitteiden valmistajat eivät ilmoita laboratoriomittausten perusteella tehtyjä lähtövaimennuksia päätelaitteilleen, eikä päätevaimennusta voi suoraan soveltaa lähtövaimennukseksi.

Suunniteltaessa rakennukseen muista tiloista ääniteknisesti eristettyjä tiloja, korostuu ilmanvaihdon suunnittelun merkitys. Äänieristetyt tilat tulee aina suunnitella ilmavirtojen suhteen tasapainoon. Muuten tilaan täytyy suunnitella siirtoilmareittejä, jota pitkin myös melu pääsee kantautumaan tilaan. Haitallinen sivutiesiirtymä tulee estää äänenvaimentimilla. Kuvassa 16 on esitetty esimerkkiratkaisu äänieristetyn tilan ilmanvaihdon suunnittelusta.



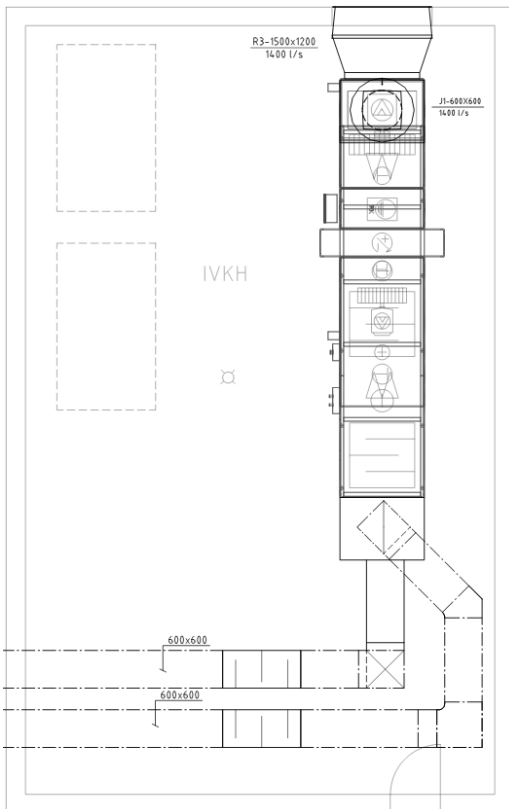
KUVA 16. Äänieristetyn tilan ilmanvaihto

5.2 Koulu ja päiväkoti

Tämä luku käsittelee ilmanvaihdon ääniteknistä suunnittelua päiväkotij- ja koulukokoluokan koh-teissa. Tarkastelua tehdään esimerkki piirustusten sekä laskelmien avulla. Luvussa käsitellään ää-nen siirtymistä tilasta kanavaan, ja kanavasta tilaan sekä kanaviston suunnitteluun liittyviä asioita.

5.2.1 Äänenvaimentimen sijoitus IV-konehuoneessa

Äänenvaimentimen sijoituksella on merkittävä vaikutus ilmanvaihdon äänitekniikkaan varsinkin suorakaidekanavistossa, sillä suorakaidekanavan ääneneristävyys on huono. Pyöreän kanavan vaimennus on huomattavasti parempi kuin suorakaidekanavan, mutta äänenvaimentimen sijoittamiseen kannattaa kiinnittää huomiota myös pyöreässä kanavistossa. Vaimennin pitäisi sijoittaa runkokanavaan mahdollisimman lähelle äänilähdettä, mutta kuitenkin niin, ettei ilmanvaihtokonehuoneen melu pääse siirtymään kanavan seinämän läpi vaimentimen ”hiljaiselle” puolelle. Käytännössä vaimennin on siis sijoitettava aina hiljaiseen tilaan rakennuksen ylä- tai välipohjaan tai IV-konehuoneen seinään kiinni. Kuvassa 17 on esimerkki mahdollisesti ongelmallisesta äänenvaimentimen sijoittamisesta suorakaidekanavistossa.



KUVA 17. Ongelmallinen äänenvaimentimen sijoitus

Esimerkkinä kuvan 17 virheellisestä äänenvaimentimen sijoittamisesta lasketaan IV-konehuoneessa olevien laitteiden yhteenlasketun melutason siirtyminen kanavistoon kanavan seinämän läpi. Suorakaidekanavan koko on 600x600 mm ja kanavan pituus konehuoneessa äänenvaimenti-

men jälkeen on 3,15 m. Kanavan seinämän vahvuus 7 mm ja kanavan ääneneristävyys R' on esitetty taajuuskaistoittain taulukossa 17 (4, s. 71). Ilmanvaihtokonehuoneen melutaso taajuuskaistoittain on esitetty taulukossa 18.

TAULUKKO 17. Peltikanavan ääneneristävyys (4, s. 71)

d/mm	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
0,75	9	14	19	22	26	29	34	39	R' (dB)
1,0	10	15	20	23	27	30	35	40	R' (dB)

TAULUKKO 18. IV-konehuoneen melutaso taajuuskaistoittain

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
67	72	69	47	39	37	30	29	dB

IV-konehuoneen melutaso lasketaan logaritmisesti yhteen kaavalla 6.

$$L_{p,tot} = 10 \log_{10} \left(10^{\frac{LP_1}{10}} + 10^{\frac{LP_2}{10}} + \dots \right) = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}$$

$$L_p = 10 \log \left(10^{\frac{67}{10}} + 10^{\frac{72}{10}} + 10^{\frac{69}{10}} + 10^{\frac{47}{10}} + 10^{\frac{39}{10}} + 10^{\frac{37}{10}} + 10^{\frac{30}{10}} + 10^{\frac{29}{10}} \right)$$

$$L_p = 74,6 \text{ dB}$$

Kanavaan siirtyvä äänitaso lasketaan kaavalla 13 (1, s. 89), joka pätee suorakaidekanavalle. Laskenta on esitetty taulukossa 19.

$$L_{w'} = L_p - R' + 10 \lg \frac{S'}{4} \quad \text{KAAVA 13}$$

$L_{w'}$ = kanavaan siirtynyt äänitehotaso
 L_p = äänenpainetaso huoneessa
 R' = kanavan seinämän ääneneristävyys
 S' = kanavan vaipan ala huoneessa

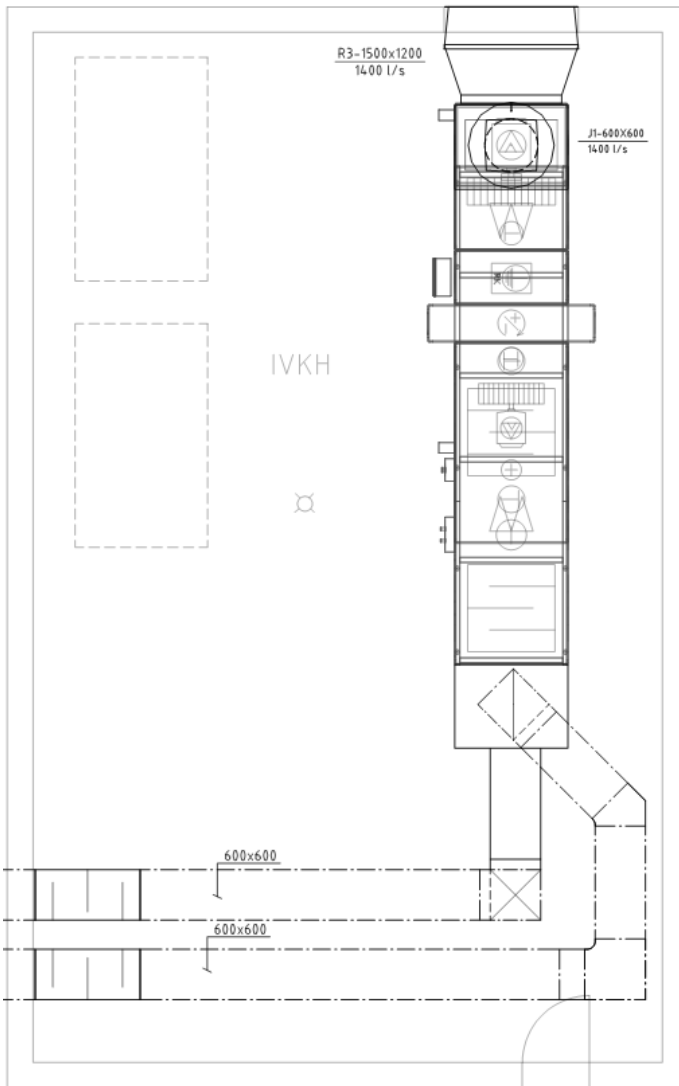
TAULUKKO 19. Äänen siirtyminen tilasta kanavaan laskenta esimerkki

Taajuuskaistat	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
L_p	67	72	69	47	39	37	30	29	dB
R'	9	14	19	22	26	29	34	39	dB
$L_p - R'$	58	58	50	25	13	8	-	-	dB
$10 \lg S' / 4$	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	-	-	dB
L_w	60,76	60,76	52,76	27,76	15,76	10,76	-	-	dB
$L_w total$	64,10	dB							

Esimerkilaskennan tuloksena saadaan konehuoneesta kanavaan siirtyväksi kokonaisäänitehosoksi 64,10 dB laskenta on tehty taajuuskaistoittain. Jos suunniteltaessa ei ole tiedossa IV-konehuoneen melutasoa taajuuskaistoittain, voidaan tehdä likiarvolaskenta yhteenlasketulla melutasolla esimerkiksi taajuuskaistalle 250 Hz, tai 500 Hz, sillä nämä taajuuskaistat ovat käytännössä määrääviä kaistoja laskennan kannalta.

Esimerkilaskelmien perusteella voidaan todeta, että varsinkin suorakaidekanavistossa äänenvaimentimen sijoituksella on merkittävä vaikutus järjestelmän ääniteknikkaan. Tähän kannattaa kiinnittää erityistä huomiota myös siksi, että suunnittelu ja laskentaohjelmat eivät osaa ottaa huomioon tilasta kanavaan siirtyvää äänitehoa.

Kuvan 18 esimerkissä ongelma on korjattu siirtämällä äänenvaimentimet IV-konehuoneen seinään kiinni, näin konehuoneen melu ei pääse siirtymään kanavistoon äänenvaimentimen jälkeen. Jos äänenvaimentimen siirtäminen ei ole mahdollista, vaihtoehtoisesti äänenvaimentimen jälkeinen kanava voidaan äänieristää konehuoneen osalta, vaikka kanava ei muuten eristystä tarvitsisi.



KUVA 18. Toimiva äänenvaimentimen sijoitus

5.2.2 Äänen siirtyminen kanavasta tilaan

Eristämättömän suorakaidekanavan kulkiessa tilan poikki, siirtyy kanavan seinämän läpi ääntä ympäröivään tilaan. Käytännössä ääntä aiheuttaa ilman virtaus kanavassa, ja kanavassa kulkeva puhaltimen melu. Tässä osiossa näytetään kaksi laskentaesimerkkiä äänen siirtymisestä suorakaidekanavasta ympäröivään tilaan. Pyöreälle kanavalle laskentaa ei erikseen tehdä, koska laskenta etenee käytännössä samalla tavalla. Ilmanvirtauksesta aiheutuva melu lasketaan kaavalla 7 ja kanavan seinän läpi johtuva melu lasketaan kaavalla 14 (4, s. 71).

$$L_w = 10 \lg S + n \lg v + L_o \text{ dB}$$

KAAVA 7

$$L_p = L_w - R - 10 \cdot \log \frac{A \cdot F}{4 \cdot S} \text{ dB}$$

KAAVA 14

L_p = äänenpainetaso

L_w = virtauksen aiheuttama äänentehotaso

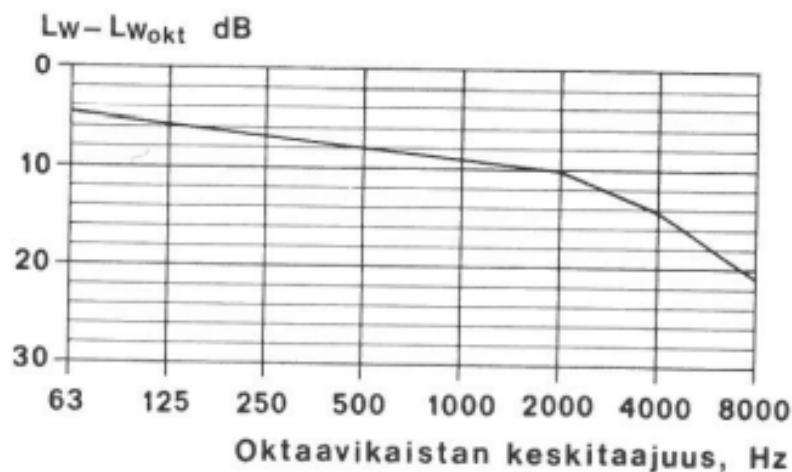
R = kanavan äänieristävyys

A = tilan absorptio – ala

F = kanavan poikkipinta – ala

S = kanavan vaipan pinta – ala huoneessa

Virtausmelun laskennassa täytyy huomioida myös virtausmelun taajuusspektri, joka on yleensä kuvan 19 mukainen (4, s. 75).



KUVA 19. Virtausmelun taajuusspektri (4, s. 75)

Esimerkkilaskennan tila on "normaalihuone" 10 m²:n absorptioalalla. Kanavan koko on 500 x 500 mm, ja kanavan pituus huoneessa on 10 m. Virtausnopeus kanavassa on 4,5 m/s. Peltikanavan äänieristävyystiedot on saatu taulukosta 17. Virtausmelun laskenta ja äänen siirtyminen kanavasta tilaan on esitetty taulukossa 20. Ilman virtauksen aiheuttama äänitehotaso kanavassa on 36,6 dB.

TAULUKKO 20. Virtausmelun siirtyminen kanavasta tilaan

Taajuuskaistat	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
L_w	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	dB
R'	9	14	19	22	26	29	34	39	dB
L_p	38,9	33,9	28,9	25,9	21,9	18,9	13,9	8,9	dB
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB
$L_{p(A)okt}$	12,7	17,8	20,3	22,7	21,9	20,1	14,9	7,8	dB(A)
$L_w - L_{wokt}$	4	6	7	8	9	10	14	21	dB
$L_p(A)$	8,7	11,8	13,3	14,7	12,9	10,1	0,9	-13,2	dB(A)
$L_p(A)$	20,18	dB(A)							

Seuraavaksi lasketaan vielä puhallinmelun siirtyminen kanavasta tilaan. Kanavasta huoneeseen siirtyvä ääniteho L_w' saadaan laskettua kaavalla 15 (1, s. 92). Laskenta on esitetty taulukossa 21. Taulukon ylimmällä rivillä on esitetty puhallinmelu L_w , kanavassa.

$$L_w' = L_w - R' + 10 \lg S'/S$$

KAAVA 15

S' = kanavan vaipan pinta – ala huoneessa, m^2

S = kanavan poikkipinta – ala, m^2

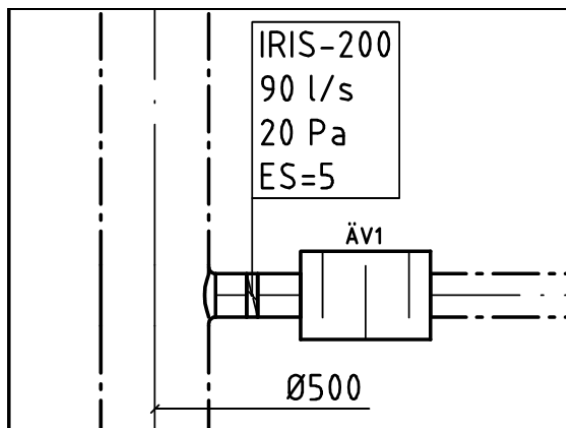
TAULUKKO 21. Puhallinmelun siirtyminen kanavasta tilaan

Taajuuskaistat	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
L_w kanavassa	52,0	48,0	45,0	30,0	21,0	13,0	5,0	4,0	dB
R'	9	14	19	22	26	29	34	39	dB
$L_w - R'$	43,0	34,0	26,0	8,0	-5,0	-16,0	-29,0	-35,0	dB
$10 \lg S'/S$	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	dB
Ääniteho dB	62,0	53,0	45,0	27,0	14,0	3,0	-10,0	-16,0	dB
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB(A)
Ääniteho dB(A)	35,8	36,9	36,4	23,8	14,0	4,2	-9,0	-17,1	dB(A)
Ääniteho huoneeseen	41,28	dB(A)							

Yhteenvedon voidaan todeta, että ilmanvaihtokanaviston reititykseen kannattaa kiinnittää huomiota. Kanavan seinämän läpi kantautuu ääntä tilaan ja tämän lisäksi myös kanavan rungon mukana kulkeutuu melua huoneeseen. Runkokanaviston suunnittelua ääniteknisesti tärkeiden tilojen läpi esimerkiksi luokkahuoneet, toimistot ja päiväkodin lepotilat kannattaa välttää. Runkokanavat tulisi suunnitella mahdollisuuksien mukaan aina esimerkiksi käytävään. Käytännön suunnittelussa tilan puutteen vuoksi tämä ei tietystikään aina ole mahdollista, mutta jos runkokanava täytyy suunnitella ääniteknisesti tärkeän tilan läpi, tulisi suunnittelijan pystyä varmistamaan, ettei siitä aiheudu äänihaittaa.

5.2.3 Kanaviston suunnittelusta

Ilmanvaihtojärjestelmän kanavisto tulee suunnitella suoraviivaiseksi ja mahdollisimman vähän painehäviötä kehittäväksi. IV-koneelta lähtevän runkokanava tulee haaroittaa mahdollisimman pian ilmanvaihtokoneelta lähdettäessä. Näin vältetään suuret kanavakoot, suuri painehäviön kehitys kanaviston loppupäähän ja vastaavasti voimakas kuristus kanaviston alkupäässä. Mikäli säätöpeltiä joudutaan kuristamaan paljon, kannattaa se varustaa äänenvaimentimella esimerkiksi kuvan 20 mukaisesti.

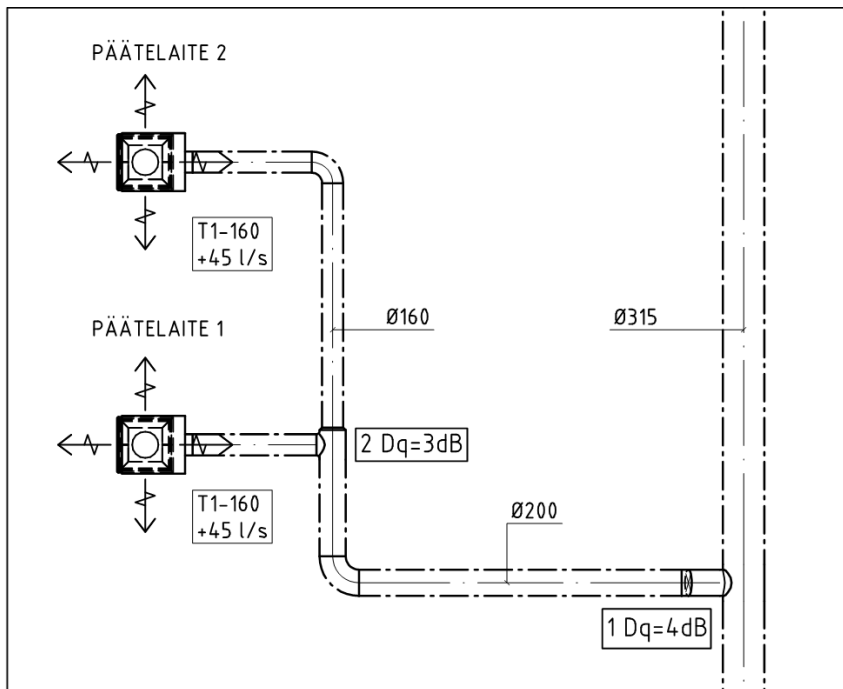


KUVA 20, Säätöpellin melun vaimentaminen

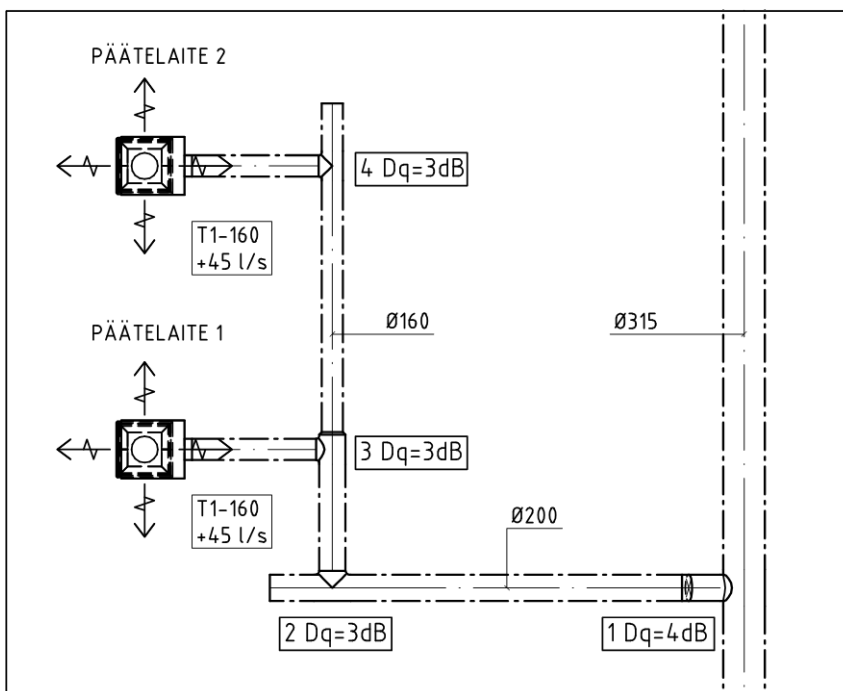
Ääniteknikan kannalta kanaviston suunnittelussa kannattaa muistaa myös järjestelmän SFP-luku. Kun suunnitellaan järjestelmä toimimaan pienellä painetasolla, saadaan järjestelmästä samalla energiataloudellinen sekä ääniteknisesti toimiva. Jos runkokanavasta lähtevän haaran pituus suhteessa muihin haarakanaviin kasvaa huomattavan pitkäksi, kannattaa se suunnitella virtausnopeuden suhteen väljemmäksi ja vähemmän painehäviötä kerääväksi. Näin vältetään päätelaitteiden välille muodostuvia suuria paine-eroja.

Päiväkodin ilmanvaihdon suunnittelussa kannattaa huomioida, että päiväkodeissa on tyypillisesti äänekkäitä tiloja esimerkiksi leikki-tilat. Tämän lisäksi on vastaavasti myös hiljaisia tiloja, kuten lepotilat. Vastaavanlaisissa tapauksissa kanaviston kautta tilasta toiseen kulkeutuva äänenvaimentaminen voi muodostua ongelmaksi. Tilannetta voidaan estää suunnittelemalla kanavistoon äänenvaimentimia katkaisemaan kanaviston kautta tilasta toiseen kulkeutuvaa melua. Lähtökohtaisesti vastaavanlaisia tilanteita voidaan välttää järkevällä kanaviston suunnittelulla. Päiväkodin leikki-tiloille ja lepotiloille voidaan runkokanavasta haaroittaa omat haarat, jotta sivutiesiirtymä ei pääse muodostumaan niin suureksi ongelmaksi.

Kanaviston suunnittelussa ääntä voidaan "eksyttää" suunnittelemalla kanavistoon haaravaimennuksia. Kanavistossa kulkeva ääni jakaantuu haarakohdassa ja vaimentaa päätelaitteelle kulkeutuvaa melua. Kuvassa 21 on esimerkki kanaviston suunnittelusta ilman suunniteltuja haaravaimennuksia. Kuvassa 22 on esimerkki kanavistosta, johon on suunniteltu haaravaimennuksia.



KUVA 21. Kanavisto ilman suunniteltuja haaravaimennuksia



KUVA 22. Kanavistoon suunniteltuja haaravaimennuksia

Haarassa tapahtuva äänenvaimeneminen voidaan laskea kaavalla 10. Äänen vaimeneminen voidaan olettaa olevan kaikilla taajuuskaistoilla yhtä suuri. Kuviin on kanavan haaroituskohtiin merkitty haaravaimennuksien suuruus. Esimerkkinä lasketaan kuvien 21 ja 22 päätelaitteiden aiheuttamat äänitasot ja vertaillaan niitä keskenään.

Esimerkilaskennassa runkokanavassa kulkeva ääniteho ennen ensimmäistä haaroitusta on taulukon 22 mukainen. Yhteenlaskettu äänitehotaso on tällöin 62 dB.

TAULUKKO 22. Äänitehotaso L_w kanavassa (dB)

63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
60	55	53	47	38	27	24	22	dB

Esimerkissä käytettiin FläktGroupin päätelaitteita DYCH-200-4+ATTD-160-200-1-0 mm, joista löytyy äänitekniset dokumentit (20). Huonevaimennuksena laskennassa käytettiin 10 m²:n absorptioalaa. Laskennat kuvien 21 ja 22 päätelaitteille on esitetty taulukossa 23 ja 24. Loput laskennat sekä dokumentit löytyvät tämän opinnäytetyön liitteistä (liite 2). Laskennan tulokset koottiin taulukkoon 25.

TAULUKKO 23. Kuvan 22 äänitasolaskenta päätelaitteelle 2

Päätelaite 2	Taajuuskaistat								Hz
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	60	55	53	47	38	27	24	22	dB
Haaravaimennus 1 D_q dB	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Haaravaimennus 2 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Haaravaimennus 3 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Haaravaimennus 4 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kulmavaimennus dB	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kanavavaimennus dB/m	0,3	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	dB/m
Pääteväimennus DYCH+ATTD DL_{okt}	14	7	7	16	14	11	15	16	dB
Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Äänitaso $L_{w,okt}$	28,7	30,5	27,0	9,8	0,5	-8,0	-15,0	-18,0	dB
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB
Äänitaso huoneeseen dB(A)	2,5	14,4	18,4	6,6	0,5	-6,8	-14,0	-19,1	dB(A)
Puhaltimen äänitaso dB(A)	20,2	dB(A)							
Päälaitteen äänitaso DYCH+ATTD	22	dB(A)							
Kokonaisäänitaso $L_{pA,10}$ -Sab	24,2	dB(A)	Kokonaisäänitaso päätelaitteella 2						

TAULUKKO 24. Kuvan 21 äänitasolaskenta päätelaitteelle 2.

Päätelaite 2	Taajuuskaistat								Hz
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Puhaltimen äänitaso $L_{W_{okt}}$	60	55	53	47	38	27	24	22	dB
Haaravaimennus 1 D_q dB	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Haaravaimennus 2 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kulmavaimennus dB	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kanavavaimennus dB/m	0,3	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	dB/m
Päätevaimennus DYCH+ATTD DL_{okt}	14	7	7	16	14	11	15	16	dB
Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Äänitaso $L_{W_{okt}}$	34,7	36,5	32,0	13,8	3,5	-5,0	-12,0	-15,0	dB
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB
Äänitaso huoneeseen dB(A)	8,5	20,4	23,4	10,6	3,5	-3,8	-11,0	-16,1	dB(A)
Puhaltimen äänitaso dB(A)	25,5	dB(A)							
Päälaitteen äänitaso DYCH+ATTD	22	dB(A)							
Kokonaisäänitaso $L_{pA,10^{\circ}Sab}$	27,1	dB(A)	Kokonaisäänitaso päätelaitteella 2						

TAULUKKO 25. Päätelaitteiden äänitasovertilu

	Kuva 22	Kuva 21
Päätelaite 1	25,7 dB(A)	27,3 dB(A)
Päätelaite 2	24,2 dB(A)	27,1 dB(A)

Laskennan tuloksista voidaan päätellä, että haaravaimennuksien suunnittelulla on merkitystä. Haaravaimennuksien suunnittelu on hyvä ja kustannustehokas tapa tuottaa kanavistoon lisävaimennusta.

5.2.4 Luokkahuoneen suunnittelu

Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä määrittelee LVIS-laitteista aiheutuvan ekvivalentti keskiäänitason opetustiloille olevan 33 dB. Huoneessa olevien päätelaitteiden ja päätelaitteiden kautta tulevan puhallinmelun äänitasot voidaan laskea yhteen kaavalla 6. Kuvassa 23 on esimerkki luokkahuoneen ilmanvaihdon suunnittelusta. Yhden päätelaitteen ilmavirtaa ei kannata mitoittaa liian suureksi, vaan äänitekniikan kannalta on järkevämpää jakaa ilmavirta useammalle päätelaitteelle. Kun otetaan päätelaitteen haara suoraan rungosta, säätöpeltiä ei välttämättä tarvitse käyttää, jos päätelaitteessa on tasauslaatikko. Tasauslaatikko toimii tällöin haaran säätävänä osana ja vältetään säätöpellin kuristuksesta aiheutuva melu. Haitallinen sivutiesiirtymä on kuvan esimerkissä estetty äänenvaimentimilla. Kuvaan on esimerkkilaskentaa varten jätetty äänimitoituksen tuloksen näkyviin.

TAULUKKO 26. Päätelaitteiden äänitasot

Päätelaitteen äänitaso dB(A), 10-Sab	Päätelaitteen äänitaso dB(A), todellisella absorptioalalla
23,1	18,3
22,1	17,3
23,4	18,6
22,3	17,5
21,6	16,8
20,8	16,0
Σ total=30,1 dB(A)	Σ total=25,4dB(A)

Absorptio-alalla on merkitys tilan todelliseen äänitasoon. Suunniteltaessa tulisivin aina huomioida tila ja sen käyttötarkoitus. Mikäli tilan jälkikaiunta-aika on suuri, ero todellisella ja 10 m² absorptioalalle lasketulla äänenpainetasolla voi olla merkittävä. Tilan absorptioalan vaikutus tulee suunniteltaessa huomioida, jotta tilan äänitaso ei ylitä asetuksen määrittelemää raja-arvoa.

6 RAKENNUKSEN ULKOPUOLISET JÄRJESTELMÄT

Tämä luku käsittelee rakennuksen ulkopuolisten ilmanvaihtojärjestelmien äänitekniikkaa. Taloteknisistä laitteista ei saa aiheutua meluhaittaa ympäristöön eikä mahdollisesti rakennuksen lähellä oleviin asutusalueisiin. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä määrittelee taloteknisistä laitteista aiheutuvan enimmäisäänitason ulkotilaan olevan 45 dB. Käytännössä ääntä aiheuttavat rakennuksen ulkovaipan lävistävä ulkoilmakanava ja säleikkö sekä rakennuksen katolle sijoitettavat ulospuhalluslaitteet, huippuimurit ja lauhduttimet.

6.1 Suunnittelun perusteista

Ulkoilma- ja ulospuhalluslaitteista aiheutuvaa melua voidaan ajatella pistemäisenä äänilähteenä vapaassa kentässä. Tämän seurauksena on se, että laitteiden aiheuttama melutaso laskee etäisyyden kasvaessa. Äänen intensiteetti on kääntäen verrannollinen säteen neliöön, ja vastaavasti äänenpaine on kääntäen verrannollinen säteeseen (7.)

Äänenpainetaso vapaassa kentässä laskee, kun etäisyys äänilähteeseen kasvaa. Logaritmisuuden takia äänenpainetaso laskee aina 6 dB, kun etäisyys kaksinkertaistuu (7). Ulkona olevan äänilähteen yhteydessä voi olla ääntä heijastavia pintoja. Äänen heijastuminen lähellä olevasta pinnasta lisää melutasoa. Riippuen pinnan sijainnista suhteessa äänilähteeseen, melu pääsee etenemään neljällä eri tavalla. Tähän vaikuttaa avaruuskulman (rad) suuntakerroin Q , jonka suuruus määräytyy seuraavasti (7, s. 65):

- $Q = 1$, kun melu etenee koko avaruuteen $4\pi r^2$.
- $Q = 2$, kun melu etenee puoliavaruuteen $2\pi r^2$.
- $Q = 4$, kun melu etenee $1/4$ avaruuteen πr^2 .
- $Q = 8$, kun melu etenee $1/8$ avaruuteen $0,5\pi r^2$.

Kun huomioidaan suuntakerroin Q , saadaan äänenpainetason ja tehotason yhteydeksi johdettua kaava 16 (7, s. 65).

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

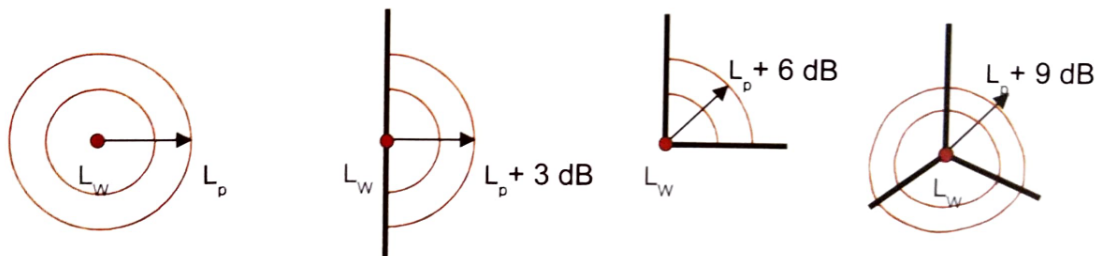
KAAVA 16

L_p = äänenpainetaso, [dB]

L_w = äänentehotaso, [dB]

Q = suuntakerroin, johon ääni heijastuu

Kaavasta voidaan havaita, että kun suuntakertoimia Q verrataan äänen täysin vapaaseen kenttään, melutasoon tulee aina lisäystä 3 dB, kun avaruuskulma puolittuu. Tätä ilmiötä havainnollistaa hyvin kuva 25 (7, s. 65). Esimerkiksi rakennuksen katolla sijaitseva ulospuhallushajottajan tapauksessa melu etenee puoliavaruuteen ja äänitasoon tulee lisäystä 3 desibeliä.



KUVA 25. Melutason lisäys suuntakertoimien mukaan (7, s. 65)

Rakennuksen ympärillä voi olla jokin ääntä heijastava pinta, esimerkiksi toinen rakennus. Silloin äänitaso lasketaan kaavalla 17 (1, s. 95). Kaava huomioi heijastavan pinnan kautta tulevan äänenpainetason.

$$L_p = L_w + 10 \lg [1/Qr^2 + (1 - \alpha)/Qr'^2]$$

KAAVA 17

r^2 = äänen kulkumatka heijastavan pinnan kautta, m

α = heijastavan pinnan absorptiokerroin (yleensä = 0)

Äänenpainetaso tarkasteltavassa pisteessä riippuu siis suoraan tulevasta äänestä sekä mahdollisesti lähellä olevan heijastavan pinnan kautta tulevasta äänestä. Ulkona tarkasteltavassa pisteessä äänitaso ei saa ylittää arvoa 45 dB.

6.2 Ulkoilma- ja ulospuhalluslaitteet

Ulkoilmalaitteen mitoitus vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan merkittävästi. Ulkoilmalaitteesta ei saa päästä lunta ja vettä läpi raitisilmakammioon. Tästä syystä säleikkö täytyy mitoittaa toimimaan pienellä otsapintanopeudella. Mitoitusnopeus vaikuttaa kuitenkin myös ääniteknikkaan sekä järjestelmän energiatehokkuuteen, sillä väärin mitoitettu ulkoilmalaite voi kasvattaa järjestelmän painetasoa merkittävästi. Useat laitevalmistajat suosittelevat ilmavirran maksiminopeudeksi ulkoilmalaitteessa sekä raitisilmakammiossa arvoa 0,7 m/s. Ulkoilmalaitteen mitoittamiseksi ilmavirta laitteen läpi tulee olla tiedossa. Ilmavirta saadaan laskettua summaamalla yhteen kaikki ilmanvaihtokoneen tuloilmavirrat. Tässä mitoitus esimerkissä mitoitusulkovirtana käytetään 1500 l/s. Mitoitettavan ulkoilmalaitteen pinta-ala voidaan laskea kaavalla 18 (7, s. 88), kun asetetaan ilmanvirtausnopeudeksi haluttu arvo.

$$v = \frac{qv}{A}$$

KAAVA 18

$$A = \text{pinta - ala, [m}^2\text{]}$$

$$qv = \text{tilavuusvirta, [m}^3\text{/s]}$$

$$v = \text{virtausnopeus, [m/s]}$$

$$\Rightarrow A = \frac{qv}{v}$$

$$A = \frac{1,5 \text{ m}^3/\text{s}}{0,7 \text{ m/s}} = 2,14 \text{ m}^2$$

Laskelman perusteella voidaan valita ulkoilmalaite, jonka pinta-ala tulisi olla vähintään 2,14 m². Ulkoilmalaitteen kokonaisäänitasoon vaikuttaa laitteen kehittämä äänitaso, mutta sen lisäksi myös ilmanvaihtokoneen puhaltimen aiheuttama äänitaso ulkoilmakanavaan. Mikäli äänitaso nousee liian korkeaksi, ulkoilmakanavaan voidaan asentaa äänenvaimennin vaimentamaan puhaltimen melua.

Ulospuhalluslaitteesta aiheutuva kokonaisäänitaso saadaan laskemalla logaritmisesti yhteen puhaltimen aiheuttama äänitaso sekä ulospuhalluslaitteen kehittämä oma äänitaso. Ulospuhalluslaitteiden osalta tehdään esimerkkilaskenta äänitasotarkastelusta.

Esimerkkilaskennassa rakennuksen katolla sijaitsee ulospuhalluslaite, laitteen oma ja puhaltimen yhteenlaskettu äänentehotaso L_w on rakennuksen katolla 75 dB. Etäisyys tarkasteltavaan pisteeseen, jossa äänitaso 45 dB ei saa ylittyä on tässä esimerkin tapauksessa 30 metriä. Kun tarkasteltavan pisteen läheisyydessä ei ole ääntä heijastavia pintoja, laskenta voidaan suorittaa kaavalla 16. Suuntakertoimena Q käytetään arvoa 2, koska laite sijaitsee rakennuksen katolla.

$$L_p = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

$$L_p = 75 \text{ dB} + 10 \lg \left(\frac{2}{4\pi \cdot 30^2} \right) = 37,5 \text{ dB}$$

Äänenpainetaso tarkasteltavassa pisteessä on 37,5 dB, joka alittaa ympäristöministeriön asettaman 45 desibelin raja-arvon. Jos äänenpainetaso tarkasteltavassa pisteessä kasvaa liian suureksi tulee kohteeseen valita hiljaisempi ulospuhalluslaite. Melu voi johtua myös ilmanvaihdon puhaltimesta, jolloin ulospuhalluskanaavaan voidaan asentaa äänenvaimennin vaimentamaan ulkotilaan kulkeutuvaa melua.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli koota yhteen ilmanvaihdon äänitekniiseen suunnitteluun työkalu, joka kattaa teorian, rakennusmääräykset sekä käytännön suunnittelu- ja mitoitusohjeita. Akustiikka sekä ilmanvaihdon ääniteknikka ovat laaja ja haastava kokonaisuus, eikä aihetta voi käsitellä kokonaisuudessaan yhdessä opinnäytetyössä. Tässä työssä käytiin läpi akustiikan sekä ilmanvaihdon ääniteknikan teoria siinä laajuudessa mikä mielestäni LVI-insinöörille kuuluu.

Työn aikana tuli selväksi, että asetukset ja määräykset ilmanvaihdon ääniteknikasta ovat vähäiset. Tärkein asetus on ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä ja tätä asetusta täydentää ympäristöministeriön ohje. Asetus määrittelee käytännössä vain äänitekniiset raja-arvot taloteknisille laitteille eikä ota tarkemmin kantaa äänitekniiseen suunnitteluun. Tällöin suunnittelija ei pysty nojamaan asetuksiin ja vastuu järjestelmän ääniteknisestä toimivuudesta jää käytännössä kokonaan LVI-suunnittelijalle.

Ääni on käsitteenä subjektiivinen ja ihmiset kokevat äänen ja melun eri tavalla. Mikään laskenta- ja mitoitustulos ei ole absoluuttisen tarkka. Tästä syystä äänitaso tulee suunnitella aina hieman matalammaksi kuin asetus sen määrittelee, jotta saadaan varmuutta mitoitukseen sekä välttään ääniongelmilta, kun rakennus on valmis. Äänitekniikan suunnittelun kannalta ensiarvoisen tärkeää on estää äänen haitallinen sivutiesiirtymä tilasta toiseen.

Työssä havaittiin että, ilmanvaihdon suunnittelun kannalta olisi tärkeää saada kehitettyä yleinen laskentamalli äänen siirtymisestä tilasta kanavaan päätelaitteiden kautta. Laskentamallin kehittäminen vaatisi todennäköisesti oman itsenäisen teoksensa sekä myös laboratorioon rakennettavan testijärjestelmän, jossa voisi suorittaa tarvittavia mittauksia.

Työ oli haastava mutta mielenkiitoinen haastetta aiheutti etenkin aiheen laajuus sekä järkevän kokonaisuuden muodostaminen aiheeseen, niin että teoria ja käytäntö tukevat toisiaan. Nyt kuitenkin suunnittelun kannalta tärkeimmät tiedot on koottu yhteen teokseen.

LÄHTEET

1. Halme, Alpo & Seppänen, Olli 2002. Ilmastoinnin ääniteknikka. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
2. RT 07-10881. Huoneakustiikka. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-10881>. Vaatii lisenssin.
3. SFS-ISO R226. Acoustics-Normal equal-loudness level contours. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
4. Ilmateollisuus Oy 1986. Puhallintekninen käsikirja. Helsinki: Ilmateollisuus Oy.
5. Halme, Alpo 1977. Rakennus- ja huoneakustiikka, Meluntorjunta. Espoo: Otakustantamo.
6. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu – Akustiikan perusteet.
7. Sandberg, Esa 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut Oy.
8. FläktGroup Finland Oy 2021. Mittaus- ja säätölaite Iris. Hakupäivä 31.1.2022. <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/d7f44e38-ab65-40f2-afef-7369d7c4fb84?analytics=0>.
9. FläktGroup Finland Oy 2020. Poistoilmahajotin PSWB. Hakupäivä 1.2.2022. <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/0209e5bb-1b36-44f0-a18d-316908e7180e?analytics=0>.
10. LVI 30-10333 2002. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus asuinrakennuksissa. Helsinki: Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2030-10333>. Vaatii lisenssin.

11. Lindab Oy 2020. Pyöreä äänenvaimennin. Hakupäivä: 1.2.2022. Saatavissa: https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/PDF/Documentation/ADS/FIN/Technical/PVA.pdf?t=-1690567921&_hstc=236047006.89f67e476c69644427a371b182faff9c.1643715636801.1643715636801.1643715636801.1&_hssc=236047006.1.1643715636801&_hsfp=400513251.
12. Lindab Oy 2022. Suorakaidelamellivaimennin. Hakupäivä 1.2.2022. Saatavissa: https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/assets/production/ODg5ZiY3NmMtM2RjYi00NzkzLThhZDctZGZiM-WMxYzU0ZTA0/5249467823792816251/MINKA.pdf?t=-1688498234&_hstc=236047006.89f67e476c69644427a371b182faff9c.1643715636801.1643715636801.1643717705725.2&_hssc=236047006.1.1643717705725&_hsfp=400513251.
13. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. 796/2017. Hakupäivä 24.1.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>.
14. Ympäristöministeriö 2018. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä 2018. Hakupäivä 24.1.2022. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf/5e3efaa4-9566-17ae-83c6-2b5805fc9d/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf?t=1603260126601.
15. Sisäilmastoluokitus 2018. Helsinki: Rakennustieto Oy. Hakupäivä 24.1.2022. <https://kortitot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299>. Vaatii lisenssin.
16. Vallox Oy 2021. Hakupäivä 9.2.2022. Saatavissa: https://www.vallox.com/files/3330/Manual_Vallox_096_110_145_MV_FIN.pdf.
17. Lindab Oy 2020. Suorakaidevaimennin pyöreillä liittimillä. Hakupäivä 9.2.2022. <https://www.lindab.fi/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/kvdp.pdf?v=1644390529>.

18. FläktGroup Finland Oy 2020. KTS ja KTSS Tuloilmaventtiilit. Hakupäivä 9.2.2022.
<https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/0b658ed1-e6b9-4f4a-b022-f5f14e0f8d00?analytics=0>.
19. FläktGroup Finland Oy 2020. Poistoilmaventtiilit KSO, KSOV ja KSOS. Hakupäivä 15.2.2022. <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/13b00a3e-e236-4447-a043-0a5921698924?analytics=0>.
20. FläktGroup Finland Oy 2021. Suutinhajotin DYKH/DYCH + Tasauslaatikko ATTD. Hakupäivä 17.4.2022. <https://www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/a8d2a446-d59d-45f7-9a0e-95db821777b0?analytics=0>.

OMAKOTITALON ILMANVAIHDON ÄÄNITEKNINEN LASKENTA

LIITE 1/1

Nro.	Tuloilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
1.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	76	70	66	61	60	54	47	42	dB		
2.	Äänenvaimennin $D_{äv}$	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
3.	Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	59	58	51	35	24	17	7	8	dB	1-2	
4.	Haaravaimennus D_q dB	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
5.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
6.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5^{\circ}D_{ku}$	
7.	Haaravaimennus D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
8.	Kanava vaimennus	0,8	0,8	1,2	1,2	2,4	2,4	2,4	2,4	dB/m	$L^{\circ}D/m$	
9.	Vaimennukset yhteensä	6,2	6,2	8,1	9,6	12,3	12,3	12,3	12,3	dB	$4+5+6+7+8$	
10.	Äänitaso ennen päteletaitetta	52,8	51,8	42,9	25,4	11,7	4,7	-5,3	-4,3	dB	3-9	
11.	Pätelevaimennus KTS-125 DL_{okt}	20	16	11	9	9	7	6	5	dB		
12.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10^{\log(10/4)}$	
13.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	28,8	31,8	27,9	12,4	-1,3	-6,3	-15,3	-13,3	dB	10-11-12	
14.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
15.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	2,6	15,7	19,3	9,2	-1,3	-5,1	-14,3	-14,4	dB(A)	13-14	
16.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	21,2	dB(A)								$10^{\log(10^{\wedge}(Lw1/10)+10^{\wedge}(Lw2/10))}$	
17.	Päälaitteen äänitaso KTS-125	6	dB(A)									
18.	Kokonaisäänitaso tilaan	21,4	dB(A)	Kokonaisäänitaso makuuhuoneeseen 1								$10^{\log(10^{\wedge}(Lw1/10)+10^{\wedge}(Lw2/10))}$

Nro.	Tuloilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
19.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	76	70	66	61	60	54	47	42	dB		
20.	Äänenvaimennin $D_{äv}$	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
21.	Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	59	58	51	35	24	17	7	8	dB	19-20	
22.	Haaravaimennus D_q dB	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
23.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
24.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5^{\circ}D_{ku}$	
25.	Haaravaimennus D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
26.	Haaravaimennus D_q dB	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
27.	Kanava vaimennus	0,9	0,9	1,4	1,4	2,7	2,7	2,7	2,7	dB/m	$L^{\circ}D/m$	
28.	Vaimennukset yhteensä	7,6	7,6	9,5	11,0	13,9	13,9	13,9	13,9	dB	$22+23+24+25+26+27$	
29.	Äänitaso ennen päteletaitetta	51,4	50,4	41,5	24,0	10,1	3,1	-6,9	-5,9	dB	21-28	
30.	Pätelevaimennus KTS-125 DL_{okt}	20	16	11	9	9	7	6	5	dB		
31.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10^{\log(10/4)}$	
32.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	27,4	30,4	26,5	11,0	-2,9	-7,9	-16,9	-14,9	dB	29-30-31	
33.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
34.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	1,2	14,3	17,9	7,8	-2,9	-6,7	-15,9	-16,0	dB(A)	32+33	
35.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	19,8	dB(A)								$10^{\log(10^{\wedge}(Lw1/10)+10^{\wedge}(Lw2/10))}$	
36.	Päälaitteen äänitaso KTS-125	6	dB(A)									
37.	Kokonaisäänitaso tilaan	20,0	dB(A)	Kokonaisäänitaso makuuhuoneeseen 2								$10^{\log(10^{\wedge}(Lw1/10)+10^{\wedge}(Lw2/10))}$

Nro.	Tuloilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
38.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	76	70	66	61	60	54	47	42	dB		
39.	Äänenvaimennin $D_{äv}$	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
40.	Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	59	58	51	35	24	17	7	8	dB	38-39	
41.	Haaravaimennus D_q dB	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
42.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
43.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5^{\circ}D_{ku}$	
44.	Haaravaimennus D_q dB	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
45.	Haaravaimennus D_q dB	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
46.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
47.	Kanava vaimennus	0,8	0,8	1,2	1,2	2,4	2,4	2,4	2,4	dB/m	$L^{\circ}D/m$	
48.	Vaimennukset yhteensä	6,2	6,2	9,1	11,6	15,3	15,3	15,3	15,3	dB	$41+42+43+44+45+46+47$	
49.	Äänitaso ennen päteletaitetta	52,8	51,8	41,9	23,4	8,7	1,7	-8,3	-7,3	dB	40-48	
50.	Pätelevaimennus KTS-125 DL_{okt}	20	16	11	9	9	7	6	5	dB		
51.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10^{\log(10/4)}$	
52.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	28,8	31,8	26,9	10,4	-4,3	-9,3	-18,3	-16,3	dB	49-50-51	
53.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
54.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	2,6	15,7	18,3	7,2	-4,3	-8,1	-17,3	-17,4	dB(A)	52+53	
55.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	20,5	dB(A)								$10^{\log(10^{\wedge}(Lw1/10)+10^{\wedge}(Lw2/10))}$	
56.	Päälaitteen äänitaso KTS-125	5	dB(A)									
57.	Kokonaisäänitaso tilaan	20,6	dB(A)	Kokonaisäänitaso olohuoneeseen								$10^{\log(10^{\wedge}(Lw1/10)+10^{\wedge}(Lw2/10))}$

OMAKOTITALON ILMANVAIHDON ÄÄNITEKNINEN LASKENTA

LIITE 1/2

Nro.	Tuloilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
58.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,akt}$	76	70	66	61	60	54	47	42	dB		
59.	Äänenvaimennin D_{iv}	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
60.	Äänitaso $L_{w,akt}$ vaimentimen jälkeen	59	58	51	35	24	17	7	8	dB	58-59	
61.	Haaravaimennus D_q dB	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
62.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5 \cdot D_{ku}$	
63.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5 \cdot D_{ku}$	
64.	Haaravaimennus D_q dB	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
65.	Haaravaimennus D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
66.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
67.	Kanava vaimennus	1,0	1,0	1,5	1,5	3,0	3,0	3,0	3,0	dB/m	$L \cdot D/m$	
68.	Vaimennukset yhteensä	9,5	9,5	12,0	14,0	17,5	17,5	17,5	17,5	dB	61+62+63+64+65+66+67	
69.	Äänitaso ennen päätelaitetta	49,5	48,5	39,0	21,0	6,5	-0,5	-10,5	-9,5	dB	60-68	
70.	Päätelaitteen äänitaso $KTSS-100 DL_{akt}$	22	18	13	11	9	8	7	8	dB		
71.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10 \cdot \log(10/4)$	
72.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,akt}$	23,6	26,6	22,1	6,1	-6,4	-12,4	-21,4	-21,4	dB	69-70-71	
73.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
74.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	-2,6	10,5	13,5	2,9	-6,4	-11,2	-20,4	-22,5	dB(A)	72+73	
75.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	15,6	dB(A)								$10 \cdot \log(10 \cdot (Lw1/10) + (10 \cdot (Lw2/10)))$	
76.	Päälaitteen äänitaso $KTSS-100$	6	dB(A)									
77.	Kokonaisäänitaso tilaan	16,0	dB(A)	Kokonaisäänitaso saunaan								$10 \cdot \log(10 \cdot (Lw1/10) + (10 \cdot (Lw2/10)))$

Nro.	Poistoilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
1.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,akt}$	70	60	51	51	46	33	23	21	dB		
2.	Äänenvaimennin D_{iv}	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
3.	Äänitaso $L_{w,akt}$ vaimentimen jälkeen	53	48	36	25	10	-4	-17	-13	dB	1-2	
4.	Haaravaimennus D_q dB	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
5.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5 \cdot D_{ku}$	
6.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5 \cdot D_{ku}$	
7.	Haaravaimennus D_q dB	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
8.	Kanava vaimennus	0,4	0,4	0,6	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	dB/m	$L \cdot D/m$	
9.	Vaimennukset yhteensä	8,9	8,9	10,1	11,1	12,7	12,7	12,7	12,7	dB	4+5+6+7+8	
10.	Äänitaso ennen päätelaitetta	44,1	39,1	25,9	13,9	-2,7	-16,7	-29,7	-25,7	dB	3-9	
11.	Päätelaitteen äänitaso $KSO-125 DL_{akt}$	21	16	12	11	11	13	6	6	dB		
12.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10 \cdot \log(10/4)$	
13.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,akt}$	19,2	19,2	10,0	-1,0	-17,6	-33,6	-39,6	-35,6	dB	10-11-12	
14.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
15.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	-7,0	3,1	1,4	-4,2	-17,6	-32,4	-38,6	-36,7	dB(A)	13-14	
16.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	6,0	dB(A)								$10 \cdot \log(10 \cdot (Lw1/10) + (10 \cdot (Lw2/10)))$	
17.	Päälaitteen äänitaso $KSO-125$	8	dB(A)									
18.	Kokonaisäänitaso tilaan	10,1	dB(A)	Kokonaisäänitaso kodinhoituhuoneeseen								$10 \cdot \log(10 \cdot (Lw1/10) + (10 \cdot (Lw2/10)))$

Nro.	Poistoilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
19.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,akt}$	70	60	51	51	46	33	23	21	dB		
20.	Äänenvaimennin D_{iv}	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
21.	Äänitaso $L_{w,akt}$ vaimentimen jälkeen	53	48	36	25	10	-4	-17	-13	dB	19-20	
22.	Haaravaimennus D_q dB	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
23.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5 \cdot D_{ku}$	
24.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5 \cdot D_{ku}$	
25.	Haaravaimennus D_q dB	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	dB	$10 \cdot \log(qv/qv')$	
26.	Kanava vaimennus	0,5	0,5	0,8	0,8	1,5	1,5	1,5	1,5	dB/m	$L \cdot D/m$	
27.	Vaimennukset yhteensä	9,0	9,0	10,2	11,2	13,0	13,0	13,0	13,0	dB	22+23+24+25+26	
28.	Äänitaso ennen päätelaitetta	44,0	39,0	25,8	13,8	-3,0	-17,0	-30,0	-26,0	dB	21-27	
29.	Päätelaitteen äänitaso $KSO-100 DL_{akt}$	23	19	14	13	12	14	7	8	dB		
30.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10 \cdot \log(10/4)$	
31.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,akt}$	17,1	16,1	7,8	-3,2	-18,9	-34,9	-40,9	-37,9	dB	28-29-30	
32.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
33.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	-9,1	0,0	-0,8	-6,4	-18,9	-33,7	-39,9	-39,0	dB(A)	31+32	
34.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	3,4	dB(A)								$10 \cdot \log(10 \cdot (Lw1/10) + (10 \cdot (Lw2/10)))$	
35.	Päälaitteen äänitaso $KSO-100$	8	dB(A)									
36.	Kokonaisäänitaso tilaan	9,3	dB(A)	Kokonaisäänitaso Tekniseen tilaan								$10 \cdot \log(10 \cdot (Lw1/10) + (10 \cdot (Lw2/10)))$

OMAKOTITALON ILMANVAIHDON ÄÄNITEKNINEN LASKENTA

LIITE 1/3

Nro.	Poistoilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
37.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	70	60	51	51	46	33	23	21	dB		
38.	Äänenvaimennin D_{iv}	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
39.	Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	53	48	36	25	10	-4	-17	-13	dB	37-38	
40.	Haaravaimennus D_q dB	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
41.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
42.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
43.	Haaravaimennus D_q dB	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
44.	Kanava vaimennus	1,1	1,1	1,7	1,7	3,3	3,3	3,3	3,3	dB/m	$L^{\circ}D/m$	
45.	Vaimennukset yhteensä	6,9	6,9	9,4	11,4	15,1	15,1	15,1	15,1	dB	$40+41+42+43+44$	
46.	Äänitaso ennen päätelaitetta	46,1	41,1	26,6	13,6	-5,1	-19,1	-32,1	-28,1	dB	39-45	
47.	Päätevaimennus KSO-100 $D_{L,okt}$	23	19	14	13	12	14	7	8	dB		
48.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10^{\log(10/4)}$	
49.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	19,1	18,1	8,6	-3,4	-21,1	-37,1	-43,1	-40,1	dB	46-47-48	
50.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
51.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	-7,1	2,0	0,0	-6,6	-21,1	-35,9	-42,1	-41,2	dB(A)	49+50	
52.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	4,8	dB(A)								$10^{\log(10^{\log(Lw1/10)}+10^{\log(Lw2/10)})}$	
53.	Päälaitteen äänitaso KSO-100	8	dB(A)									
54.	Kokonaisäänitaso tilaan	9,7	dB(A)	Kokonaisäänitaso keittiöön								$10^{\log(10^{\log(Lw1/10)}+10^{\log(Lw2/10)})}$

Nro.	Poistoilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
55.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	70	60	51	51	46	33	23	21	dB		
56.	Äänenvaimennin D_{iv}	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
57.	Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	53	48	36	25	10	-4	-17	-13	dB	55-56	
58.	Haaravaimennus D_q dB	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
59.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5^{\circ}D_{ku}$	
60.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
61.	Haaravaimennus D_q dB	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
62.	Haaravaimennus D_q dB	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
63.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5^{\circ}D_{ku}$	
64.	Kanava vaimennus	0,5	0,5	0,8	0,8	1,5	1,5	1,5	1,5	dB/m	$L^{\circ}D/m$	
65.	Vaimennukset yhteensä	5,9	5,9	8,2	10,2	12,9	12,9	12,9	12,9	dB	$58+59+60+61+62+63+64$	
66.	Äänitaso ennen päätelaitetta	47,1	42,1	27,8	14,8	-2,9	-16,9	-29,9	-25,9	dB	57-65	
67.	Päätevaimennus KSO-125 $D_{L,okt}$	21	16	12	11	11	13	6	6	dB		
68.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10^{\log(10/4)}$	
69.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	22,1	22,1	11,8	-0,2	-17,9	-33,9	-39,9	-35,9	dB	65-66-67	
70.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
71.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	-4,1	6,0	3,2	-3,4	-17,9	-32,7	-38,9	-37,0	dB(A)	69-70	
72.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	8,4	dB(A)								$10^{\log(10^{\log(Lw1/10)}+10^{\log(Lw2/10)})}$	
73.	Päälaitteen äänitaso KSO-125	1	dB(A)									
74.	Kokonaisäänitaso tilaan	9,1	dB(A)	Kokonaisäänitaso pesuhuoneeseen								$10^{\log(10^{\log(Lw1/10)}+10^{\log(Lw2/10)})}$

Nro.	Poistoilma	Taajuuskaistat								Hz	Kaava	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
75.	Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	70	60	51	51	46	33	23	21	dB		
76.	Äänenvaimennin D_{iv}	17	12	15	26	36	37	40	34	dB		
77.	Äänitaso $L_{w,okt}$ vaimentimen jälkeen	53	48	36	25	10	-4	-17	-13	dB	75-76	
78.	Haaravaimennus D_q dB	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
79.	Kulmavaimennus dB	0	0	1	2	3	3	3	3	dB		
80.	Kulmavaimennus dB	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	$0,5^{\circ}D_{ku}$	
81.	Haaravaimennus D_q dB	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
82.	Haaravaimennus D_q dB	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	dB	$10^{\log(qv/qv')}$	
83.	Kanava vaimennus	0,8	0,8	1,2	1,2	2,4	2,4	2,4	2,4	dB/m	$L^{\circ}D/m$	
84.	Vaimennukset yhteensä	6,2	6,2	8,1	9,6	12,3	12,3	12,3	12,3	dB	$78+79+80+81+82+83$	
85.	Äänitaso ennen päätelaitetta	46,8	41,8	27,9	15,4	-2,3	-16,3	-29,3	-25,3	dB	77-84	
86.	Päätevaimennus KSO-100 $D_{L,okt}$	23	19	14	13	12	14	7	8	dB	57-65	
87.	Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	$10^{\log(10/4)}$	
88.	Äänitasohuoneeseen $L_{w,okt}$	19,8	18,8	9,9	-1,6	-18,3	-34,3	-40,3	-37,3	dB	85-86-87	
89.	A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB		
90.	Äänitaso huoneeseen dB(A)	-6,4	2,7	1,3	-4,8	-18,3	-33,1	-39,3	-38,4	dB(A)	88+89	
91.	Puhaltimen äänitaso dB(A)	5,8	dB(A)								$10^{\log(10^{\log(Lw1/10)}+10^{\log(Lw2/10)})}$	
92.	Päälaitteen äänitaso KSO-100	6	dB(A)									
93.	Kokonaisäänitaso tilaan	8,9	dB(A)	Kokonaisäänitaso saunaan								$10^{\log(10^{\log(Lw1/10)}+10^{\log(Lw2/10)})}$

PÄÄTELAITTEIDEN ÄÄNITASOVERTAILUN LASKENTA

LIITE 2/1

Päätelaite 1	Taajuuskaistat								Hz
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	60	55	53	47	38	27	24	22	dB
Haaravaimennus 1 D_q dB	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Haaravaimennus 2 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Haaravaimennus 3 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kulmavaimennus dB	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kanavavaimennus dB/m	0,3	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	dB/m
Päätevaimennus DYCH+ATTD DL_{okt}	14	7	7	16	14	11	15	16	dB
Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Äänitaso $L_{w,okt}$	31,7	33,5	30,0	12,8	3,5	-5,0	-12,0	-15,0	dB
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB
Äänitaso huoneeseen dB(A)	5,5	17,4	21,4	9,6	3,5	-3,8	-11,0	-16,1	dB(A)
Puhaltimen äänitaso dB(A)	23,2	dB(A)							
Päälaitteen äänitaso DYCH+ATTD	22	dB(A)							
Kokonaisäänitaso $L_{pA,10}$ -Sab	25,7	dB(A)	Kokonaisäänitaso päätelaitteella 1						

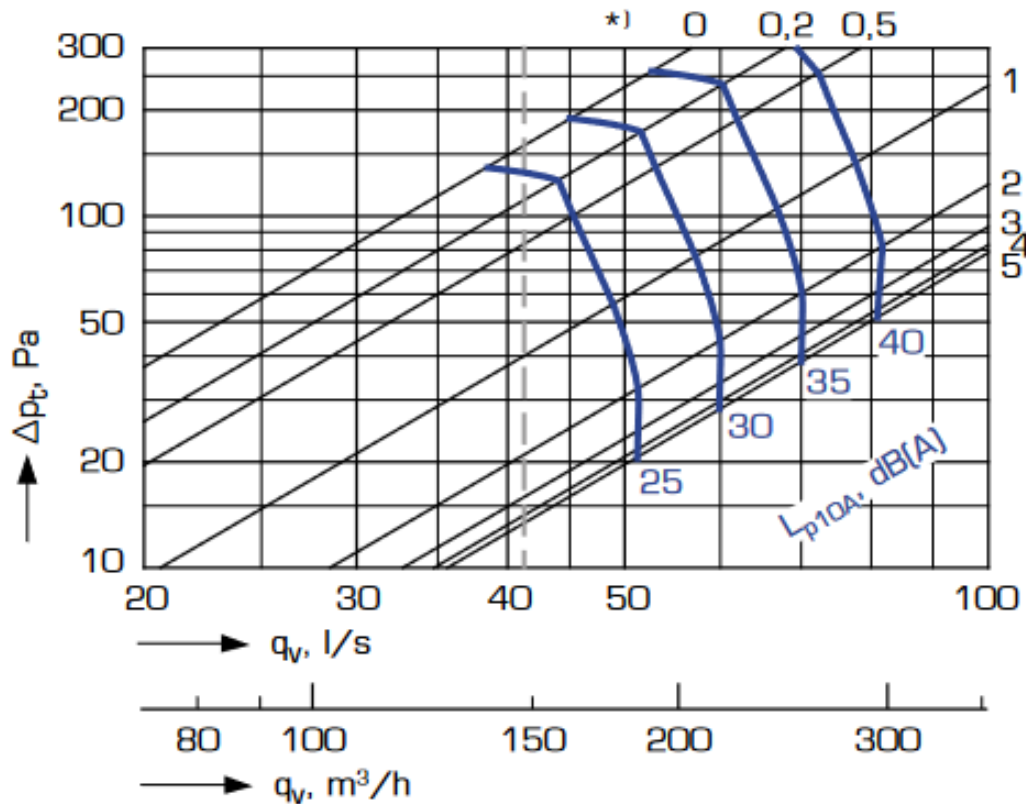
Päätelaite 2	Taajuuskaistat								Hz
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	60	55	53	47	38	27	24	22	dB
Haaravaimennus 1 D_q dB	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Haaravaimennus 2 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Haaravaimennus 3 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Haaravaimennus 4 D_q dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB
Kulmavaimennus dB	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB
Kanavavaimennus dB/m	0,3	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	dB/m
Päätevaimennus DYCH+ATTD DL_{okt}	14	7	7	16	14	11	15	16	dB
Huonevaimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB
Äänitaso $L_{w,okt}$	28,7	30,5	27,0	9,8	0,5	-8,0	-15,0	-18,0	dB
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB
Äänitaso huoneeseen dB(A)	2,5	14,4	18,4	6,6	0,5	-6,8	-14,0	-19,1	dB(A)
Puhaltimen äänitaso dB(A)	20,2	dB(A)							
Päälaitteen äänitaso DYCH+ATTD	22	dB(A)							
Kokonaisäänitaso $L_{pA,10}$ -Sab	24,2	dB(A)	Kokonaisäänitaso päätelaitteella 2						

PÄÄTELAITTEIDEN ÄÄNITASOVERTAILUN LASKENTA

LIITE 2/2

Päätelaite 1	Taajuuskaistat								Hz	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	60	55	53	47	38	27	24	22	dB	
Haaravaimennus 1 D_1 dB	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	
Haaravaimennus 2 D_2 dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kulmavaimennus dB	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	dB	
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kanavavaimennus dB/m	0,3	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	dB/m	
Pääteväimennus DYCH+ATTD DL_{okt}	14	7	7	16	14	11	15	16	dB	
Huoneväimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	
Äänitaso $L_{w,okt}$	34,7	36,5	32,5	14,8	5,0	-3,5	-10,5	-13,5	dB	
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB	
Äänitaso huoneeseen dB(A)	8,5	20,4	23,9	11,6	5,0	-2,3	-9,5	-14,6	dB(A)	
Puhaltimen äänitaso dB(A)	25,8	dB(A)								
Päälaitteen äänitaso DYCH+ATTD	22	dB(A)								
Kokonaisäänitaso $L_{pA,10}$ -Sab	27,3	dB(A)	Kokonaisäänitaso päätelaitteella 1							

Päätelaite 2	Taajuuskaistat								Hz	
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Puhaltimen äänitaso $L_{w,okt}$	60	55	53	47	38	27	24	22	dB	
Haaravaimennus 1 D_1 dB	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	
Haaravaimennus 2 D_2 dB	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kulmavaimennus dB	0	0	0	0,5	1	1,5	1,5	1,5	dB	
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	dB	
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kulmavaimennus dB	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	dB	
Kanavavaimennus dB/m	0,3	0,5	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	dB/m	
Pääteväimennus DYCH+ATTD DL_{okt}	14	7	7	16	14	11	15	16	dB	
Huoneväimennus D_{huone}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	dB	
Äänitaso $L_{w,okt}$	34,7	36,5	32,0	13,8	3,5	-5,0	-12,0	-15,0	dB	
A-suodatus	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	dB	
Äänitaso huoneeseen dB(A)	8,5	20,4	23,4	10,6	3,5	-3,8	-11,0	-16,1	dB(A)	
Puhaltimen äänitaso dB(A)	25,5	dB(A)								
Päälaitteen äänitaso DYCH+ATTD	22	dB(A)								
Kokonaisäänitaso $L_{pA,10}$ -Sab	27,1	dB(A)	Kokonaisäänitaso päätelaitteella 2							

DY(K,C)H-200-4 + ATTD-160-200-1 - 0 MM RAOLLA**SUUTINHAJOTIN DY(K,C)H + ATTD, 0 MM RAOLLA, 1:2
TASAUSLAATIKKO**

Hajotin DY(K,C)H-	Liitäntä ATTD		Äänenvaimennus (dB)							
	tulo mm	lähtö mm	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
125-4	100	125	20	11	12	14	24	16	15	12
125-6	100	125	20	11	11	16	24	15	14	15
160-4	125	160	18	10	7	18	16	18	14	17
160-6	125	160	18	10	7	19	13	17	12	16
200-4	160	200	14	7	7	16	14	11	15	16
200-6	160	200	15	7	6	17	13	10	14	15
250-6	200	250	11	7	7	11	11	11	14	17
315-6	250	315	10	5	6	10	12	11	13	17
400-6	315	400	8	4	7	7	10	11	13	15
Toleranssi ±			2	2	2	2	2	3	2	3