

Jussi Vartio

**ILMASTOINNIN AIHEUTTAMAT ÄÄNIONGELMAT
OPETUSTILOISSA KOTKANTIEN KAMPUKSELLA**

**ILMASTOINNIN AIHEUTTAMAT ÄÄNIONGELMAT
OPETUSTILOISSA KOTKANTIEN KAMPUKSELLA**

Jussi Vartio
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jussi Vartio

Opinnäytetyön nimi: Ilmastoinnin aiheuttamat ääniongelmien opetustiloissa Kotkantien kampuksella

Työn ohjaajat: Pirjo Kimari, Rauno Holopainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017 Sivumäärä: 50 + 14 liitettä

Tässä työssä tutkitaan Oulun ammattikorkeakoulun Kotkantien kampuksen tiloissa esiintyviä ilmastoinnin aiheuttamia äänihaittoja, ja tarkoituksena oli selvittää äänihaittojen suuruus ja mahdolliset syyt. Tavoitteena oli laajentaa äänitasomittauksissa ja ääniongelmien selvittelyssä tarvittavaa tietopohjaa, selvittää ilmanvaihdon aiheuttaman äänitasot opetustiloissa, mallintaa MagiCAD-suunnitteluohjelmistolla yksi ilmastointilaitos ja verrata mallinnuksen avulla laskettuja äänitasoja mitattuihin tasoihin.

Työn tuloksina on esitetty mitatut ilmastoinnin aiheuttamat äänitasot työn kohteena olleen ilmanvaihtokoneen palvelualueen opetustiloista, mitatut ilmavirrat palvelualueen päätelaitteista ja tuotettu ilmastointilaitoksen mallinnus MagiCAD-suunnitteluohjelmistolla. Sivutuotteena syntyi Excel-laskentataulukko, joka laskee äänitaso- ja jälkikaiunta-aikamittausten tuloksista ilmastoinnin aiheuttamat keskiäänitasot sekä eräitä huoneakustisia suureita, ja esittää ne havainnollisesti.

Ilmastoinnin aiheuttamat äänitasot maksimi-ilmavirroilla normaalissa käytönajan mukaisessa tilanteessa olivat kaikissa mitatuissa opetustiloissa ohjearvoja suuremmat. Syiden selvittäminen osoittautui vaativaksi ja monitahoiseksi tehtäväksi. Vanhan ilmastointilaitoksen mallintaminen puutteellisilla lähtötiedoilla ilmavirtamittauksien perusteella ei johda täsmälliseen lopputulokseen, mutta antaa lähtökohdan asian jatkoselvittelyyn.

Mallinnuksen perusteella vaikutti siltä, että ilmanvaihtokoneen paineenkorotuksesta suuri osa hukataan kanaviston säätöpeltien painehäviöihin. Paineenkorotuksen pienentäminen ja tarpeettoman kuristussäädön poistaminen vähentäisi säätö- ja päätelaitteiden aiheuttamaa virtausmelua.

Tämän työn tekeminen on syventänyt ymmärrystä siitä, että ilmastoinnin ääniongelmien todellisten syiden löytäminen ja tilanteen korjaaminen vaatii asiantuntevasta LVIS-tekniikasta ja ainakin perustason osaamista akustiikasta. Mallinnukseen ei voi luottaa sokeasti, vaan suunnittelijan on osattava arvioida järjestelmän ja sen osien äänentuoton suuruusluokkia ja teknisiä mahdollisuuksia.

Asiasanat: ilmastointi, ilmanvaihto, melu, ääni, akustiikka

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building services, HVAC Engineering

Author: Jussi Vartio

Title of thesis: Ventilation related noise problems on the Kotkantie campus

Supervisors: Pirjo Kimari, Rauno Holopainen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017 Number of pages:
50 + 14 appendices

The overall goal of this thesis was to improve the process for inspecting ventilation related noise problems. To achieve this, the following tasks were performed: reviewing literature regarding the subject, measuring the sound levels in certain classrooms on the Kotkantie campus, creating a computer model of the ventilation system serving those classrooms with MagiCAD, and comparing the model calculated sound levels to the sound levels measured on-site.

It was anticipated that sound levels in the sampled classrooms would exceed limits set by national regulation, and this was confirmed through the measured data. The goal of the process was to find out which factors were the root causes of this problem, which turned out to be a challenging task. Modeling an existing ventilation system based on inadequate initial data does not accurately predict actual noise levels, but such models might help in investigating the problem further.

To be able to understand the factors that contribute to noise issues of this sort, the designer must have a good understanding of how and why sound is generated within a ventilation system, and how it can be controlled. The designer cannot trust computer models blindly, and will be better able to diagnose noise problems by understanding the basics of acoustics.

The presented results include the measured sound levels, the airflows of terminal devices and the computer-based model of the system. Also included is an Excel spreadsheet that was created as a research aid. The spreadsheet calculates and visualizes sound levels, and some room acoustical parameters based on measurements.

Keywords: ventilation, air-conditioning, noise, sound, acoustics

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 KESKEISET AKUSTISET KÄSITTEET JA SUUREET	8
2.1 Ääni, ilmaääni ja runkoääni	8
2.2 Äänenpaine ja äänenpainetaso	8
2.3 Taajuuskaistat ja A-painotus	9
2.4 Melulukäyrät ja A-käyrä	11
2.5 Ääniteho ja äänitehotaso	12
2.6 Keskiäänitaso ja enimmäisäänitaso	13
2.7 Absorptiosuhde ja absorptioala	14
2.8 Jälkikaiunta-aika	14
2.9 Huonevaimennus ja kaiuntasäde	15
3 ILMASTOINTILAITOKSEN ÄÄNILÄHTEET	17
3.1 Puhaltimet	18
3.2 Virtausääni	19
3.3 Ilmastointilaitoksen äänenvaimennus	20
3.3.1 Äänenvaimentimet	21
3.3.2 Rajataajuus	21
3.3.3 Kanavan haaroittumisesta syntyvä vaimennus	21
3.3.4 Päätelaitteiden vaimennus	22
3.3.5 Huonevaimennus	22
4 MÄÄRÄYKSET, OHJEARVOT, ASETUKSET JA SUOSITUKSET	23
4.1 Äänitasoja koskevat määräykset ja ohjearvot	23
4.1.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma	23
4.1.2 Asumisterveysasetus	24
4.1.3 SFS-standardi 5907	24
4.1.4 RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008	24
4.2 Jälkikaiunta-aikaa koskevat ohjearvot ja suositukset	25
4.2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma	25
4.2.2 SFS-standardi 5907 Rakennusten akustinen luokitus	25

4.2.3	RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008	25
5	KOEKOHDDE	26
5.1	Ilmastointilaitos.....	26
5.2	Lähtötiedot	26
6	MITTAUKSET	28
6.1	Ilmavirtamittaukset	28
6.1.1	Mittauskohteet	28
6.1.2	Mittausmenetelmä	28
6.1.3	Mittausepävarmuus	30
6.1.4	Mittaustulokset.....	31
6.2	Äänitasomittaukset	32
6.3	Jälkikaiunta-aikamittaukset	33
6.3.1	Mittauskohteet	33
6.3.2	Mittausmenetelmä	33
7	ILMASTOINTILAITOKSEN MALLINTAMINEN MAGICADILLA	35
8	MITTAUSTEN JA MALLINNUKSEN TULOKSET	38
8.1	Äänimittausten tulokset	38
8.1.1	Jälkikaiunta-aikamittaukset.....	38
8.1.2	Mitattujen äänitasojen taajuusjakaumat.....	39
8.1.3	Ilmastointilaitoksen aiheuttamat äänitasot opetustiloissa	40
8.1.4	Äänitasojen tarkastelu A-käyrästäön avulla.....	41
8.1.5	Huonevaimennus.....	42
8.1.6	Päätelaitteiden äänitasojen perustella arvioitava huonetilan äänitaso.....	43
8.2	MagiCAD-mallinnuksen tulos	44
9	YHTEENVETO	45
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	50

1 JOHDANTO

Ilmastoinnin äänitekniikka on käytännöllistä akustiikkaa ja keskeinen osa sisäilmaston suunnittelua. Ilmastointilaitos vaikuttaa rakennuksen ääniolosuhteisiin monin tavoin: ilmanvaihtokoneen puhaltimien tai muiden laitteiden tuottama ääni voi siirtyä kanavistoa pitkin huonetiloihin, ilman virtaus kanavissa ja sen laitteissa aiheuttaa aina ääntä, ja ääntä voi myös kantautua kanavien kautta huonetilasta toiseen. (Halme – Seppänen 2002, 2–3.)

Ilmastointilaitoksen ääniteknisen suunnittelun yhtenä tavoitteena onkin häiritsevien äänten vaimentaminen siten, että eri tiloissa ja ympäristöissä saavutetaan hyväksyttävät äänitasot. Opetustiloissa korkeat äänitasot voivat vaikeuttaa puheen ymmärtämistä ja häiritä keskittymistä, ja ne voivat vaikuttaa opettajan äänenkäyttöön ja äänen rasittumiseen. Tähän vaikuttavat keskeisesti LVIS-laitteiden (tyypillisesti nimenomaan ilmastointilaitoksen) aiheuttamat äänitasot sekä tilojen huoneakustiset ominaisuudet.

Toisena suunnittelun tavoitteena on estää kanavien ja läpivientien välityksellä tapahtuva äänen siirtyminen, jotta vaadittu ääneneristys huonetilojen välillä saavutetaan. Toisista tiloista kantautuva ääni aiheuttaa haittaa sekä voimakkuutensa että informaatioisältönsä vuoksi. (Halme – Seppänen 2002, 3; RIL-243-2-2007. 2007, 7, 14.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmastointilaitoksen opetustiloihin aiheuttamat korkeiksi arvioidut äänitasot, tutkia äänitasoja ja ilmastointilaitoksen ominaisuuksia MagiCAD-mallinnuksen avulla ja esittää korjausehdotuksia tilanteen parantamiseksi. Myöhemmin työhön sisällytettiin vielä päätelaitteiden ilma-
virtojen mittaaminen. Työssä perehdytään myös keskeisiin ilmastoinnin äänitekniikkaan ja huoneakustiikkaan liittyviin käsitteisiin.

2 KESKEISET AKUSTISET KÄSITTEET JA SUUREET

2.1 Ääni, ilmaääni ja runkoääni

Ääni on ilmanpaineessa tapahtuvaa vaihtelua staattiseen ilmanpaineeseen nähden, ja se tarvitsee edetäkseen väliaineen; ääni ei etene tyhjiössä. Äänellä tarkoitetaan myös kuulohavaintoa, joka syntyy, kun ilmanpaineen vaihtelu saa korvan tärykalvon värähtelemään. Värähtelevä kappale saa ympäristössään aikaan ilman tihentymiä ja harventumia, ja ääni etenee pitkittäisaaltona äänilähteestä ympäristöön. Jos värähtely on tiheää eli taajuudeltaan suurta, aistitaan ääni korkeana, ja jos värähtely on harvaa eli taajuudeltaan pientä, aistitaan ääni matalana. (Halme – Seppänen 2002, 5; RIL-243-1-2007. 2007, 35–36.)

Ilmassa etenevää ääntä nimitetään akustiikassa ilmaääneksi. Etenemisen väliaineena voi olla myös kiinteä aine – esimerkiksi rakennuksen runkorakenteet – jolloin ääntä nimitetään runkoääneksi. Runkoäänen vaikutuksesta värähtelevä rakenne saa myös ympäristönsä ilman värähtelemään, jolloin syntyy edelleen ilmaääntä. Runkoääntä voi syntyä paitsi ilmaäänen vaikutuksesta, myös rakenteeseen kohdistuvista iskuista tai rakenteeseen kiinnitetyn värähtelevän laitteen vuoksi. LVIS-laitteista esimerkiksi vesi- ja viemärilaitteet voivat synnyttää runkoääntä. (RIL-243-1-2007. 2007, 36.)

2.2 Äänenpaine ja äänenpainetaso

Äänenä aistittavasta ilmanpaineen muutoksesta käytetään nimitystä äänenpaine p [Pa]. Ilmakehän staattinen paine on noin 100 kPa, ja siihen verrattuna äänenpaineet ovat varsin pieniä: kipuaistimus syntyy, kun äänenpaine on noin 20 Pa, ja kuulokynnyksen ylittävä äänenpaine noin 1000 Hz:n taajuudella on 20 μ Pa. Viimeksi mainittua arvoa käytetään äänenpaineen voimakkuutta kuvaavan äänenpainetason L_p [dB] määrittelyssä. Äänenpainetaso saadaan äänenpaineen p ja äänenpaineen vertailuarvon p_0 avulla kaavalla 1. (Halme – Seppänen 2002, 9; RIL-243-1-2007. 2007, 36.)

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

KAAVA 1

p = tarkasteltava äänenpaine (Pa)

p_0 = äänenpaineen vertailuarvo $20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

Desibeliasteikon logaritmisuus on otettava huomioon äänitasojen vertailussa. Usean äänilähteen tuottama äänenpainetaso $L_{p,tot}$ lasketaan kaavalla 2. (RIL-243-1-2007. 2007, 37.)

$$L_{p,tot} = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}$$

KAAVA 2

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

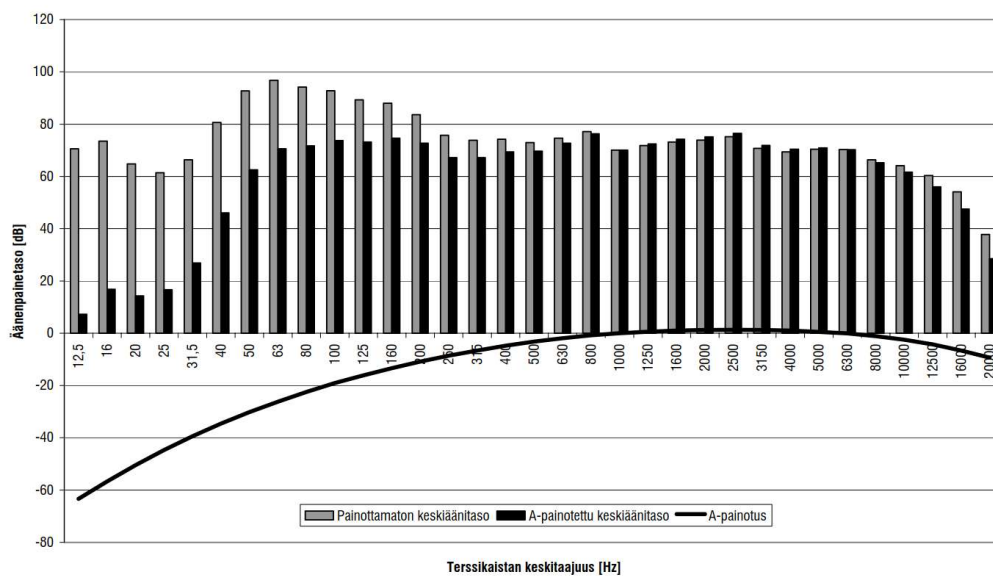
n = äänilähteiden määrä.

2.3 Taajuuskaistat ja A-painotus

Äänilähteiden tuottamat äänenpainetasot vaihtelevat eri taajuuksilla. Akustikassa äänen spektri jaetaan taajuuskaistoihin, ja sovellutuksesta riippuen käytetään joko oktaavi- tai kolmasosaoktaavikaistoja. LVIS-tekniikassa käytetään yleisesti oktaavikaistoja, kun taas esimerkiksi rakenteiden ääneneristysmittauksissa käytetään kolmasosaoktaavi- eli terssikaistoja. Kuuloaistin logaritmiset ominaisuudet ovat paitsi äänenpainetason myös taajuuskaistojen määrittelyn taustalla: tapa ilmoittaa taajuusalueet oktaaveina on kaksikantaisen logaritmin mukainen. Suhteellinen muutos taajuudessa koetaan siten aina yhtä suurena, vaikka taajuuksien erotus hertseinä kasvaa jokaisen muutoksen yhteydessä; yhden oktaavin suuruinen taajuuden nousu tarkoittaa taajuuden kaksinkertaistumista, ja kahden oktaavin nousu taajuuden nelinkertaistumista. (Halme – Seppänen 2002, 9; RIL-243-1-2007. 2007, 38–39)

Ihmisen kuuloaisti on herkimmillään taajuusalueella 2000–5000 Hz, ja molemmiin puolin tätä taajuusaluetta herkkyys alenee: jonkin verran sen yläpuolella ja huo-

mattavasti sen alapuolella. Tämä kuuloaistin ominaisuus huomioidaan käyttämällä äänitasojen tarkastelussa A-painotusta. Kun tiedetään painottamattomat äänitasot terssi- tai oktaavikaistoittain, voidaan A-painotetut äänitasot laskea muuttamalla kunkin kaistan arvoa painotuksen mukaisella määrällä. Kun A-painotuksella korjatut taajuuskaistakohtaiset äänitasot lasketaan logaritmisesti yhteen kaavalla 2, saadaan tulokseksi A-painotettu äänitaso. (Halme – Seppänen 2002, 11, 13; RIL-243-1-2007. 2007, 31.) Kuvassa 1 esitetään A-painotuskäyrä ja sen vaikutus terssikaistaisiin painottamattomiin keskiäänitasoihin.



KUVA 1. A-painotus ottaa huomioon kuuloaistin herkkyyden vähentämällä terssikaistaisesta mittaustuloksesta matalien ja korkeiden taajuuksien vaikutusta. Äänitaso on A-painotettuna 86 dB ja painottamattomana 101 dB. (RIL-243-1-2007. 2007, 39.)

A-painotuksen lisäksi on olemassa C-, B-, ja D-taajuuspainotukset, mutta LVIS-tekniikassa käytetään lähes yksinomaan A-painotusta. Jos äänitasoja ei taajuuspainoteta, puhutaan Z-painotuksesta (zero weighting). Mittaukset tehdään äänitasomittareilla, jotka mittaavat äänitason koko kuuloalueelta 20–20 000 Hz, mutta nykyisin laitteiden äänitiedot ja materiaalien ominaisuudet ilmoitetaan yleensä oktaavikaistojen keskitäajuuksilla 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz ja 4000 Hz. Terssikaistoittain mitatut äänenpainetasot muunnetaan oktaavikaistaisiksi äänenpainetasoiksi laskemalla logaritmisesti yhteen oktaavikaistan

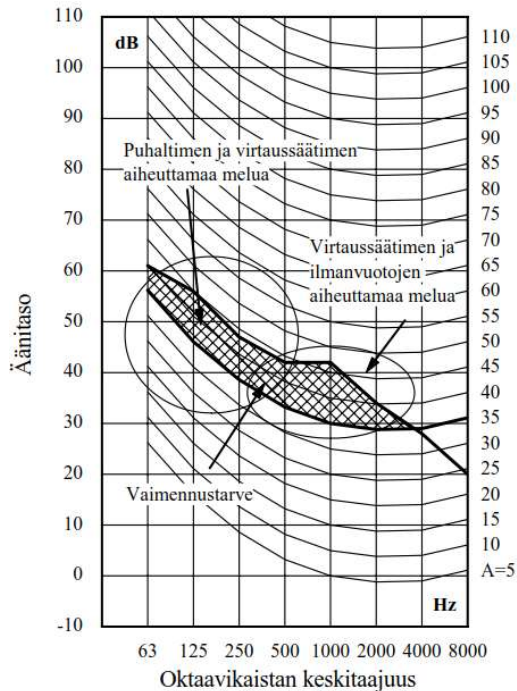
keskitaajuutta vastaavan terssikaistan ja sen vierekkäisten terssikaistojen äänenpainetasot. (RIL-243-1-2007. 2007, 39)

2.4 Melulukäyrät ja A-käyrä

Taajuuspainotuksen ohella voidaan äänitekniikassa käyttää melulukäyriä, kun halutaan kuvata jonkin äänen koettua voimakkuutta. Melukäyrät ottavat likimäärin, mutta riittävän tarkasti huomioon kuuloaistin ominaisuudet. NR-käyrät (noise rating) ovat ISO-standardin mukaisia käyriä, joiden edustama meluluku (NR-arvo) kertoo mitatun äänen voimakkuudesta. (Halme – Seppänen 2002, 11.)

Äänilähteiden tarkastelussa voidaan hyödyntää erilaisia melukäyriä. Ilmastointilaitoksen aiheuttaman melun tarkasteluun soveltuu hyvin käännteinen A-painotuskäyrä, jota on korjattu eri taajuuksilla 5 dB. Kun ilmastoinnin aiheuttamat oktaavikaistaiset painottamattomat äänitasot on selvitetty, niiden esittäminen A-käyrästä havainnollistaa hyvin, mitkä oktaavikaistat vaikuttavat eniten mitattuun A-äänitasoon ja kuinka suuri on äänenvaimennustarve suurimpaan sallittuun keskiäänitasoon nähden (kuva 2). (Laine 2017.) Tätä käyrää voidaan verrata kuvassa 3 esitettyihin ilmastointilaitoksen tyyppillisten äänilähteiden taajuusalueisiin, jolloin voidaan saada lisätietoa ääniongelman aiheuttajasta.

Jos suurin sallittu äänitaso olisi 30 dB, tarkasteltaisiin A = 30 -käyrän yläpuolista osuutta, ja jos sallittaisiin vain 25 dB:n äänitaso, tarkastelun kohteena olisi A = 25 -käyrän yläpuolinen osuus. Kuvan 2 käyrät on esitetty 5 dB:n välein, mutta mikä tahansa A-käyrä voidaan määrittää interpoloimalla.



KUVA 2. Oktaavikaistaisten äänenpainetasojen käyrä A-käyrästöllä. Suurin sallittu A-painotettu äänitaso on tässä 35 dB. Mitattujen äänitasojen käyrä ylittää käyrän A = 45, joten A-painotetun kokonaisäänitason voidaan arvioida olevan noin 45 dB.

2.5 Ääniteho ja äänitehotaso

Ääniteho W [W] on laitteen ympäristöönsä tuottama kokonaisäänienergia sekuntia kohti. Kuulokynnystä vastaava äänitehon suuruus W_0 on 1 pW. Kun jonkin laitteen synnyttämä äänenpaine riippuu tarkasteluetaisyydestä ja ympäristön ominaisuuksista (esimerkiksi huoneen kaiunnasta), on ääniteho laitteen ominaisuus eikä sen perusteella voi suoraan päätellä, kuinka suuren äänenpaineen se jossain tietyssä tilassa tuottaa tai millaisen kuuloaistimuksen se saa aikaan. Kun äänilähteen tuottamaan äänenpainetasoon vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi mittausetäisyys ja huoneen absorptioala, eivät nämä tekijät vaikuta äänilähteen äänitehoon. (RIL-243-1-2007. 2007,41-42.)

Äänitehotaso L_w [dB] ilmoitetaan yleensä oktaavikaistoittain. Ääniteho muutetaan äänitehotasoksi kaavalla 3. (RIL 243-1-2007. 2007, 42.)

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

KAAVA 3

$$W_0 = 1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$$

2.6 Keskiäänitaso ja enimmäisäänitaso

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on määritelty LVIS-laitteiden tuottamien äänitasojen ohjearvoiksi A-taajuuspainotettu keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ ja A-taajuuspainotettu enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ (D2 (2012). 2011, 24). Keskiäänitaso tarkoittaa jatkuvaa äänitason, jonka tehollisarvo on sama kuin vaihtelevan äänitason tehollisarvo tietyllä mittausaikavälillä T . Keskiäänitason tarkka määrittäminen edellyttää jatkuvaa mittaustapahtumaa integroivalla äänitasomittarilla ajan T kuluessa. Mikäli pitkäkestoiseen mittaukseen ei ole mahdollisuutta, pitää keskiäänitason arvioida lyhytkestoisten mittausten perusteella siten, että koko tarkasteluaika T tulee katetuksi. Keskiäänitaso voidaan laskea hetkellisistä äänitasoista $L_{A,i}$ sekä niiden kestoajoista T_i kaavalla 4. (RIL-234-2-2007. 2007, 40–41.)

$$L_{A,eq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_i T_i \cdot 10^{L_{A,i}/10} \right]$$

KAAVA 4

$L_{A,eq}$ = keskiäänitaso (dB)

T_i = äänen kesto aika aikayksikössä

T = koko tarkasteluaika aikayksikössä.

Enimmäisäänitaso mitataan aikapainotuksella F (fast), jota käytettäessä äänitasomittari mittaa keskiäänitason 250 ms:n pituisissa jaksoissa. Tämä mittaustapa kuvaa hyvin kuuloaistin tapaa arvioida lyhytkestoisten äänten voimakkuutta. Vaihtelevaa ääntä tuottavan äänilähteen enimmäisäänitaso on suurin mitattu mitausajanjakson kuluessa havaittu hetkellinen äänitaso. (RIL-243-1-2007. 2007, 41.)

2.7 Absorptiosuhde ja absorptioala

Materiaalin kyky vaimentaa eli absorboida ääntä ilmoitetaan absorptiosuhteena. Se voi saada arvoja välillä 0...1, ja sen arvo riippuu voimakkaasti taajuudesta. Kun absorptiosuhde on 1, absorboi materiaali kaiken sen pintaan kohdistuneen äänienergian. Kun absorptiosuhde on 0, heijastuu kaikki materiaaliin kohdistuva äänienergia takaisin huonetilaan. Absorptioala puolestaan kertoo huoneessa olevan ääntä vaimentavan materiaalin kokonaismäärän neliömetreinä, ja sen yksikönä käytetään merkintää m^2 tai m^2 -Sab. Absorptioalan määritelmä tarkoittaa nimellisesti sellaisen materiaalin pinta-alaa, jonka absorptiosuhde on 1 kaikilla taajuuksilla. Äänen absorptiota tarkastellaan pääasiassa vain huonetilan pinta-materiaalien osalta, vaikka esimerkiksi ihmisen absorptioalan voidaan sanoa olevan noin 0,8 m^2 . (RIL-243-1-2007. 2007, 46–47,49,167; Huoneakustiikka, 2009, 3.)

2.8 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika T [s] kuvaa, kuinka nopeasti äänilähteen tilaan synnyttämä äänenpainetaso laskee 60 dB, kun äänilähde mykistetään. Jälkikaiunta-aika riippuu huoneen tilavuudesta, kokonaisabsorptiosta ja absorptiomateriaalin sijoittelusta. Jos huoneen pinnat ovat kovia ja ääntä heijastavia, on jälkikaiunta-aika pidempi kuin sellaisessa huoneessa, jossa on runsaasti ääntä absorboivaa materiaalia. Jälkikaiunta-aika pitenee huoneen tilavuuden kasvaessa ja lyhenee absorptioalaa lisättäessä.

Puhe- ja muissa esiintymistiloissa jälkikaiunta-ajan lyhentäminen parantaa ääniolosuhteita tiettyyn rajaan asti. Liian suuren absorptioalan takia puheen äänitaso voi laskea taustamelun tasolle, mikä vaikeuttaa puheen erottumista. Jälkikaiunta-aikaa tarkastellaan oktaavikaistoittain, mutta kun se esitetään yhdellä luvulla, tarkoitetaan sillä yleensä jälkikaiunta-aikaa oktaavikaistalla, jonka keskitajuus on 500 Hz. Jälkikaiunta-ajan mittaustapa on esitetty standardissa ISO 3382. (RIL-243-1-2007. 2007, 50; Huoneakustiikka, 2009, 3.)

Diffuusi äänikenttä tarkoittaa, että kaikkialla huoneessa vallitsee sama äänenpainetaso. Tämä on mahdollista jos huone on kovapintainen ja kuutiomainen, ja sen mitat ovat merkittävästi tarkasteltavaa aallonpituutta suuremmat. Kun huoneen äänikenttä on diffuusi, voidaan jälkikaiunta-aika laskea Sabine kaavalla (kaava 5).

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

KAAVA 5

T = jälkikaiunta-aika (s)

V = huoneen tilavuus (m^3)

A = absorptioala (m^2)

Sabine kaavaa voidaan soveltaa riittävällä tarkkuudella suurimassa osassa huone-tiloja, mutta suurten, voimakkaasti absorboivien tilojen absorptioalan arviointiin se ei sovellu. (RIL-243-1-2007. 2007, 50.)

2.9 Huonevaimennus ja kaiuntasäde

Huonevaimennuksella tarkoitetaan absorptioalan vaikutusta äänilähteen tuottamaan äänenpainetasoon. Jos huoneen absorptioala on enemmän kuin $4 m^2$ -Sab, syntyy huonevaimennus. Laittevalmistajat ilmoittavat äänitasot yleensä normalisoituna absorptioalalle $10 m^2$ -Sab, joka tarkoittaa noin 4 dB:n huonevaimennusta. Kun huoneen jälkikaiunta-aika ja tilavuus tunnetaan, voidaan diffuusissa kentässä syntyvä huonevaimennus D_{huone} [dB] laskea kaavalla 6. (Halme – Seppänen 2002, 21.)

$$D_{huone}=10 \log_{10} \left(\frac{0,16V}{4T'} \right)$$

KAAVA 6

V = huoneen tilavuus (m^3)

T' = jälkikaiunta-aika oktaavikaistalla (s)

Jos huoneen absorptioala tiedetään, voidaan huonevaimennus laskea kaavalla 7 (RIL-243-1-2007. 2007, 52, 179).

$$D_{huone} = 10 \log_{10} \left(\frac{A'}{4} \right)$$

KAAVA 7

missä

A' = huoneen absorptioala oktaavikaistalla (m^2)

Kaiuntasäteellä r_k [m] tarkoitetaan sitä etäisyyttä, millä äänilähteen tuottama äänitaso saavuttaa tietyn vakiotason. Huoneessa, jonka äänikenttä on diffuusi, voi kaiuntasädettä arvioida kaavalla 8. (RIL-243-1-2007. 2007, 44).

$$r_k = \sqrt{\frac{kA}{4\Omega}}$$

KAAVA 8

k = suuntakerroin (Päätelaitteiden suuntaavuustietoja ei useinkaan ole saatavilla, vaan niitä käsitellään suhteellisen pienen kokonsa vuoksi pistemäisinä äänilähteinä, jolloin $k = 1$. Erikokoisten ja –muotoisten aukkojen suuntakertoimia on annettu alan kirjallisuudessa.)

A = absorptioala (m^2)

Ω = avaruuskulma (jos äänilähde sijaitsee tasopinnalla, niin $\Omega = 2\pi$)

Edelleen, jos huoneen äänikenttä on diffuusi, voidaan äänilähteen tuottamaa äänitason L_p etäisyydellä r [m] arvioida kaavalla 9 (RIL-243-1-2007. 2007, 52–53).

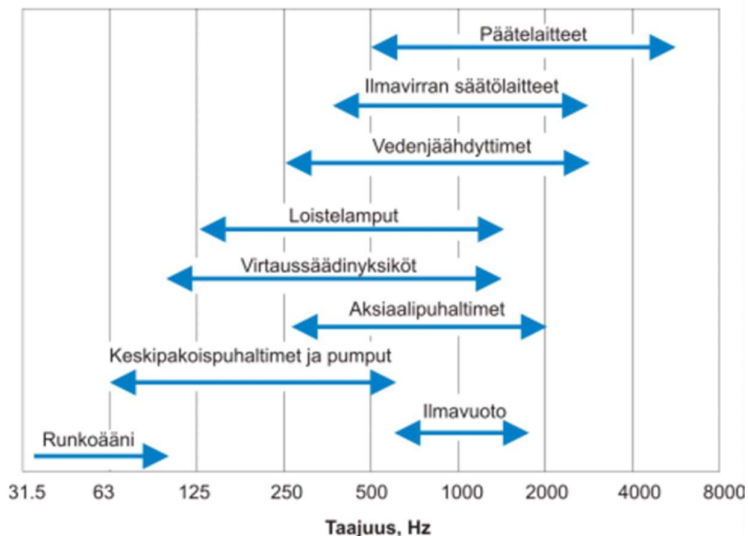
$$L_p = L_W + 10 \log_{10} \left[\frac{k}{\Omega r^2} + \frac{4}{A} \right]$$

KAAVA 9

3 ILMASTOINTILAITOKSEN ÄÄNILÄHTEET

Ilmastointilaitoksen äänilähteet voidaan jaotella kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat erilaiset koneet, kuten puhaltimet, pumput, lauhduttimet ja moottorit. Toisen ryhmään kuuluu ilman virtauksen synnyttämä ääni, esimerkiksi ilmakehien sekä pääte- ja säätölaitteiden kehittämä virtausmelu. Näiden pääasiallisten äänilähteiden lisäksi kanavistossa voi kulkeutua ympäristömelua (esimerkiksi liikennemelua) tai ääntä huonetilojen välillä, jolloin on tarpeellista tarkastella ilmakehien ääneneristävyyttä. Myös huonosti tiivistetyt kanavaläpiviennit voivat aiheuttaa äänen siirtymistä tilojen välillä. Vuotoilmavirta, joka johtuu kanavien tiivysongelmista, on myös potentiaalinen ilmaäänien aiheuttaja. (Halme – Seppänen 2002, 41; RIL-243-1-2007. 2007, 177.)

Kuvassa 3 on esitetty ilmastointilaitoksen äänilähteiden tyypillisiä äänitaajuuksia huonetilaan. Koska taajuusalueet ovat osin päällekkäisiä, ei pelkän huonetilassa mitatun äänen taajuusjakauman perusteella voi yksiselitteisesti määrittää äänihaitan syytä.



KUVA 3. Ilmastointilaitoksen äänilähteiden tyypillisiä taajuusalueita (Laine, 2017)

Ilmastointilaitoksen äänitekniistä suunnittelua varten tarvitaan tiedot laitteiden tuottamista äänitehotasoista oktaavikaistoittain ilmoitettuna, ja äänilaskelmissa

tutkitaan pääasiassa kanavistoissa vallitsevaa äänitehotasoa. Laskelmien loppu- tulos ilmoitetaan huoneeseen syntyvänä A-painotettuna kokonaisäänitasona tai äänenpainetasoina L_p oktaavikaistoittain. (Halme – Seppänen 2002, 41; RIL-243- 1-2007. 2007, 177, 179.)

Tässä työssä käsitellään ilmanvaihtokoneen osalta kuitenkin ainoastaan puhalti- mien synnyttämää ääntä. Muiden ääntä tuottavien laitteiden (esim. pumppujen) merkitys huonetiloihin syntyviin äänitasoihin arvioitiin vähäiseksi. MagiCADin ää- nilaskentaa varten tarvitaan puhaltimien kanavistoon syöttämät äänitehotasot ok- taavikaistoittain. Ilmanvaihtokonehuoneen äänitason vaikutusta kanavaseinä- mien läpi kanavien sisäpuolisiin äänitehotasoihin ei ole otettu huomioon, vaikka joissain tilanteissa sillä on merkitystä; pienitaajuinen ääni siirtyy helposti varsinkin suorakaidekanavan seinämän läpi. (Halme – Seppänen 2002, 28.)

3.1 Puhaltimet

Puhallin on merkittävin yksittäinen ilmastointilaitteiston äänilähde, jonka äänen- tuottoon vaikuttavat mm. puhaltimen tyyppi, siipipyörän muotoilu ja asennustapa. Puhaltimen kehittämä virtaus ei koskaan ole laminaarista, ja pyörteilyn synnyttä- mät painevaihtelut synnyttävät ääntä. Puhaltimen hyötysuhde on huono, jos vir- taus on hyvin pyörteinen, ja puhaltimen synnyttämä ääniteho onkin yleensä pie- nimillään puhaltimen maksimihyötysuhteen kohdalla. Puhallintyyppi ja pyöri- misnopeus määrittävät sen, miten ääniteho jakautuu eri taajuuskaistoille. Esimer- kiksi keskipakoispuhaltimien nk. siipitaajuus syntyy, kun siipipyörän siipi ohittaa puhaltimen kaavun lähimmän kohdan. Tämä taajuus havaitaan usein ääneksenä eli sinimuotoisena värähtelynä, jonka taajuus määräytyy kaavasta 10. (Halme – Seppänen 2002, 48–49.)

$$f = nk$$

KAAVA 10

f = siipitaajuus (Hz)

n = puhaltimen pyörimisnopeus (1/s)

k = siipipyörän siipien lukumäärä.

Puhaltimen ääniteho etenee imukanavaan, painekanavaan ja koneen vaipan läpi ympäristöön. Tuloilmapuhaltimen ääni siirtyy ulkoilmakanavaan ja tuloilmakanavaan ja poistoilmapuhaltimen ääni poistoilmakanavaan ja jäteilmakanavaan. Tyypillisesti puhallinäänen vaimentaminen hallitaan äänenvaimentimilla ja päätelaitteiden päätevaimennuksella. Puhaltimet synnyttävät myös runkoääntä, joka voi siirtyä rakennuksen runkoon ja kanavien seinämää pitkin huonetiloihin. (Halme – Seppänen 2002, 41, 45; RIL-243-1-2007. 2007, 177, 195.)

3.2 Virtausääni

Kaikki kanaviston osat ja laitteet tuottavat painehäviöitä ja ääntä – myös äänenvaimentimet. Kuten aiemmin todettiin, turbulenttinen virtaus kanavassa synnyttää aina ääntä. Suorassa kanavassa esteettömän virtauksen pyörteisyys on suhteellisen vähäistä, jolloin ääniteho on verrannollinen virtausnopeuden v [dm³/s] viidenteen potenssiin (kaavassa 11 virtausnopeuden v eksponentti $n = 5$. Esimerkiksi säätö- ja päätelaitteissa, mutkissa, haaroissa ja kuristuskohdissa virtauksen nopeus muuttuu, ja syntyvä ääniteho on verrannollinen virtausnopeuden kuudenteen potenssiin (jolloin $n = 6$). Virtauksessa syntyvää äänitehotason kasvua voidaan arvioida kaavalla 11. (Halme – Seppänen 2002, 52; RIL-243-1-2007. 2007, 206).

$$\Delta L_w = 10 \log_{10} S + 10 \log_{10} v^n$$

KAAVA 11

S = virtauksen poikkileikkauksen pinta-ala (m²)

v = ilmavirran nopeus (m/s)

n = kokonaisluku, joka ilmoittaa miten syntyvä äänitehotaso on verrannollinen virtausnopeuteen.

Virtausnopeuden vaikutusta äänitehotasoon voi havainnollistaa kaavan 11 mukaisella esimerkillä: Jos virtauksen nopeus v kaksinkertaistuu ja sen pinta-ala S ei muutu, kasvaa tilavuusvirta kaksinkertaiseksi ja virtauksen aiheuttama äänitehotaso nousee noin 15 - 18 dB. Jos pinta-ala S kaksinkertaistuu ja virtausnopeus v ei muutu, kasvaa tilavuusvirta myös tässä tapauksessa kaksinkertaiseksi mutta äänitehotaso nousee vain 3 dB. (RIL-243-1-2007. 2007, 206).

Taulukossa 1 on esitetty runkokanavien koon mukaiset suurimmat sallitut virtausnopeudet. Yksittäisen päätelaitteen kytkentäkanavan virtausnopeus tulisi aina olla alle 2 m/s. Tällöin virtausnopeus ja painehäviö eivät yleensä aiheuta ääniongelmia. (LVI 30-10333, 9.)

TAULUKKO 1. Suurimmat sallitut virtausnopeudet runkokanavissa suunnitelluilla ilmavirroilla (LVI 30-10333, 9)

Runkokanavan koko Ø	Ilman nopeus 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

3.3 Ilmastointilaitoksen äänenvaimennus

Ilmastointilaitoksen äänenvaimennuksen tärkeimmät komponentit ovat äänenvaimentimet, päätelaitteiden vaimennus sekä huonevaimennus. Myös kanava-
haarojen vaimennuksen määrä suuressa ilmastointilaitoksessa voi olla kymmeniä desibelejä, jos kanavien poikkipinta-alojen muutokset eivät ole rajuja ja jos haaroittuvien kanavien koot valitaan, kuten luvussa 3.3.3 on esitetty. Kanavien poikkipinta-alan muutokset sekä suoran kanavan ja mutkien vaimennus vaikuttavat myös äänenvaimennukseen, mutta käytännön suunnittelutyössä ne jätetään usein varmuusvaraksi tai huomioimatta. (RIL-243-1-2007. 2007, 182, 187, 189–190, 195.)

3.3.1 Äänenvaimentimet

Puhallinäänestä merkittävä osa saadaan yleensä vaimennettua koneen primääriäänenvaimentimilla. Ne ovat tyypillisesti lamellivaimentimia, joissa ilma kulkee absorboivien levyjen välissä. Jos primääriäänenvaimentimilla ja päätelaitevalinnoilla ei vielä saavuteta riittävää äänenvaimennusta, käytetään kanavaäänenvaimentimia eli sekundääriäänenvaimentimia. Sekä primääri- että sekundääriäänenvaimentimet ovat tyypillisesti absorptiovaimentimia, joiden äänenvaimennuskyky perustuu huokoisen vaimennusmateriaalin käyttöön. Suoran äänenvaimentimen vaimennuksen muodostuminen riippuu paitsi sen materiaaleista, myös sen geometriasta ja pituudesta. (RIL-243-1-2007. 2007, 197, 199.)

3.3.2 Rajataajuus

Kanavaosien äänenvaimennusominaisuudet vaihtelevat paljon eri taajuuksilla. Kanavan fyysisistä mittasuhteista johtuva rajataajuus määrää, millä tavalla ääniaallot kanavan sisäpuolella käyttäytyvät. Rajataajuuden alapuolella esiintyy ainoastaan kanavan suuntainen tasoaalto, eikä lainkaan poikittaisia aaltoja, ja rajataajuuden yläpuolella esiintyy tasoallon lisäksi poikittaisia aaltoja. Äänen käyttäytyminen on siis rajataajuuden yläpuolella monimutkaisempaa. Rajataajuus lasketaan kaavalla 12. (RIL-243-1-2007. 2007, 179.)

$$f_c = \frac{c_0}{2d}$$

KAAVA 12

c_0 = äänen nopeus (m/s)

d = kanavan poikki­pinnan suurin dimensio (m).

3.3.3 Kanavan haaroittumisesta syntyvä vaimennus

Jos kanavan haaroituessa tulevan kanavan poikkipinta-ala S_1 on likimain yhtä suuri kuin siitä haaroittuvien kanavien yhteenlasketut poikkipinta-alat S_2 ja S_3 , voidaan rajataajuudesta riippumatta käyttää kaavaa 13.

$$D_{haara} = 10 \log_{10} \left(\frac{S_2 + S_3}{S_2} \right) \text{ dB}$$

KAAVA 13

kun $S_1 \approx S_2 + S_3$.

Tämä ehto toteutuu varsin usein. Muissa tapauksissa on käytettävä tarkempia pinta-alan muutoksen ja rajataajuuden huomioon ottavia kaavoja haaravaimennuksen selvittämiseksi. (RIL-243-1-2007. 2007, 187–188.)

3.3.4 Päätelaitteiden vaimennus

Virtauksen poikkipinta-ala muuttuu paljon, kun virtaus kohtaa päätelaitteen, ja osa kanavassa siirtyvästä äänienergiasta heijastuu takaisin tulosuuntaansa. Rajataajuutta suuremmat taajuudet (korkeat äänet) heijastuvat voimakkaammin kuin pienet taajuudet (matalat äänet). Tavallisesti päätelaitteen vaimennukseksi ilmoitetaan kanavan sisäpuolisen äänitehotason L_w ja huoneessa vallitsevan äänenpainetaso L_p erotus, kun huonetilan absorptioala on $10 \text{ m}^2 - Sab$. Päätelaitteen ilmoitettu äänenvaimennus sisältää yleensä vastaavan vapaan kanavan päätevaimennuksen. (RIL-243-1-2007. 2007, 181–182.)

3.3.5 Huonevaimennus

Huonevaimennus vaikuttaa äänilähteen, esimerkiksi päätelaitteen, säteilemän äänitehon synnyttämään äänenpainetasoon. Päätelaittevalmistajat ilmoittavat yleensä tuotteidensa äänentuoton A-painotettuna äänitasona huoneessa, jonka absorptioala on $10 \text{ m}^2 - Sab$. Huonevaimennusta on käsitelty tarkemmin luvussa 2.8, mutta yksinkertaistettuna $10 \text{ m}^2 - Sab$ huonevaimennus tarkoittaa, että ilmoitettu päätelaitteen äänitaso L_{p10A} on noin 4 dB pienempi kuin sen tehotaso L_{WA} . (RIL-243-1-2007. 2007, 179.)

4 MÄÄRÄYKSET, OHJEARVOT, ASETUKSET JA SUOSITUKSET

4.1 Äänitasoja koskevat määräykset ja ohjearvot

Opetustiloja koskevia määräyksiä LVIS-laitteiden aiheuttamista äänitasoista annetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C1 ja äänitasoa koskevia ohjearvoja osassa D2. Tämän opinnäytetyön aiheena oleva ilmastointilaitos on otettu käyttöön vuonna 1999, joten äänitasojen tarkastelussa voitaisiin soveltaa niitä Suomen rakentamismääräyskokoelman osia C1 ja D2, jotka ovat olleet voimassa, kun rakennus- tai toimenpidelupaa on kohteelle haettu. Silloisen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan suurimmaksi sallituksi LVIS-laitteiden aiheuttamaksi äänitasoksi oli määritetty A-painotettu enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ aikapainotuksella fast (F). Nykyään voimassa olevan osan C1 vaatimus annetaan sekä keskiäänitasolle $L_{A,eq}$ ja enimmäisäänitasolle $L_{A,max}$. Tässä työssä äänitasojen tarkastelu tehdään kuitenkin nykyään voimassa olevan rakentamismääräyskokoelman mukaan. (C1 (1985). 1984, 5; C1 (1998). 1998, 7.)

4.1.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 "Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa" mukaan opetustiloissa suurin sallittu LVIS-laitteiden aiheuttama keskiäänitaso $L_{A,eq} = 33$ dB ja enimmäisäänitaso $L_{A,max} = 38$ dB. LVIS-laitteiksi on määritetty hissit, vesi- ja viemärlaitteet, kompressorit, ilmanvaihtolaitteet, jäähdytyslaitteet ja lämmityslaitteet. Näihin rinnastetaan myös keskuspölynimuri, mattoimuri ja talopesulan laitteet, kuten pesukoneet, lingot, kuivauspuhaltimet ja mankelit. (C1 (1998). 1998, 7.) Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 "Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto" annetut opetustiloja koskevat ohjearvot ovat samat kuin osassa C1. (C1 (1998). 1998, 26.)

4.1.2 Asumisterveysasetus

Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysasetuksen (annettu 23.4.2015) mukaan opetushuoneisto on ”huonetila, jossa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä”. Melun toimenpideraja päiväajan (klo 7–22) keskiäänitasolle $L_{A,eq}$ on 35 dB. (Asumisterveysasetus, 2015, 8.) Toimenpideraja ei koske yksin LVIS-laitteiden melua vaan kokonaismelua, joka sisältää mm. LVIS-laitteiden melun.

4.1.3 SFS-standardi 5907

SFS-standardi 5907 ”Rakennusten akustinen luokitus” ei ole määräys, vaan suositus joka on tarkoitettu opastavaksi asiakirjaksi, ja sen käyttö on vapaaehtoista. Standardin mukaan akustinen luokka C vastaa vähimmäistasoa ja rakentamismääräyskokoelmassa määriteltä tasoa niiltä osin kuin rakentamismääräyskokoelmassa on määräyksiä annettu. Luokan C opetustilassa suurimmat sallitut LVIS-laitteiden tuottamat äänitasot ovat Rakentamismääräyskokoelman osassa annettuja määräyksiä 33 / 38 dB ($L_{A,eq,T} / L_{A,max}$). (SFS 5907. 2004, 2,16.)

4.1.4 RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008

Sisäilmayhdistys ry:n ohjekortti Sisäilmastoluokitus 2008 (Sisäympäristön tavoittearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset) on ”tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun apuna, kun tavoitteena on rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia”. Luokitus ei kumoaa viranomais-säännöksiä ja niistä julkaistuja tulkintoja. Sisäilmastoluokituksen kaikissa laatu-luokissa on määriteltä LVIS-laitteiden aiheuttaman äänitason tavoittearvoksi $L_{A,eq} \leq 33$ dB. (RT 07-10946. 2008, 3, 7.)

4.2 Jälkikaiunta-aikaa koskevat ohjearvot ja suositukset

4.2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelma

Rakentamismääräyskokoelman osa C1 määrittelee luokkahuoneen tai vastaavan jälkikaiunta-ajan ohjeelliseksi enimmäisarvoksi 0,6 - 0,9 s. Jälkikaiunta-aika mitataan standardin ISO 3382 mukaisesti. Huomioon otetaan 500 Hz:n ja sitä suuremmat taajuudet. (C1 (1998). 1998, 6, 8)

4.2.2 SFS-standardi 5907 Rakennusten akustinen luokitus

SFS-standardi 5907 "Rakennusten akustinen luokitus" määrittelee jälkikaiunta-ajan raja-arvot pisimpinä sallittuina aikoina oktaavikaistoilla 250, 500, 1000, 2000 ja 4000 Hz. Akustisessa luokassa C koulujen luokkahuoneen jälkikaiunta-aika on 0,6–0,8 s, kun tilat on kalustettu kiintokalustein. Taajuudella 125 Hz raja-arvo voidaan ylittää 50 %. (SFS 5907. 2004, 16.)

4.2.3 RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008

Ohjekortissa on opetustilojen kaikissa laatuluokissa jälkikaiunta-ajan tavoitearvoksi määritely 0,6 - 0,8 s. Jälkikaiunta-aika on määritely oktaavikaistojen 250 - 4000 Hz jälkikaiunta-aikojen keskiarvoksi kalustetussa huoneessa. (RT 07-10946. 2008, 7.)

5 KOEKOHDE

5.1 Ilmastointilaitos

Tämän työn kohteena on Oulun ammattikorkeakoulun Kotkantien kampuksen C-siiven kolmatta kerrosta palveleva ilmanvaihtokone TK08 ja sen palvelualueen tilat. Ilmastointilaitos on otettu käyttöön vuonna 1999. Opetustiloja oli yhteensä kahdeksan, ja lisäksi koneen palvelualueeseen kuului useita työhuoneita, koko siiven pituinen käytävä ja opettajien taukotila. Kaikkien palvelualueen päätelaitteiden ilmavirrat mitattiin laitoksen mallintamista varten, mutta äänimittaukset tehtiin vain opetustiloissa.

5.2 Lähtötiedot

Ajantasapiirustukset oli päivätty vuodelle 2013, mutta ilmeisesti tämän koneen palvelualueen kanavistoon ei muutoksia ole juuri tehty sen valmistumisen jälkeen. Piirustuksissa on esitetty kanaviston lisäksi päätelaitteiden tyypit, koot, ja suunnitellut ilmavirrat. Koneen valmistajalla ei ollut enää tallessa liki 20 vuoden takaisia mitoitusraportteja, mutta Oulun seudun koulutuskuntayhtymän arkistosta löytyi huoltokirja, johon kyseiset dokumentit oli liitetty. Myös pääte- ja säätölaitteiden tiedot olivat huoltokirjassa, mutta painehäviölaskelmia tai säätö- ja mitauspöytäkirjoja ei löytynyt. Ilmavirtojen mittaaminen oli ainoa keino päästä mallintamisesta eteenpäin, kun kanavisto oli piirretty alkuperäisen piirustuksen mukaisesti.

Ilmanvaihtokoneen mitoitusraportissa on ilmoitettu äänitehotasot vain puhaltimien mitoituksen mukaisissa toimintapisteissä (liite 1). Todelliset ilmavirrat olivat kuitenkin mainittuja mitoitusilmavirtoja pienemmät. Kun kone ohjattiin ohjelmoinnissa määritellylle täysteholle valvonta-alakeskuksesta (tämä vastasi todellista käyttötilannetta, jota käsitellään luvussa 6), olivat taajuusmuuttajaohjattujen pu-

haltimien kierrosnopeudet noin 85 % maksimikierrosnopeudesta. Myös äänen-
tuoton voi olettaa olevan silloin vähäisempää kuin koneen mitoitusraportissa oli
ilmoitettu. Kanavistojen ilmavirrat olivat täysteholla mitattuina noin 4,2 m³/s ja ka-
navapaineet konehuoneessa hieman yli 300 Pa.

Usein ilmanvaihtokoneiden mitoitusraporteissa ilmoitetuissa äänitehotasoissa on
huomioitu integroitujen primääriäänenvaimentimien vaikutus. Tämän koneen do-
kumentaatioissa näin ei ollut, vaan äänenvaimentimen vaikutus äänitehotasoihin
täytyi laskea äänenvaimentimien mitoituslaskelman perusteella. Laskelmat on
esitetty liitteessä 2, ja niiden tuloksia käytettiin MagiCAD-mallituksen äänilasken-
nan lähtöarvoina.

On huomattava, että integroitujen äänenvaimentimien vaimennusmateriaalit on
vaihdettu uusiin vuonna 2010. Tästä toimenpiteestä ei ollut saatavilla dokument-
teja, mutta on todennäköistä, etteivät äänenvaimentimien vaimennusominaisuu-
det enää vastaa alkuperäisiä. Vaimennusmateriaaleja on saatettu vaihtaa myös
päätelaitteiden liitännälaatuista.

Olisi ollut kiinnostavaa saada selville todelliset koneen kanavistoon tuottamat ää-
nitehotasot, mutta niiden mittaaminen ei kenttäolosuhteissa ole helppoa; mittaus
intensiteettimenetelmällä on mahdollinen, jos mittaukseen vaikuttavat useat häi-
riötekijät osataan ottaa huomioon. Mittaaminen on kuitenkin erityistä asiantunte-
musta vaativaa, ja sen epätarkkuudet voivat olla useita desibelejä. (Laine, 2017.)
Intensiteettimittauksessa käytettävät laitteet ovat kalliita, ja mittaustekniikka sekä
kalibrointiproseduuri ovat vaativia (Halme – Seppänen 2002, 43).

6 MITTAUKSET

Ilmanvaihtokoneen TK08 käyntiä ohjataan opetustiloissa sijaitsevilla hiilidioksidiantureilla. Jos yhdessäkin opetustilassa ilman hiilidioksidipitoisuuden aseteltu yläraja 550 ppm ylittyy, ohjautuu kone täysteholle. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on määritelty, että rakennuksen sisäilman hiilidioksidin pitoisuus huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 1200 ppm (D2 (12012). 2011, 7). Tähän verrattuna maksimi-ilmavirrat toteuttava asetusarvo 550 ppm on huomattavasti alhaisempi, ja koneen käyntiä tarkkailemalla saattoi havaita, että oppituntien aikana kone kävi käytännössä aina täysteholla. Käsikäytön täysteholla puhaltimien pyörimisnopeus oli sama kuin automaatio-ohjelman pyytämien ns. hiilidioksiditehostuksen pyörimisnopeudet. Ilmavirta- ja äänitasomittausten aikana kone kävi käsikäytön täysteholla, ja tämä käyntiasetus vastasi siis todellista käyttöajan tilannetta, kun opetustiloissa on ihmisiä.

6.1 Ilmavirtamittaukset

6.1.1 Mittauskohteet

Ilmavirtamittaukset suoritettiin ilmanvaihtokoneen TK08 koko palvelualueella. Nämä tilat käsittävät C-siiven kolmannen kerroksen opetustilat, käytävän sekä henkilökunnan työhuoneet ja taukotilan.

6.1.2 Mittausmenetelmä

Päätelaitteiden suuren määrän takia ilmavirrat pyrittiin mittaamaan pääosin balometrillä, jolla mittaaminen on nopeaa ja ilmavirran suuruus on suoraan luettavissa näytöltä mittaustilanteessa (kuva 4). Laite on jokseenkin suurikokoinen etenkin silloin, kun mitattavan päätelaitteen suuren koon vuoksi joudutaan käyttämään ns. sovitinhuppua.



KUVA 4. LoFlo Balometer 6200 ja 400x400 sovitinhuippu

Monessa tilassa valaisinkiskot olivat päätelaitteiden edessä siten, että balometrillä mittaaminen oli tilahtauden takia mahdotonta. Tällöin mitattiin monitoimimittarilla paine-ero päätelaitteen mittausyhteistä, ja laskettiin ilmavirta päätelaittevalmistajan säätöoppaan kaavan mukaisesti päätelaittekohtaisen k-kertoimen ja paine-eron avulla (kuva 5). Kartiomallisten poistoilmaventtiilien tapauksessa paine-erot venttiin yli huonetilaan nähden mitattiin monitoimimittarin ja mittaussondin avulla. Kartion säätöasento mitattiin rakotulkilla, ja venttiin k-kerroin määritettiin säätöasennon perusteella päätelaittevalmistajan säätöoppaan taulukosta.

Ilmavirran laskeminen k-kertoimen (säätökertoimen) avulla

Jokaisella mitattavalla laitteella on oma säätökertoimensa (eli k-kertoimensa).

K-kerroin on tavallisesti merkitty laitteeseen.

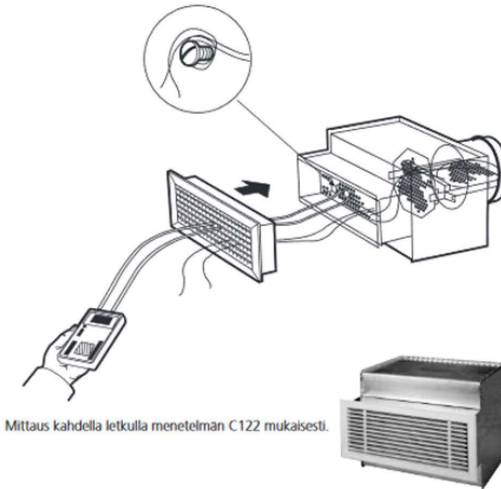
Seuraavien yhtälöiden avulla määritetään ao. ilmavirta tai säätöpaine, joka pätee suunnitellulle ilmavirralle.

$$q = k \cdot \sqrt{p_i} \quad (l/s)$$

q = mitattu ilmavirta (l/s)

p_i = todellinen mittauspaine (Pa)

k = säätökerroin



KUVA 5. Ilmavirran laskeminen k-kertoimen ja monitoimimittarilla mitatun paine-eron avulla (Säätöopas. 2000, 4)

6.1.3 Mittausepävarmuus

Balometrin valmistaja ilmoittaa mittausepätarckkuudeksi $\pm(3 \% + 2,4)$ dm³/s. Esimerkiksi mittaustulos 140 dm³/s on siten todellisuudessa (140 ± 7) dm³/s. Monitoimimittarin paine-eron mittausepätarckkuudeksi on ilmoitettu $\pm(1 \% + 1)$ Pa. Tällöin mittaustulos 18,5 Pa on todellisuudessa $(18,5 \pm 1,2)$ Pa, mitä voidaan pitää vähäisenä epätarckkuutena verrattuna mittaustilanteessa havaittuun mittarilukeman huojunnan suuruuteen. Mittarilukema ei asettunut tietyn arvon tuntumaan, vaan varsinkin suurten ilmavirtojen päätelaitteita mitattaessa huojuntaikkuna oli paljon suurempi kuin ilmoitettu mittalaitteen epätarckkuus. Päätelaitteilla, joilla oli sekä suuri k-kerroin että suuri ilmavirta, saattoi laskennallinen ilmavirta siten mittauksen aikana vaihdella enemmän kuin yli 30 dm³/s. Tähän ei vaikuttanut se, kuinka kauan mittarilukemaa tarkkailtiin ennen tuloksen kirjaamista, vaan ilmiö toistui jatkuvasti samankaltaisena. Jälkeenpäin selvisi, että tähän vaikuttaa mittariin asetettava aikavakio, jota pidentämällä mittaustuloksen lukeminen on tarkempaa silloin, kuin ilmavirta huojuu ja paine-ero ei pysy vakiona. Mittaustilanteessa huojunnan aiheuttamaa epätarckkuutta pyrittiin kompensoimaan lukemalla

arvo huojunnan puolivälistä. Mittauksissa käytetty laitteisto on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Ilmavirtamittauksissa käytetty mittauslaitteisto

Laite	valmistaja ja malli	sarjanumero
Balometri	TSI LoFlo 6200	71219692
Monitoimimittari	TSI VelociCalc 9565-P	9565P1441009

Balometrillä mitattujen ja paine-eromittausten perusteella laskettujen ilmavirtojen eroavaisuuksia tarkasteltiin mittaamalla joitain päätelaitteita molemmilla tavoilla. Mittauspöytäkirjaa työstettäessä havaittiin, että paine-eron perusteella lasketut ilmavirrat olivat tyypillisesti noin 7 % pienempiä kuin balometrillä mitatut. Tätä eroa ei ole mittaustuloksissa korjattu mitenkään, vaan MagiCAD-mallinnuksessa on käytetty mitattuja ilmavirtoja riippumatta siitä, kummalla tavalla ne on mitattu. Balometrillä mitatut ilmavirrat on kuitenkin valittu mittaustulokseksi molemmilla tavoilla tarkastusmitattujen päätelaitteiden osalta.

6.1.4 Mittaustulokset

Ilmavirtamittausten tuloksina on mittauspöytäkirjassa (liite 3) esitetty mitatut päätelaittekohtaiset ilmavirrat ja niiden poikkeamat suunnitelluista ilmavirroista kussakin tilassa siten, että ensimmäisenä esitetty ilmavirta koskee sitä päätelaitetta, joka on ovelta katsottuna kauimmaisena. Lisäksi on esitetty mitattujen tulo- ja poistoilmavirtojen summa ja sen poikkeaman suuruus vastaavien suunniteltujen ilmavirtojen summasta. Yksittäisten päätelaitteiden ilmavirrat poikkesivat suunnitelluista eniten käytävän tuloilmalaitteiden osalta, joiden ilmavirrat olivat vain noin puolet suunnitelluista. Kokonaisilmavirrat poikkesivat suunnitelluista tuloilmavirran osalta 1 %:n ja poistoilmavirran osalta 3 %. Poikkeamien pienuus vaikutti päätökseen olla korjaamatta mittaustavasta johtuvia eroja suuntaan tai toiseen.

6.2 Äänitasomittaukset

Äänitasomittausten aikana ilmanvaihtokoneen käyntiasetus oli sama kuin ilma-
virtamittausten aikana (katso luku 6.1). Mittaukset tehtiin C-siiven kolmannen ker-
roksen opetustiloissa Brüel & Kjær 2250 -analysointilaitteella, joka tallentaa tietoa
useista eri äänitasoa mittaavista suureista. Mittari täyttää standardin IEC 61672-
1 tarkkuusluokan 1 vaatimukset. Mittalaitteiston (taulukko 3) epätarkkuus kysei-
sessä luokassa on enintään ± 1 dB. Tallennetut tiedot purettiin myöhemmin Excel-
taulukkolaskentaohjelmaan, jossa suoritettiin tulosten analyysi.

TAULUKKO 3. Äänimittauksissa käytetty mittauslaitteisto

Laite	valmistaja ja malli	sarjanumero
Mikrofonikapseli	Brüel & Kjær 4189	2676723
Äänitasomittari	Brüel & Kjær 2250	2685383
Äänitasokalibraattori	Brüel & Kjær 4231	2176102
Ilmaaäänilähde	dB Technologies DVX D10	L389000402

Mittaukset tehtiin valikoivalla otannalla oleskeluvyöhykkeeltä noin 1,5 m:n korkeudella lattiasta. Mittauspisteitä oli pienemmissä opetustiloissa 5 ja isommissa 7. Mittauspisteet valittiin noudattaen Ympäristöministeriön ohjetta melun mittamisesta sisätiloissa (Ympäristömelun mittaaminen. 1995, 15). Ensin mitattiin äänitasot ilmanvaihtokoneen käydessä täysteholla, minkä jälkeen mitattiin äänitasot, kun kone ei ollut toiminnassa. Kussakin mittauspisteessä mittauksen kesto oli noin 45 sekuntia.

6.3 Jälkikaiunta-aikamittaukset

6.3.1 Mittauskohteet

Jälkikaiunta-aikamittaukset suoritettiin samoissa opetustiloissa kuin äänitasomittaukset. Tiiliseinäisten tilojen lattiapäällyste oli muovimattoa ja alakatto reikäkipsi-levyä, ja niiden pinta-alat olivat 62 - 127 m² ja huonekorkeus 3,5 m. Tilat oli kalustettu pöydillä ja tuoleilla.

6.3.2 Mittausmenetelmä

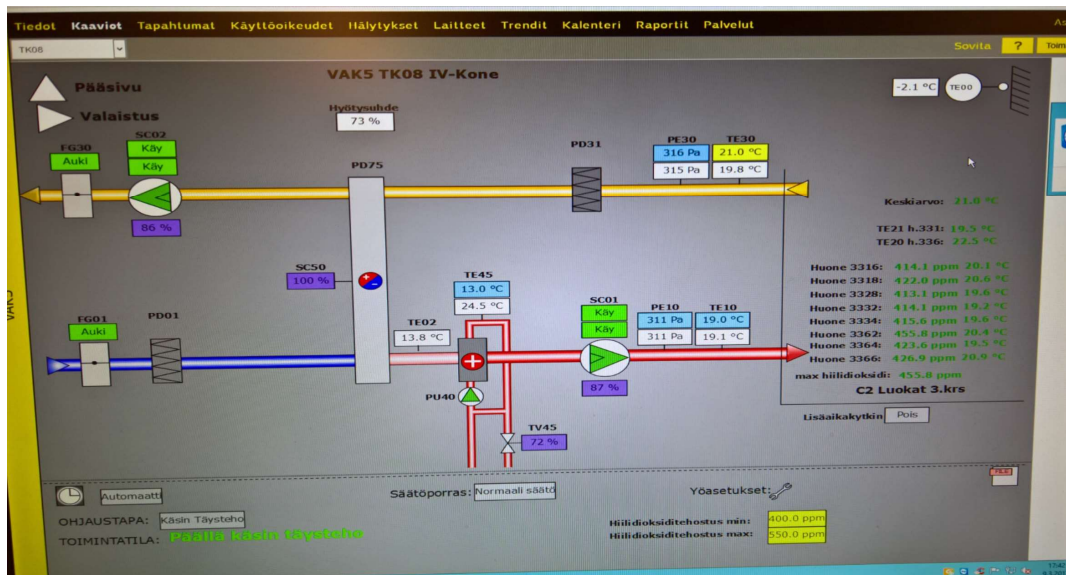
Mittaukset tehtiin Brüel & Kjær 2250 -analysointilaitteella ja tehokkaalla kaiuttimella standardin ISO 3382-2 kuvaaman "interrupted noise method" mukaisesti. Käytetty tarkkuusluokka oli "engineering method", jossa kaiutin-mikrofonipisteyhdistelmiä on kaikkiaan kuusi. (ISO 3382-2. 2008, 1-7.) Mittauksessa analysointilaitte

ajaa kaiuttimesta voimakkaan heräteään, ja kun huoneeseen syntyvä äänitaso on saavuttanut maksiminsa, kaiutin mykistetään. Analysaattori mittaa ja tallentaa tiedot terssi- tai oktaavikaistoittain jälkikaiunta-ajasta. Tallennetut tiedot purettiin myöhemmin Excel-tilukkolaskentaohjelmaan, jossa suoritettiin tulosten analyysi. Mittausten tarkoituksena oli arvioida opetustilojen äänenabsorptiota jälkikaiunta-ajan perusteella.

7 ILMASTOINTILAITOKSEN MALLINTAMINEN MAGICADILLA

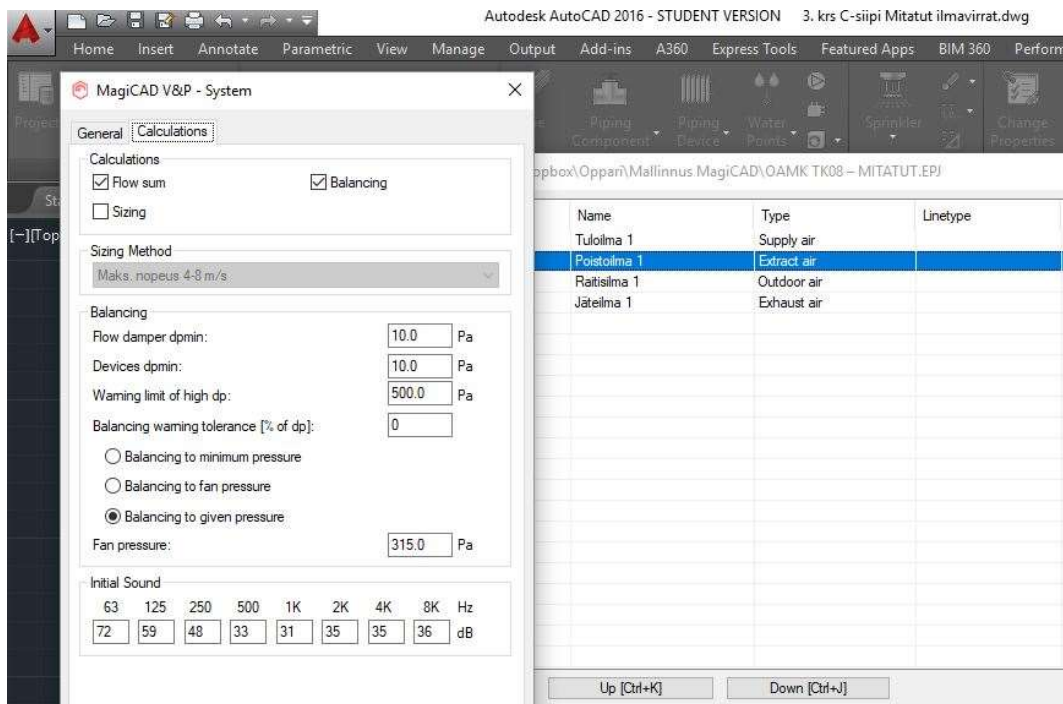
Mallintaminen aloitettiin hankkimalla ajantasaiset kanavistopiirustukset, jotka toimivat MagiCADissa xref-kuvina. Xref-kuviin näkyviin jätetyt vanhat kanavat jäljennettiin mahdollisimman tarkasti, ja kanavistojen päätelaitteet sijoitettiin piirustuksissa esitetyille kohdille. Päätelaitteiden ilmavirroiksi määritettiin mitatut ilmavirrat. Kanavistossa oli jonkin verran ei-tehdasvalmisteisia osia, eivätkä osa ratkaisusta tulleet esille tasopiirustuksista, joten niiden toteutus käytiin tarkistamassa paikan päällä.

Kuvassa 6 nähdään valvonta-alakeskuksesta luetut täyden hiilidioksidikuormituksen ilmavirtoja vastaavat puhaltimien tuottamat paineet, jotka olivat tuloilmakanavassa 311 Pa ja poistoilmakanavassa 315 Pa.



KUVA 6. Valvonta-alakeskuksen ohjausnäkyvä

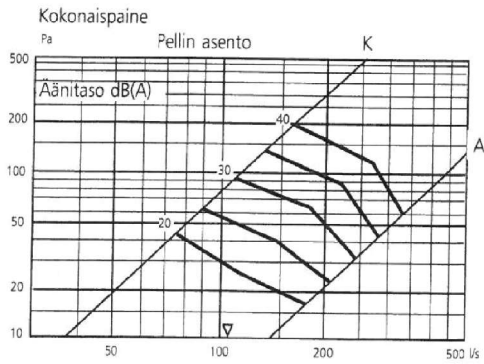
Nämä paineet asetettiin systeemien painehäviöiksi MagiCADissa, kun tasapainotustavaksi määriteltiin "balancing to given pressure" (kuva 7). Säätöpeltit sijoitettiin piirustuksissa esitettyihin kohtiin, ja MagiCADin annettiin tasapainottaa kanavisto eli määrittää säätöpeltilien painehäviöt. Kanavakoot pidettiin sellaisina, kuin ne alkuperäisissä suunnitelmissa olivat.



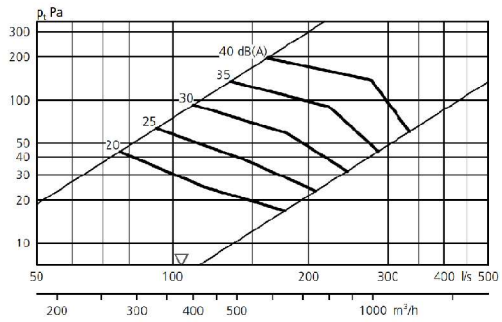
KUVA 7. Poistoilmasysteemiä koskevat mitoituslaskennan asetukset. Äänilaskennan lähtöarvoiksi on asetettu puhaltimen jälkeiset äänitehotasot äänenvaimentimen jälkeen. Kanaviston painehäviöksi on asetettu VAK:in ohjausnäkymästä luettu kanavapaine 315 Pa.

Kaikki kanaviston päätelaitteet ovat silloisen Stifab Farexin valmistamia. Vaikka Swegon valmistaa ainakin joitain kanavistossa käytettyjä päätelaitteita edelleen, eivät niiden nykyisten mallien virtaus- ja äänitekniset suoritusarvot todennäköisesti tarkalleen vastaa vuonna 1999 käytössä olleiden mallien ominaisuuksia. Yhteydenotto Swegoniin auttoi asiassa, ja käyttöön saatiin Stifab Farexin MagiCAD-tuotetietokanta vuodelta 2002. Tässä tietokannassa muutama laite oli jo ehtinyt jo edetä seuraavaan versioonsa, mutta sekä vanhan että uudemman version säätökäyrästä vertailemalla saattoi tulla siihen tulokseen, että laitteiden ominaisuudet vastasivat toisiaan riittävällä tarkkuudella (kuva 8). Päätelaitteiden halutuksi ilmavirroiksi asetettiin mitatut ilmavirrat. Mallinnuksessa käytetyt lähtötiedot olivat siis päätelaitteiden ilmavirrat, puhaltimien äänentuotto, valvonta-alakeskuksesta luetut kanavapaineet, primääriäänenvaimentimien vaimennusarvot ja ajantasapiirustuksessa esitetyt kanavareitit ja -koot.

GRLb 400 X 200 + TRGc-B Ø 250



GRLc 400 x 200 + TRGc-B Ø250, Poistoilma



KUVA 8. Samankokoisten GRLb-TRGc- ja GRLc-TRGc-poistoilmapäätelaitteiden mitoituskäyrästöt vastaavat toisiaan, vaikka ne on esitetty eri tavalla.

8 MITTAUSTEN JA MALLINNUKSEN TULOKSET

Äänitaso- ja jälkikaiunta-aikamittausten sekä MagiCAD-mallinnuksen avulla tuotettuja tietoja käydään tässä läpi opetustilaa 3328 koskevan Excel-laskentapohjan avulla. Laskentapohja on rakennettu niin, että siihen tarvitsee syöttää vain muutamien tiettyjen suureiden lukuarvot. Kaikkia tiloja koskevat Excel taulukot on esitetty liitteissä 4–11.

8.1 Äänimittausten tulokset

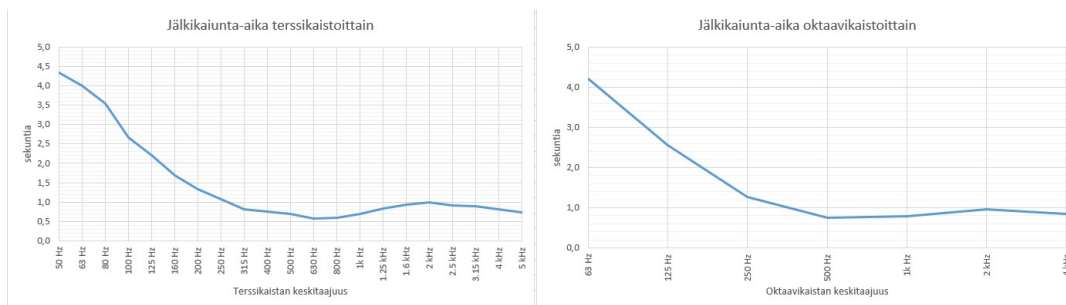
8.1.1 Jälkikaiunta-aikamittaukset

Jälkikaiunta-aikamittausten tuloksena saadut terssikaistojen keskitaajuuksilla 50 Hz – 5000 Hz mitatut aika-arvot syötetään niille varattuihin soluihin (kuva 9).

							MITATUT ÄÄNITASOT, Z- PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA		IV KÄY	IV SEIS
							L _{Zeq,i}	L _{Zeq,i}	[dB]	[dB]
jälkikaiunta- ajat [s]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	LZeq 25Hz	55,3	41,9	
50 Hz	6,2	7,1	4,4	6,2	5,3	4,2	LZeq 31.5Hz	50,5	37,5	
63 Hz	2,9	5,1	5,0	4,3	6,7	3,9	LZeq 40Hz	51,8	38,2	
80 Hz	3,7	3,5	4,2	3,6	3,8	3,8	LZeq 50Hz	49,0	40,5	
100 Hz	3,6	2,3	2,9	3,2	2,6	3,1	LZeq 63Hz	49,6	41,5	
125 Hz	4,0	3,7	3,3	4,0	2,2	3,7	LZeq 80Hz	48,7	42,0	
160 Hz	2,7	2,9	2,7	2,8	2,4	3,6	LZeq 100Hz	49,0	42,4	
200 Hz	2,1	2,0	1,8	2,3	2,2	1,9	LZeq 125Hz	47,5	31,3	
250 Hz	1,6	1,2	1,4	1,4	1,5	1,4	LZeq 160Hz	45,9	27,2	
315 Hz	1,0	1,3	0,9	0,9	1,0	1,0	LZeq 200Hz	40,8	28,1	
400 Hz	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,2	LZeq 250Hz	37,0	20,6	
500 Hz	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	LZeq 315Hz	37,2	19,8	
630 Hz	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	LZeq 400Hz	36,4	16,0	
800 Hz	0,7	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	LZeq 500Hz	33,4	14,9	
1k Hz	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	LZeq 630Hz	30,4	14,5	
1.25 kHz	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5	LZeq 800Hz	28,2	14,3	
1.6 kHz	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	LZeq 1kHz	26,0	16,1	
2 kHz	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	LZeq 1.25kHz	24,9	12,9	
2.5 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	LZeq 1.6kHz	22,9	13,2	
3.15 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	LZeq 2kHz	21,7	12,4	
4 kHz	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	LZeq 2.5kHz	20,8	12,8	
5 kHz	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	LZeq 3.15kHz	18,7	12,4	
							LZeq 4kHz	16,2	11,9	
							LZeq 5kHz	13,7	12,8	
							LZeq 6.3kHz	12,1	13,0	
							LZeq 8kHz	12,0	12,6	
							LZeq 10kHz	12,3	13,1	
							LZeq 12.5kHz	13,5	13,9	
							LZeq 16kHz	14,9	15,0	
							LZeq 20kHz	16,4	16,4	

KUVA 9. Jälkikaiunta-aika- ja äänitasomittaustulosten syöttäminen laskentataulukkoon.

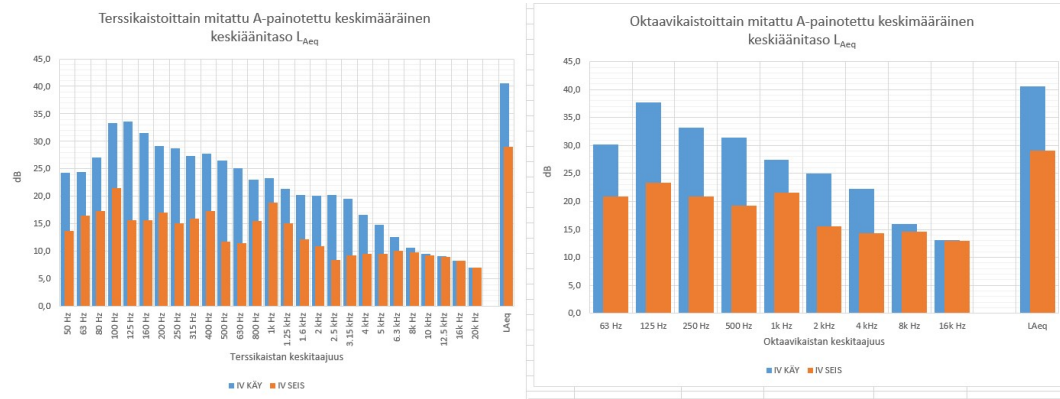
Jälkikaiunta-aikoja tarkastellaan huoneakustisissa sovellutuksissa yleensä oktaavikaistoittain, kun taas terssikaistaista aikoja tarvitaan rakennusakustisissa mittauksissa (esimerkiksi ääneneristysmittauksissa). Mittauksia tehtäessä käsitys oli, että terssikaistaiset tulokset ovat muutettavissa oktaavikaistaisiksi yksinkertaisesti laskemalla keskiarvot kolmesta terssikaistasta, mutta tämä yksinkertaistus saattaa johtaa joissain tapauksissa virheelliseen lopputulokseen. Laskentataulukko muuntaa terssikaistaiset jälkikaiunta-ajat oktaavikaistaisiksi dokumentin Nordtest NT ACOU 053:n lisäosassa A esitetyn laskentatavan mukaisesti (liite 12). Taulukossa esitetään jälkikaiunta-ajan käyrät sekä terssikaistoittain että oktaavikaistoittain, mutta vain oktaavikaistaista jälkikaiunta-aikaa käytetään huonevaimennuksen tarkasteluun (kuva 10).



KUVA 10. Opetustilan 3328 jälkikaiunta-aika terssi- ja oktaavikaistoittain

8.1.2 Mitattujen äänitasojen taajuusjakaumat

Laskentataulukko laskee Z-painotetuista terssikaistaisista keskiäänitasoista A-painotetut terssikaistaiset keskiäänitasot sekä oktaavikaistaiset keskiäänitasot Z- ja A-painotettuina. Terssikaistaisesta diagrammista voi hahmottaa äänen taajuusjakauman tarkemmin kuin oktaavikaistaisesta diagrammista. LVIS-ääniteknikassa käsitellään yleensä oktaavikaistaisia A-painotettuja äänitasoja ja äänitehotasoja, joten on havainnollista nähdä, mikä ero näiden välillä on (kuva 11). Oktaavikaistaisia äänitasoja tarvitaan myös huonevaimennuksen vaikutusta tarkasteltaessa.



KUVA 11. Opetustilassa 3328 mitatut A-painotetut keskiäänitasot esitettynä terssi- ja oktaavikaistoittain. A-äänitaso saadaan laskemalla logaritmisesti yhteen kaikkien taajuuskaistojen äänitasot.

Opetustila 3666 on tietokoneluokka, jossa on muista tiloista poiketen myös puhallinkonvektoreilla toteutettu ilman jäähdytys. Konvektorit eivät ole osa koneen TK08 ilmastointilaitteistoa, joten ne olivat toiminassa myös silloin, kuin muu ilmastointi oli pois toiminnasta. Konvektoreiden puhaltimien tuottamat äänitasot ovat siten mukana "iv seis"- tilanteessa mitatuissa äänitasoissa, eli ne ovat osana taustamelua joka vähennetään "iv käy"- tilanteen äänitasoista. Koska konvektorit luetaan LVIS-laitteiksi, on tilan LVIS-laitteiden aiheuttama äänitaso siten korkeampi kuin opetustilan 3666 taulukossa esitetty 40 dB, joka kuvaa vain koneen TK08 ilmastointilaitteiston aiheuttamaa äänitasoa.

8.1.3 Ilmastointilaitoksen aiheuttamat äänitasot opetustiloissa

Äänitasomittausten tuloksista on käytetty vain terssikaistaisia Z-painotettuja keskiäänitasoja. Ilmastointilaitoksen käydessä mitattujen keskiäänitasojen energiakeskiarvot on laskettu terssikaistoittain ensin toisessa taulukossa kaavan 14 mukaisesti (RIL 243-1-2007. 2007, 116).

$$L_i = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\left(\frac{L_{j,i}}{10}\right)} \right] \quad \text{KAAVA 14}$$

missä

L_i = mittauspisteiden keskiäänitasojen energiakeskiarvo terssikaistalla i (dB)

$L_{j,i}$ = mittauspisteessä j mitattu terssikaistan i keskiääniäänitaso (dB)

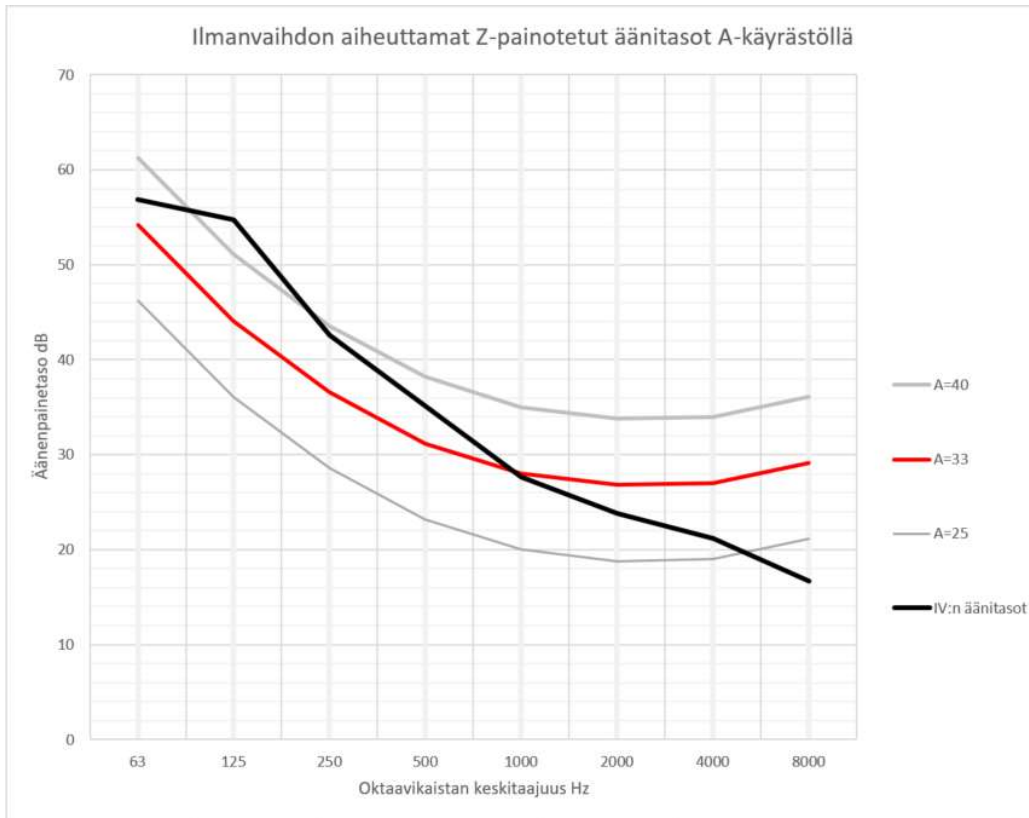
n = mittauspisteiden lukumäärä

Näin saadut mittauspisteiden terssikaistaiset keskimääräiset keskiäänitasot syötettiin laskentataulukkoon. Taustamelutasot, jotka mitattiin, kun ilmanvaihtokone ei ollut toiminnassa, käsiteltiin samalla tavalla ja syötettiin omiin soluihinsa (kuva 9). Laskentataulukko laskee näiden terssikaistaisten äänitasojen erotukset logaritmisesti. Kun erotukset laskettiin yhteen logaritmisesti, saatiin selville ilmastointilaitoksen huonetilaan tuottama äänitaso.

Sama äänitaso saataisiin myös laskettua käyttämällä laajakaistaisia äänitasoja. Terssikaistaisia äänitasoja tarvitaan kuitenkin diagrammien esittämiseen ja muuhun analyysiin, joten ne on valittu taulukoon syötettäväksi tiedoiksi.

8.1.4 Äänitasojen tarkastelu A-käyrästä avulla

Kuvassa 12 on esitetty mitattujen oktaavikaistaisten äänenpainetasojen käyrä ja suurinta sallittua LVIS-laitteiden aiheuttamaa A-painotettua äänitasoa 33 dB vastaava A-käyrä. Kun tarkastellaan A = 33 -käyrän ylittävän osuuden taajuusalueita oktaavikaistoilla 63–1000 Hz, voidaan arvella ongelman pääasialliseksi aiheuttajaksi puhallinääntä, mutta virtausmelun vaikutusta ei voida sulkea pois. Luvun 2.4 kuvassa 3 on esitetty tavanomaisia äänilähteiden taajuusalueita, joihin mitattujen äänenpainetasojen käyrää voi verrata.



KUVA 12. Ilmastoinnin tuottamien oktaavikaistaisten äänenpainetasojen käyrä piirrettynä A-käyrästä. Vaimennustarvetta esiintyy sillä taajuusalueella, jolla mitattujen äänitasojen käyrä ylittää käyrän A=33, kun suurin sallittu A-äänitaso on 33 dB. Mitattu A-äänitaso on tässä 40 dB.

8.1.5 Huonevaimennus

Lasketataulukoon syötetään myös tilan korkeus ja pinta-ala. Kun jälkikaiunta-ajat on syötetty, laskee taulukko kunkin oktaavikaistan absorptioalan ja huonevaimennuksen, jotka esitetään kuvan 13 vasemmanpuoleisessa taulukossa. Lisäksi esitetään ilmastointilaitteiston tuottamat äänitasot. Oikeanpuoleisessa taulukossa voi tarkastella absorptioalan lisäämisen vaikutuksia syöttämällä halutun jälkikaiunta-ajan 500 Hz:n oktaavikaistalla. Taulukko laskee syötetyn jälkikaiunta-ajan mukaiset absorptioalat ja huonevaimennuksen. Muilla oktaavikaistoilla jälkikaiunta-aika on sama kuin 500 Hz:n oktaavikaistalla, paitsi 125 Hz:n kaistalla, jolla aika on 50 % pidempi. Tässä tapauksessa jälkikaiunta-ajan lyhentäminen 0,5 sekuntiin (eli huoneabsorptioalan lisääminen) vaimentaisi ilmastoinnin aiheuttamaa melua 4 dB.

Mitattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot					Määrätyn jälkikaiunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot				
Oktaavin keskitäajuus	L _{Aeq,L}	Jälkikaiunta- aika T'	Absorptioala A'	Huonevaimennus D _{huone}	Oktaavin keskitäajuus	L _{Aeq,L}	Jälkikaiunta- aika T'	Absorptioala A'	Huonevaimennus D _{huone}
[Hz]	[dB]	[s]	[m ² -Sab]	[dB]	[Hz]	[dB]	[s]	[m ² -Sab]	[dB]
63	29,7				63	29,7			
125	37,5	2,6	20,6	7,1	125	32,2	0,8	70,2	12,4
250	33,0	1,3	41,2	10,1	250	28,9	0,5	105,3	14,2
500	31,1	0,8	69,8	12,4	500	29,3	0,5	105,3	14,2
1000	27,5	0,8	67,1	12,2	1000	25,5	0,5	105,3	14,2
2000	24,5	1,0	54,2	11,3	2000	21,6	0,5	105,3	14,2
4000	21,5	0,8	62,1	11,9	4000	19,2	0,5	105,3	14,2
8000	15,9				8000	15,9			
16000	13,0				16000	13,0			
L _{Aeq}	41				L _{Aeq}	37			

KUVA 13. Äänitasot, jälkikaiunta-ajat, absorptioala ja huonevaimennus. Vasemmanpuoleisessa taulukossa on esitetty mittauksin todennettu tilanne. Oikeanpuoleisella taulukolla voi arvioida lyhyemmän jälkikaiunta-ajan vaikutusta. Huonevaimennustarkastelua ei tehdä oktaavikaistoilla 63, 8000 ja 16000 Hz.

8.1.6 Päätelaitteiden äänitasojen perustella arvioitava huonetilan äänitaso

MagiCAD esittää mallinnetun järjestelmän päätelaitteiden äänitasot äänenpaineitasoina, kun huoneabsorptio on 10 m². Vaikka äänilaskenta tehdään ohjelmistossa oktaavikaistoittain, ei oktaavikaistaisia äänitasoja päätelaitteista saa näkyviin kuin suorittamalla ääniäjon jokaiselle päätelaitteelle erikseen. Kuvan 14 taulukkoon syötetään päätelaitteiden äänitasot sellaisina, kuin MagiCAD ne kuvaan tai raporttiin tulostaa. Taulukko laskee päätelaitteiden äänitehotasot yhteen ja niiden tuottamaa äänitasoa voi vertailla 10 m²-Sab oletusabsorptiolla ja todellisella kyseisen tilan huoneabsorptiolla. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon suunta-vaikutuksia, vaan tulos on laskettu kaavalla 7. Taulukko on tarkoitettu suuntaantavaan tarkasteluun. Koska mallinnuksen äänitasot poikkesivat todellisista äänitasoista, ei näillä tuloksilla ollut tämän työn tarkastelussa merkitystä. Taulukko kuitenkin havainnollistaa, mikä ero huoneeseen syntyvään äänitasoon on oletus-huonevaimennuksella 10 m²-Sab ja todellisella huonevaimennuksella A (harmaa ja sininen solu).

MagiCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot						
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen äänitehotaso (+4 dB)	Energia $10^{(L/10)}$	Tilan päätelaitteiden yhteenlaskettu äänitehotaso	Tilan A-äänitaso (10 m ² -Sab) MagiCAD:in mallinnuksen tuottamilla äänitasoilla	Tilan todellinen absorptioala (500 Hz oktaavikaistalla)	Tilan todellisella huonevaimennuksella (500 Hz) korjattu A-äänitaso
L _{pA(10)}	L _{WA}		L _{WA}	L _A	A	L _A
[dB]	[dB]		[dB]	[dB]	[m ² -Sab]	[dB]
33	37	5012	44	40	69,8	32
31	35	3162				
33	37	5012				
32	36	3981				
36	40	10000				

KUVA 14. Yksittäisten päätelaitteiden äänitasojen perusteella laskettava A-äänitaso tilassa.

8.2 MagiCAD-mallinnuksen tulos

Mallinnuksen tulos on kanavistopiirustus (liite 13), johon on merkitty kanavakoot, päätelaitetiedot, ilmavirrat, painehäviöt, virtausnopeudet ja äänitasot. Mallinnuksen perusteella suurimmat painehäviöt (ns. vaikein päätelaite, index run) ovat kanavareiteillä työhuoneen 3344 tuloilman päätelaitteelle ja työhuoneen 3392 poistoilman päätelaitteelle.

9 YHTEENVETO

Tavoitteena oli selvittää ilmaston aiheuttamat äänitasot opetustiloissa ja vertailla mallintamalla saatuja tuloksia mitattuihin. Maksimi-ilmavirtojen toteutuessa mitatut opetustilojen keskiäänitasot aiheutuvat käytännössä yksinomaan ilmastoinnista. Muista äänilähteistä syntyvät äänitasot (taustamelu) olivat niin pieniä, etteivät ne vaikuta kokonaisuuteen. Mitatuissa tiloissa keskiäänitasot ylittävät Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaisen enimmäistason $L_{A,eq} = 33$ dB ja Asumisterveysasetuksen opetustiloja koskevan päiväajan enimmäistason $L_{A,eq} = 35$ dB.

Luvussa 3.2 todettiin, että on tärkeää pitää virtausnopeudet pieninä, jotta järjestelmä olisi ääniteknisesti hallittu; äänitehotaso kasvaa suhteessa virtausnopeuden viidenteen tai kuudenteen potenssiin, eivätkä mallinnetun kanaviston virtausnopeudet vastaa täsmällisesti todellisia virtausnopeuksia. Kanavistojen laitteet ovat ääniteknisessä mielessä hyvin herkkiä virtausnopeuksien ja paineiden muutoksille. MagiCAD-mallinnusta tarkastelemalla voidaan todeta, että suositellut virtausnopeudet toteutuvat kohtuullisesti muuten, mutta kytkentäkanavien virtausnopeudet ylittävät suositellun 2 m/s.

Kohteen kanavistoissa ei ole käytetty sekundääriäänenvaimentimina kanavavaimentimia, mutta päätelaite-liitäntälaatikkoyhdistelmät vaimentavat ääntä. Vaikuttaa siltä, etteivät päätelaitteet aiheuta äänihaittaa, mutta niiden äänenvaimennuskyky on riittämätön kanavissa siirtyvään äänitehotasoon vaimentamiseen.

Ilmanvaihtokoneen primääriäänenvaimentimien äänenvaimennusominaisuudet voivat heiketä vaimennusmateriaalin pakkautuessa esimerkiksi pienitaajuisen äänen paineen aiheuttaman voiman tai mekaanisen tärinän vuoksi. Koneen TK08 vaimentimien vaimennusmateriaalit on vaihdettu vuonna 2010, eikä muuttuneista äänenvaimennusominaisuuksista löytynyt tietoa. Ilmanvaihtokoneen kanavistoon tuottamia todellisia äänitehotasoja ei pystytty selvittämään.

Kanaviston haaroitukset on pääsääntöisesti tehty ns. lähtökauluksella. Jos kaulusten alla kanavareivät on tehty liian pieniksi tai jätetty teräväreunaisiksi, on tuloksena ääniteknisessä mielessä pilattu kanavisto. A-käyrästöllä tehtävä oktaavikaistaisten äänitasojen tarkastelu ei ole yksiselitteistä, mutta sen perusteella ongelma voi viitata puhallin- ja virtausääneen.

Mitatut ilmavirrat poikkeavat suunnitelluista ilmavirroista sen verran, että järjestelmän uudelleen tasapainotusta voi suositella. Mallinnuksen mukaan puhaltimien jälkeen sijoitettujen runkokanavien säätöpeltien painehäviöt ovat suuret: pienimmillään noin 180 Pa tuloilmakanaviston osalta ja 140 Pa poistoilmakanaviston osalta, kun tasapainotus on tehty määrittämällä tuloilmapuhaltimen paineentuotoksi 311 Pa ja poistoilmapuhaltimen paineentuotoksi 315 Pa. Jos tasapainotus tehdään minimipainehäviön perusteella, ovat vastaavat kanavistojen kokonaispainehäviöt enää 141 Pa ja 182 Pa. Vaikka mallinnus ei vastaa täsmällisesti todellisuutta, voi tämä viitata siihen, että puhaltimien paineentuotto liian suuri ja ilmavirtoja joudutaan kuristamaan säätöpelleillä heti puhaltimien jälkeen. Jälkiviisaana voi todeta, että kaikkien säätöpeltien painehäviöiden mittaaminen ja säätöasentojen tarkistaminen olisi todennäköisesti tuonut mallinnusta lähemmäksi todellista tilannetta ja vähintäänkin tarjonnut lisätietoa kanaviston painehäviöistä.

Vanhan ilmastointilaitoksen mallintaminen ilmavirtojen ja osin puutteellisten tietojen perusteella on vaikeaa ja epätarkkaa. Kanaviston olosuhteet eivät juuri koskaan vastaa laiteominaisuuksien mittauksissa vallitsevia laboratorio-olosuhteita, vaikka joitakin häiriötekijöiden vaikutuksia olisikin mittauksissa demonstroitu. MagiCAD-mallinnuksen laskemat äänitasot poikkesivat niin paljon todellisista äänitasoista, ettei niitä voinut tarkastella järkevällä tavalla. Jos mallia muokattiin siten, että siitä poistettiin esimerkiksi poistopuhaltimen äänenvaimennus, päästiin lähelle todellisia äänitasoja. Toisin sanoen ne ilmastointilaitoksessa syntyvät äänitehotasojen nousut, joita malli ei pysty ottamaan huomioon, ovat suuruudeltaan samaa luokkaa kuin jos toinen puhaltimista syöttäisi koko äänitehonsa kanavistoon. Mallinnuksen perusteella ei myöskään voi arvioida kanavien seinämiä pitkin siirtyvän äänen tai runkoäänen vaikutusta.

LÄHTEET

Asumisterveysasetus. 23.4.2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>. Hakupäivä 27.4.2017.

Halme, Alpo – Seppänen Olli 2002. Ilmastoinnin ääniteknikka. Helsinki: Suomen LVI-liitto.

ISO 3382-2. 2008. Acoustics. Measurement of room acoustics parameters. Part 2: reverberation time in ordinary rooms. Geneve: International Organization for Standardization.

Laine, Juhani 2017. Opinnäytetyöhön liittyen. Sähköpostikeskustelut. Vastaanottaja: Jussi Vartio. 21.4 – 23.5.2017.

LVI 30-10333. 2002. Ilmanvaihtolaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänen- vaimennus asuinrakennuksessa. Helsinki: Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10333> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 16.5.2017.

NT ACOU 053. 1985. Nordtest method. Rooms: reverberation time. Espoo: Nordtest. Saatavissa: http://www.nordtest.info/images/documents/nt-methods/acoustic/NT%20acou%20053_Rooms_Reverberation%20time_Nordtest%20Method.pdf. Hakupäivä 14.5.2017.

RIL 243-1-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RIL 243-2-2007. 2007. Rakennusten akustinen suunnittelu. Oppilaitokset, auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

RT 07-10946. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki: Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10946> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 5.5.2017.

Huoneakustiikka. Ohjeita standardin SFS 5907 mukaisen huoneakustiikan toteutukseen. 2011. Esite. Saint-Gobain. Saatavissa: [https://saint-gobain.digitator.fi/Default.aspx#!prettyPhoto\[pp_gal\]/16/](https://saint-gobain.digitator.fi/Default.aspx#!prettyPhoto[pp_gal]/16/). Hakupäivä 23.5.2017.

SFS 5907. 2004. Rakennusten akustinen luokitus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Säätöopas. Hajottimet, ilmastointijärjestelmät. 2000. Valmistajan opas. Stifab Farex. Saatavissa: http://swegon.com/Global/PDFs%20Archive/Air%20diffusers/K-factors/_fi/kff0002.pdf. Hakupäivä 2.3.2017.

C1 (1985). 1984. Ääneneristys. Määräykset 1985. C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B6D4B5191-2173-4DDA-B49D-6F126228594E%7D/100656>. Hakupäivä 3.5.2017.

C1 (1998). 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Määräykset ja ohjeet 1998. C1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: www.finlex.fi/data/normit/1917-c1.pdf. Hakupäivä 14.1.2017.

D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1921-D2s.pdf>. Hakupäivä 14.1.2017.

Ympäristömelun mittaaminen. 1995. Ohje 1. Helsinki: Ympäristöministeriö, ympäristönsuojeluosasto. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/42692/Ymp%c3%a4rist%c3%b6melun%20mittaaminen.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 4.3.2017.



HELI 2000

22.6.1999, 12:47

Versio 1.63 1999-02-02

Sivu 1

Lisenssinhaltija: VelAir

Kone : TK08 TF01/TK08PF01

Asiakas: **TEKMANNI OY/ VAIHE 1999**Kohde: **OAMK TEKNIIKAN YKSIKKÖ
OULU**Käsittelijä: **Vel-Air Oy / Oulu**

Laskennan lähtöarvot:

Tulopuoli:	Ulkoilma	talvella kesällä	lämpötila lämpötila Tuloilmavirta Kanaviston painehäviö	-32 °C 20 °C 5.2 m ³ /s 470 Pa	Suht.kosteus	50 %
Poistopuoli:			Lämpötila Ilmavirta Kanaviston painehäviö	23 °C 5.2 m ³ /s 350 Pa	Suht.kosteus	30 %

Koneen tulokset:

Koneen kuvaus : **TK08 TF01/TK08PF01**Tulokoneen kokoluokka: **6**
Poistokoneen kokoluokka: **6**Koneen paino ilman moottoria: **2974 kg**

Tuloilma:	Talvella	lämpötila	20 °C	Suht. kosteus	30 %
	Kesällä	lämpötila	20 °C	Suht. kosteus	50 %

Äänet kanavistoon:

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Kok.	Hz
Ulkoilma	78	74	78	72	66	55	37	24	83	dB
Tuloilma	84	84	85	83	82	80	73	67	92	dB
Poistoilma	80	76	80	75	74	70	64	58	85	dB
Jäteilma	82	82	83	81	80	78	71	65	89	dB

Koneen osat ja tekniset tulokset:

Tulokone:		
HPOP-6-T5	Sulkuosa	
	Tiiviysluokka T5	
	Otsapintanopeus	3.2 m/s
	Painehäviö	3 Pa
HSOP-6-EU3	Suodatusosa: pitkä	
	Suodatusluokka EU3 = Karkea	
	Mitoituspainehäviö	76 Pa
	Alkupainehäviö	37 Pa
	Loppupainehäviö	110 Pa
HXSR-6-R	Saranat	

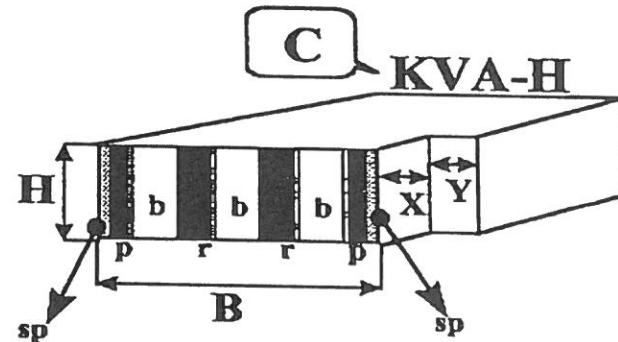
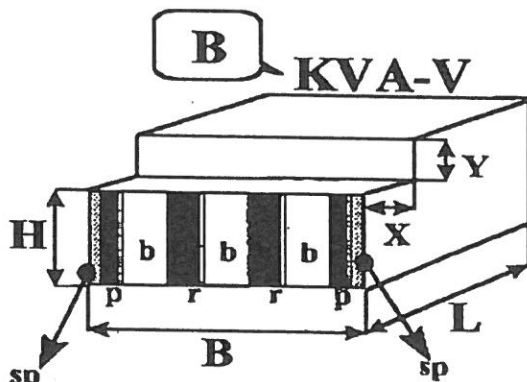
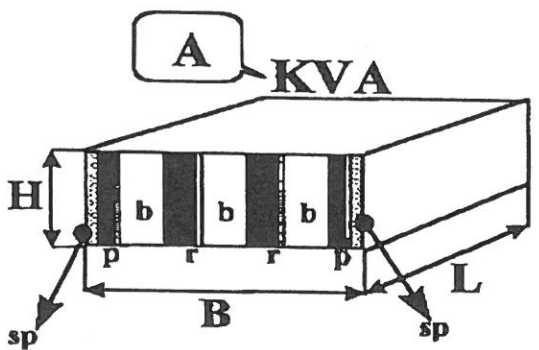


IVK-TUOTE OY
 Helmintie 8
 FIN-40250 Jyväskylä, FINLAND
 Tel. +358 14 334 0300
 Fax +358 14 334 0344

L. -06-99 15:00 FROM: +358 14 3340344

Käsittelijä
 By **ERKKI HIEKKAVIRTA**

Asiakas/kohde **TEKMANNI OY**
 Customer/Project **Pauli Pakkanen**
OAMK-99



sp = attenuation side plates, p = first baffel distance, b = baffels, r = other baffel sp = posket, p = ensimmäinen rakoväli, b = lamellit, r = m

Pos.	Tyyppi Type	B mm	H mm	L mm	X mm	Y mm	sp mm	p mm	b mm	r mm	b kpl / pcs	Eriste Isol. mm	q m³/s	P Pa	L (dB)							
															63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TK06TF0	A	2050	1350	900	300		150	110	300	110	4	0	5,0	23	7	13	23	33	41	29	23	20
TK06PF0	A	2050	1350	1200			150	110	300	110	4	0	5,0	24	8	17	32	42	43	35	29	22
TK07TF0	A	2050	1750	1200	300		150	110	300	110	4	0	6,8	25	8	17	32	42	43	35	29	22
TK07PF0	A	2050	1750	1200			150	110	300	110	4	0	6,8	25	8	17	32	42	43	35	29	22
TK08TF0	A	2050	1350	1200	300		150	110	300	110	4	0	5,2	27	8	17	32	42	43	35	29	22
TK08PF0	A	2050	1350	1200			150	110	300	110	4	0	5,5	27	8	17	32	42	43	35	29	22

HUOMI
 NOTE!
**SINKITTY PELTI, IT-LISTAT, LASIKUITUHUOPAPINTAISET ÄV-LAMELLIT
 TK07 KONEEN VAIMENTIMISSA RHS-TUKIRUNKO**

TEKMAT

TK08/tuloilmapuhallin TF01

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
L _w ennen ÄV:ta	84	84	85	83	82	80	73	67
D _{ÄV}	8	17	32	42	43	35	29	22
L_w ÄV:n jälkeen	76	67	53	41	39	45	44	45

TK08/poistoilmapuhallin PF01

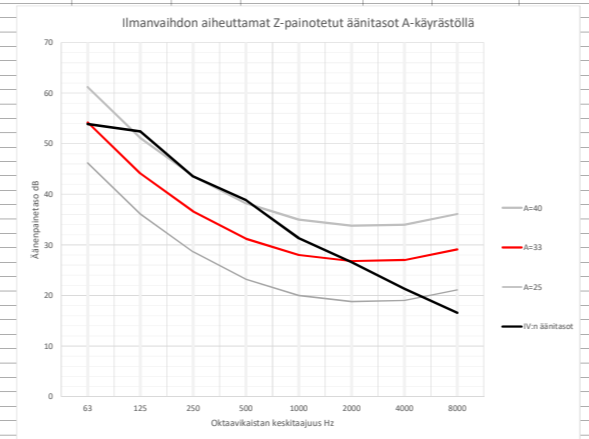
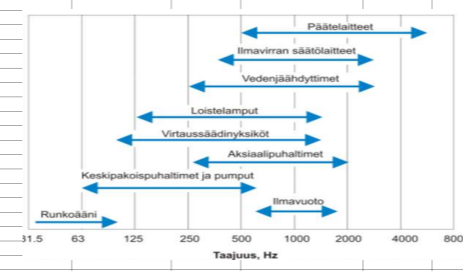
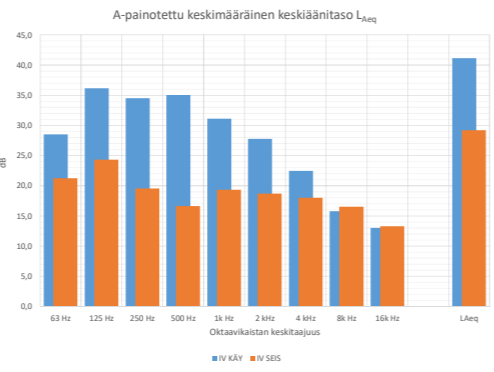
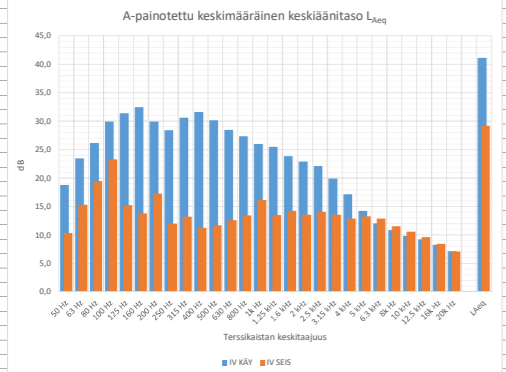
Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
L _w ennen ÄV:ta	80	76	80	75	74	70	64	58
D _{ÄV}	8	17	32	42	43	35	29	22
L_w ÄV:n jälkeen	72	59	48	33	31	35	35	36

ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

OAMK, C-siipi 3. kerros		mitattu ilmavirta		mitattu paine-ero		KVBa rako mm	päätelaitteen k-kerroin	paine-eron avulla laskettu ilmavirta		päätelaitte tulo		päätelaitte poisto		tuloilmavirrat			poistoilmavirrat			
Tilanumero	Tyyppi	tulo dm³/s	poisto dm³/s	tulo Pa	poisto Pa			tulo dm³/s	poisto dm³/s	tyyppi	koko	tyyppi	koko	suunniteltu dm³/s	mitattu dm³/s	mitatun ero suunniteltoon %	suunniteltu dm³/s	mitattu dm³/s	mitatun ero suunniteltoon %	
3316	Opetustila		149				46,6	-			GRLc+TRGc	400-200-250				-175	-149	-15 %		
			143				46,6	-			GRLc+TRGc	400-200-250				-175	-143	-18 %		
			101				26,5	-	GTHb+TRGc	400-150-250	110	101		110	99	-10 %				
			99				26,5	-	GTHb+TRGc	400-150-250	110	99		110	96	-13 %				
3318	Opetustila				11,7		46,6	-159			GRLc+TRGc	400-200-250				-140	-159	14 %		
				149				38,1	-	GTHb+TRGc	400-200-250	130	149		130	139	7 %			
				139				38,1	-	GTHb+TRGc	400-200-250	130	139							
				143				46,6	-	GRLc+TRGc	400-200-250							-140	-143	2 %
3328	Opetustila		178				46,6	-			GRLc+TRGc	400-200-250				-175	-178	2 %		
			181				46,6	-	GRLc+TRGc	400-200-250							-175	-181	3 %	
			120		14		34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	110	120		110	120	9 %				
			120		13,3		34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	110	120		110	126	15 %				
3330	Toimisto				15,5		26,5	104		GTHb+TRGc	400-150-250	80	104		80	104	30 %			
						13,3		29,1	-106	GRLc+TRGc	400-150-250							-85	-106	25 %
				111		11,7		34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	111		115	111	-3 %			
				119		13,7		34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	119		115	119	3 %			
3332	Opetustila		115		14,8		34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	115		115	115	0 %				
				211		18,1	56,8	-	GRLc+TRGc	500-200-315							-200	-211	6 %	
				130		18,2	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	130		115	130	13 %				
				141		19,9	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	141		115	141	23 %				
3334	Opetustila						56,8	-220		GRLc+TRGc	500-200-315						-200	-220	10 %	
					201		15	56,8	-	GRLc+TRGc	500-200-315							-200	-201	1 %
					103		10,2	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	110	103		110	103	-6 %			
					125		15,5	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	110	125		110	125	14 %			
3338	Työhuone						46,6	-		GRLc+TRGc	400-200-250				-175	-183	5 %			
					186			46,6	-	GRLc+TRGc	400-200-250				-175	-186	6 %			
					34		23,7	7,2	35	VDYc	500-150-125	30	35		30	35	17 %			
					34					KVBa	160						-33	-34	3 %	
3340	Työhuone						7,2	34	VDYc	500-150-125	30	34		30	34	13 %				
					35					KVBa	160						-33	-35	6 %	
3342	Työhuone						7,2	33	VDYc	500-150-125	30	33		30	33	10 %				
					31					KVBa	160						-33	-31	-6 %	
3344	Työhuone						7,2	36	VDYc	500-150-125	30	36		30	36	20 %				
					32					KVBa	160						-33	-32	-3 %	
3346	Opp. Ohjaus	22					-		EAGLE CB	180-400-160				22				päätelaitetta ei ole suunnitelmassa		
							12,6	13,2	47	VOSa	600-200-160				40	47	18 %			
3348	Työhuone						7,2	26	VDYc	500-150-125	30	26		30	26	-13 %				
					28					KVBa	160						-33	-28	-15 %	
							20,5	7,2	33	VDYc	500-150-125	30	33		30	33	10 %			
					32					KVBa	160						-33	-32	-3 %	
3352	Työhuone						7,2	37	VDYc	500-150-125	30	37		30	37	23 %				
					31					KVBa	160						-33	-31	-6 %	
							23,3	7,2	35	VDYc	500-150-125	30	35		30	35	17 %			
					33					KVBa	160						-33	-33	0 %	
3356	Kahvio/kokous				112	5	5,7	-60		KVBa	200				-50	-60	20 %			
							114	6	5,9	-63	KVBa	200				-50	-63	26 %		
							116	7	6,1	-66	KVBa	200				-50	-66	32 %		
					78					TDYc	315-600-250	75	78		75	78	4 %			
3358	Käytävä						-		TDYc	315-600-250	75	53		75	53	-29 %				
					27					KVBa	200						-40	-27	-33 %	
					25					TDYc	200-400-160	60	25		60	25	-58 %			
					31					TDYc	200-400-160	60	31		60	31	-48 %			
						24				KVBa	160						-30	-24	-20 %	
						24				KVBa	160						-30	-24	-20 %	
						22				TDYc	200-400-160	60	22		60	22	-63 %			
						29				TDYc	200-400-160	60	29		60	29	-52 %			
						31				TDYc	200-400-160	60	31		60	31	-48 %			
							40,4	7	4,1	-26	KVBa	160						-30	-26	-13 %
											KVBa	160						-30	-25	-17 %
										0	KVBa	160						-45	0	päätelaitetta ei ole
3362	Opetustila				29		56,8	-306		GRLc+TRGc	500-200-315				-280	-306	9 %			
					138		14,8	38,1	-	GTHb+TRGc	400-200-250	130	138		130	138	6 %			
					146		16,9	38,1	-	GTHb+TRGc	400-200-250	130	146		130	146	12 %			
							30,5	56,8	-314	GRLc+TRGc	500-200-315							-280	-314	12 %
3364	Opetustila						38,1	163	GTHb+TRGc	400-200-250	130	163		130	163	25 %				
					146		15,5	38,1	-	GTHb+TRGc	400-200-250	130	146		130	146	12 %			
							15,6	56,8	-224	GRLc+TRGc	500-200-315							-200	-224	12 %
					110		12,2	56,8	-226	GRLc+TRGc	500-200-315							-200	-226	13 %
3366	ATK-luokka						34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	110		115	110	-4 %				
					103		11,7	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	103		115	103	-10 %			
					120		15,4	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	120		115	120	4 %			
							19,2	56,8	-	GRLc+TRGc	500-200-315							-200	-207	4 %
					128		15,8	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	128		115	128	11 %			
					124		18	34,8	-	GTHb+TRGc	500-150-250	115	124		115	124	8 %			
3389	Työhuone	24				7,5	-	VRYc	400-150-100	125	23	24		23	24	4 %				
3388	Työhuone	16					7,5	-	VRYc	400-150-100	125	18	16		18	16	-11 %			
					17					KVBa	125						-20	-17	-15 %	
3386	Työhuone	18					7,5	-	VRYc	400-150-100	125	18	18		18	18	0 %			
					16					KVBa	125						-20	-16	-20 %	
3392	Työhuone	24		14,4		7,5	-	VRYc	500-150-125	160	30	24		30	24	-20 %				
305A	Työhuone						26,5	-	GTHb+TRGc	400-150-250	120	116		120	116	-3 %				
					115			26,5	-	GTHb+TRGc	400-150-250	120	115		120	115	-4 %			
							133	46,6	-	GRLc+TRGc	400-200-250							-130	-133	2 %
							146	46,6	-	GRLc+TRGc	400-200-250							-130	-146	12 %
305B	Käytävä					6,7		26,5	69	GTHb+TRGc	400-150-250	80	69		80	69	-14 %			
YHTEENSÄ													4139	4199	1 %	-4154	-4282	3 %		

Opetustila				Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrätyt jälkikallunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot				T (500 Hz) = 0,5			
3362				Oktavaiv keskitäajuus [Hz]	L _{eq,T} [dB]	Jälkikallunta- aika T' [s]	Absorptioala A' [m ² -Sab]	Huonevaimennus D _{min} [dB]	Oktavaiv keskitäajuus [Hz]	L _{eq,T} [dB]	Jälkikallunta- aika T' [s]	Absorptioala A' [m ² -Sab]	Huonevaimennus D _{min} [dB]	LA energia 10 ⁴ (L _A /10)	
Pinta-ala [m ²]				63	27,6	3,4	10,3	4,1	63	27,6	0,8	46,3	10,6	576	
Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L _{eq}				125	35,9	2,0	17,8	6,5	125	29,4	0,5	69,4	12,4	862	
41 dB				250	34,4	0,9	38,3	11,1	250	28,5	0,5	69,4	12,4	702	
				500	35,0	0,7	52,7	10,8	500	32,4	0,5	69,4	12,4	1738	
				1000	31,1	0,7	47,9	11,1	1000	29,9	0,5	69,4	12,4	985	
				2000	27,2	0,7	51,5	11,1	2000	25,6	0,5	69,4	12,4	363	
				4000	20,5	0,7			4000	19,2	0,5	69,4	12,4	84	
				8000	15,8				8000	15,8				38	
				16000	13,1				16000	13,1				20	
				LAeq	41				LAeq	37					

MagiCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot					
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa [dB]	Päätelaitteen ääniteho [W]	Energia taso [dB]	Päätelaitteen ääniteho yhteensä [dB]	Tilan todellinen absorptioala [m ² -Sab]	Tilan todellisen huonevaimennuksen MagiCAD-mallinnuksen tuottamalla äänitasolla [dB]
32	36	3981	39	35	38,3
30	34	2512			29
27	31	1259			



jälkikallunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
50 Hz	6,2	7,1	4,4	6,2	5,3	4,2
63 Hz	2,9	5,1	5,0	4,3	6,7	3,9
80 Hz	3,7	3,5	4,2	3,6	3,8	3,8
100 Hz	3,6	2,3	2,9	3,2	2,6	3,1
125 Hz	4,0	3,7	3,3	4,0	2,2	3,7
160 Hz	2,7	2,9	2,7	2,8	2,4	3,6
200 Hz	2,1	2,0	1,8	2,3	2,2	1,9
250 Hz	1,6	1,2	1,4	1,4	1,5	1,4
315 Hz	1,0	1,3	0,9	0,9	1,0	1,0
400 Hz	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,2
500 Hz	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6
630 Hz	0,7	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8
800 Hz	0,7	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7
1k Hz	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
1.25 kHz	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,5
1.6 kHz	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
2 kHz	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7
2.5 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
3.15 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7
4 kHz	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7
5 kHz	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

L _{eq} [dB]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
LZeq 25Hz	55,3	41,9	55,3	337221
LZeq 31.5Hz	50,5	37,5	50,5	110940
LZeq 40Hz	51,8	38,2	51,8	149721
LZeq 50Hz	49,0	40,5	49,0	79789
LZeq 63Hz	49,6	41,5	49,6	91849
LZeq 80Hz	48,7	42,0	48,7	73362
LZeq 100Hz	49,0	42,4	49,0	80343
LZeq 125Hz	47,5	31,3	47,5	56318
LZeq 160Hz	45,9	27,2	45,9	38590
LZeq 200Hz	40,8	28,1	40,8	12158
LZeq 250Hz	37,0	20,6	37,0	5027
LZeq 315Hz	37,2	19,8	37,2	5263
LZeq 400Hz	36,4	16,0	36,4	4373
LZeq 500Hz	33,4	14,9	33,4	2173
LZeq 630Hz	30,4	14,5	30,4	1094
LZeq 800Hz	29,2	14,3	29,2	655
LZeq 1k Hz	26,0	16,1	26,0	396
LZeq 1.25kHz	24,9	12,9	24,9	307
LZeq 1.6kHz	22,9	13,2	22,9	192
LZeq 2 kHz	21,7	12,4	21,7	147
LZeq 2.5kHz	20,8	12,8	20,7	118
LZeq 3.15kHz	18,7	12,4	18,6	70
LZeq 4kHz	14,9	11,9	14,6	43
LZeq 5kHz	13,7	12,8	13,5	22
LZeq 6.3kHz	12,1	13,0	11,8	15
LZeq 8kHz	12,0	12,6	11,6	15
LZeq 10kHz	12,3	13,1	12,0	16
LZeq 12.5kHz	13,5	13,9	13,2	21
LZeq 16kHz	14,9	15,0	14,6	29
LZeq 20kHz	16,4	16,4	16,3	42

[Hz]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA				A-ÄÄNITASOT ENERGIAKSI				JKA-MITTAUSTEN KESKIARVO			
	A-painotus [dB]	L _{eq,T} [dB]	L _{eq,T} [dB]	L _{eq,T} [dB]	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	Jälkikallunta- aika [s]
50 Hz	-30,2	18,8	10,3	18,8	76	11	18,8	11	65	5,6		
63 Hz	-26,2	23,4	15,3	23,4	220	34	23,4	34	187	4,7		
80 Hz	-22,5	26,2	19,5	26,2	413	89	26,2	89	324	3,8		
100 Hz	-19,1	29,9	23,3	29,9	988	213	29,9	213	775	3,0		
125 Hz	-16,1	31,4	15,2	31,4	1383	33	31,4	33	1349	3,5		
160 Hz	-13,4	32,5	13,8	32,5	1764	24	32,5	24	1740	2,8		
200 Hz	-10,9	29,9	17,2	29,9	989	53	29,9	53	935	2,1		
250 Hz	-8,6	28,4	12,0	28,4	694	16	28,4	16	678	1,4		
315 Hz	-6,6	30,6	13,2	30,6	1152	21	30,6	21	1131	1,0		
400 Hz	-4,8	31,6	11,2	31,6	1449	13	31,6	13	1435	1,0		
500 Hz	-3,2	30,2	11,7	30,2	1041	15	30,2	15	1026	0,7		
630 Hz	-1,9	28,5	12,6	28,5	707	18	28,5	18	689	0,7		
800 Hz	-0,8	27,4	13,5	27,4	546	22	27,4	22	524	0,6		
1k Hz	0,0	26,0	16,1	26,0	398	41	26,0	41	357	0,6		
1.25 kHz	0,6	25,5	13,5	25,5	355	22	25,5	22	332	0,6		
1.6 kHz	1,0	23,9	14,2	23,9	244	26	23,9	26	217	0,7		
2 kHz	1,2	22,9	13,6	22,9	195	23	22,9	23	172	0,7		
2.5 kHz	1,3	22,1	14,1	22,0	162	25	22,0	25	136	0,7		
3.15 kHz	1,2	19,9	13,6	19,8	98	23	19,8	23	75	0,7		
4 kHz	1,0	17,2	12,9	17,0	52	19	17,0	19	32	0,7		
5 kHz	0,5	14,2	13,3	14,0	26	21	14,0	21	5	0,6		
6.3 kHz	-0,1	12,0	12,9	11,7	16	19	11,7	19	-3			
8 kHz	-1,1	10,9	11,5	10,5	12	14	10,5	14	-2			
10 kHz	-2,5	9,8	10,6	9,5	10	11	9,5	11	-2			
12.5 kHz	-4,3	9,2	9,6	8,9	8	7	8,9	7	-1			
16 kHz	-6,6	8,3	8,4	8,0	6	7	8,0	7	-1			
20 kHz	-9,3	7,1	7,1	7,0	5	5	7,0	5	0			
LAeq		41	29	41								

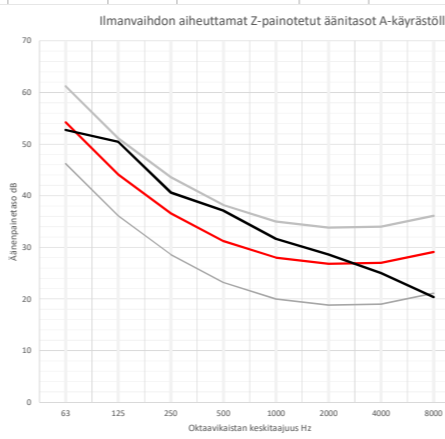
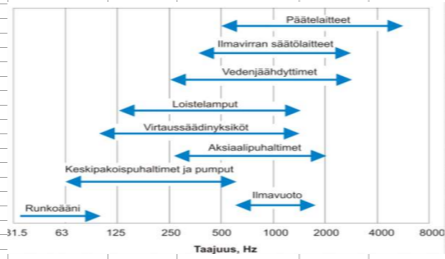
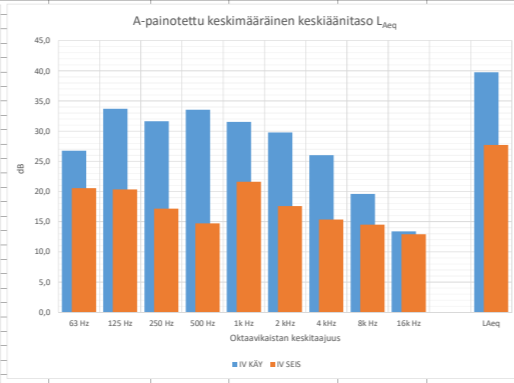
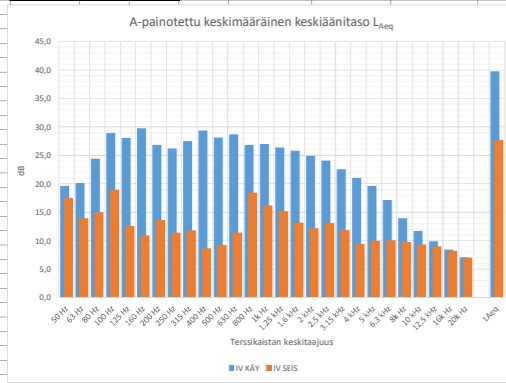
TERSSI-KÄÄSTÄISÄET OKTAAVI-KAISTAISIKSI					
IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS
41	29	41			

IV:n tasot yksin A-käyrällä					
EROTUS	[dB]	[Hz]	EROTUS	[dB]	[Hz]
	57,8	50 Hz			
	53,9	63 Hz			
	52,4	125 Hz			
	43,5	250 Hz			
	38,8	500 Hz			
	31,3	1k Hz			
	26,6	2 kHz			
	21,4	4 kHz			
	16,6	8 kHz			
	19,7	16 kHz			

IV:n tasot yksin A-käyrällä					
EROTUS	[dB]	[Hz]	EROTUS	[dB]	[Hz]
	57,8	50 Hz			
	53,9	63 Hz			
	52,4	125 Hz			
	43,5	250 Hz			
	38,8	500 Hz			
	31,3	1k Hz			
	26,6	2 kHz			
	21,4	4 kHz			
	16,6	8 kHz			
	19,7	16 kHz			

Opetustila 3364 Pinta-ala h V [m ²] [m] [m ³] 62 3,5 217			Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrityn jälkikaiunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot				T (500 Hz) = 0,5	
			Oiktaavin keskitajuus [Hz]	L _{eq} [dB]	jälkikaiunta- aika T' [s]	Absorptiotala A' [m ² ·Sab]	Huonevaimennus D _{noise} [dB]	Oiktaavin keskitajuus [Hz]	L _{eq} [dB]	jälkikaiunta- aika T' [s]	Absorptiotala A' [m ² ·Sab]	Huonevaimennus D _{noise} [dB]
Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L _{eq}			39 dB				37				358 895 682 1422 962 513 241 92 22	

MagiCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot										
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen äänitehot aso (+4 dB)	Energia 10	Tilan A-äänitaso (10 m ² ·Sab)	MagiCAD:n mallinnuksen tuottamilla äänitasoilla	Tilan todellisen absorptiotala (500 Hz korjattu A-äänitaso)	Tilan todellisella huonevaimennuksella (500 Hz)	L _{eq}	L _{eq}	L _{eq}	L _{eq}
[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[m ² ·Sab]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
33	37	5012	40	36	44,3	29				
30	34	2512								
29	33	1995								



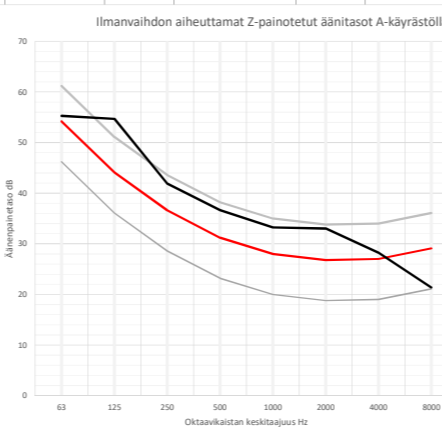
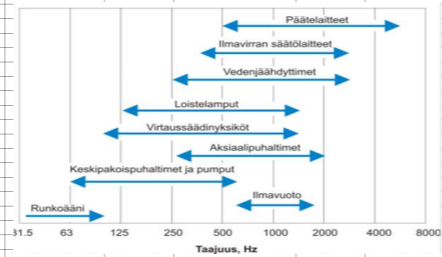
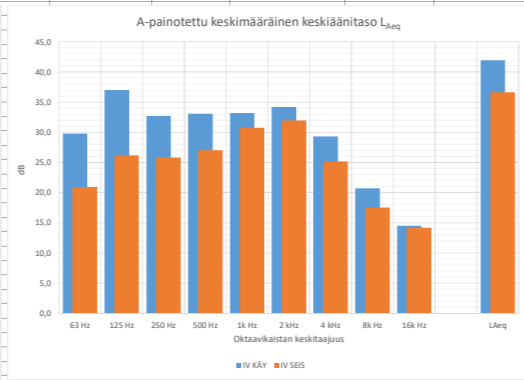
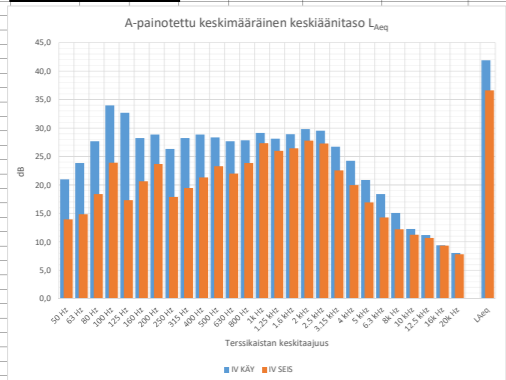
jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA						IV KÄY L _{eq} [dB]	IV SEIS L _{eq} [dB]	EROTUS L _{eq} [dB]	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
50 Hz	4,5	3,2	4,4	5,0	5,4	4,7	57,9	44,7	57,9	615457
63 Hz	3,0	5,0	3,9	3,6	4,2	4,2	49,6	36,9	49,6	90510
80 Hz	3,0	2,0	2,9	3,0	2,5	2,8	50,2	41,9	50,2	104466
100 Hz	2,5	1,4	2,1	2,2	1,8	1,8	49,8	47,9	49,8	95663
125 Hz	2,0	1,4	1,9	1,6	1,6	1,9	46,4	40,1	46,4	43221
160 Hz	1,6	1,3	1,3	1,3	1,1	1,4	46,9	37,5	46,9	49265
200 Hz	1,0	1,0	0,9	1,1	1,0	1,3	48,0	38,0	48,0	63555
250 Hz	1,0	1,3	0,9	1,0	0,8	1,2	44,2	28,7	44,2	26133
315 Hz	0,7	1,0	0,8	0,9	0,8	0,7	43,1	24,3	43,1	20578
400 Hz	0,8	1,0	0,9	0,7	0,7	0,8	37,7	24,6	37,7	5894
500 Hz	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	34,8	20,0	34,8	3017
630 Hz	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	34,1	18,4	34,1	2586
800 Hz	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	34,2	13,5	34,2	2607
1k Hz	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	31,4	12,4	31,4	1365
1,25 kHz	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	30,6	13,3	30,6	1150
1,6 kHz	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	27,7	19,7	27,7	582
2 kHz	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	27,0	16,7	27,0	501
2,5 kHz	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	25,8	14,6	25,8	376
3,15 kHz	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	24,8	12,2	24,8	304
4 kHz	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	23,7	11,0	23,7	236
5 kHz	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	22,7	11,8	22,7	187
							21,4	10,7	21,3	136
							20,0	8,5	20,0	100
							19,1	9,5	19,1	81
							17,3	10,1	17,2	52
							15,1	10,9	14,9	31
							14,2	11,8	14,0	25
							14,2	13,3	14,0	25
							15,0	14,8	14,8	30
							16,3	16,3	16,2	42

A-painotus L _{eq} [dB]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA						IV KÄY L _{eq} [dB]	IV SEIS L _{eq} [dB]	EROTUS L _{eq} [dB]	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
	1.	2.	3.	4.	5.	6.				
50 Hz	-30,2	19,6	17,6	19,6	91	57	34	4,5		
63 Hz	-26,2	20,2	13,9	20,2	104	25	79	4,0		
80 Hz	-22,5	24,4	15,0	24,4	277	32	245	2,7		
100 Hz	-19,1	28,9	18,9	28,9	782	78	704	2,0		
125 Hz	-16,1	28,1	12,6	28,1	642	18	623	1,7		
160 Hz	-13,4	29,7	10,9	29,7	941	12	928	1,3		
200 Hz	-10,9	26,8	13,7	26,8	479	23	456	1,0		
250 Hz	-8,6	26,2	11,4	26,2	417	14	403	1,0		
315 Hz	-6,6	27,5	11,8	27,5	566	15	551	0,8		
400 Hz	-4,8	29,4	8,7	29,4	864	7	856	0,8		
500 Hz	-3,2	28,2	9,2	28,2	654	8	646	0,7		
630 Hz	-1,9	28,7	11,4	28,7	743	14	729	0,7		
800 Hz	-0,8	26,9	18,4	26,8	486	70	416	0,6		
1k Hz	0,0	27,0	16,2	27,0	502	42	460	0,7		
1,25 kHz	0,6	26,4	15,2	26,4	433	33	400	0,8		
1,6 kHz	1,0	25,8	13,2	25,8	384	21	364	0,8		
2 kHz	1,2	24,9	12,2	24,9	312	17	296	0,9		
2,5 kHz	1,3	24,0	13,1	24,0	254	20	234	0,8		
3,15 kHz	1,2	22,6	11,9	22,5	180	15	165	0,8		
4 kHz	1,0	21,0	9,5	21,0	127	9	118	0,7		
5 kHz	0,5	19,6	10,0	19,6	92	10	82	0,6		
6,3 kHz	-0,1	17,2	10,0	17,1	52	10	42			
8 kHz	-1,1	14,0	9,8	13,8	25	9	15			
10 kHz	-2,5	11,7	9,3	11,5	15	9	6			
12,5 kHz	-4,3	9,9	9,0	9,7	10	8	2			
16 kHz	-6,6	8,4	8,2	8,2	7	7	0			
20 kHz	-9,3	7,1	7,0	6,9	5	5	0			
L _{Aeq}		40	28	39						

TERSSI-KAISTAISEN OKTAAVI-KAISTAISIKSI	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA						JKA-MITTAUSTEN KESKIARVO	jälkikaiunta- aika [s]	IV:n tasot yksin A-käyrälle
	1.	2.	3.	4.	5.	6.			
50 Hz	26,7	20,6	25,5	472	114	358	4,6	52,7	50 Hz
125 Hz	33,7	20,4	33,5	2364	109	2256	1,9	50,4	125 Hz
250 Hz	31,7	17,2	31,5	1462	52	1410	1,0	40,6	250 Hz
500 Hz	33,5	14,7	33,5	2261	30	2231	0,8	37,1	500 Hz
1k Hz	31,5	21,6	31,1	1421	145	1277	0,7	31,6	1k Hz
2 kHz	29,8	17,6	29,5	951	58	893	0,9	28,6	2 kHz
4 kHz	26,0	15,3	25,6	399	34	365	0,8	25	4 kHz
8 kHz	19,6	14,5		92	28			20,4	8 kHz
16 kHz	13,4	12,9		22	20			19,9	16 kHz
L _{eq}	40	28	39						

Opetustila			Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrätyn jälkikaalun-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot				T (500 Hz) = 0,5			
3366			Oiktaavin keskitajuus [Hz]	L _{eq} [dB]	Jälkikaalun- aika T' [s]	Absorptioala A' [m²·Sab]	Huonevaimennus D _{min} [dB]	Oiktaavin keskitajuus [Hz]	L _{eq} [dB]	Jälkikaalun- aika T' [s]	Absorptioala A' [m²·Sab]	Huonevaimennus D _{min} [dB]	IA energia 10 ⁴ ·(L _{eq} /10)	
Pinta-ala [m²]	h [m]	V [m³]	63	29,2	1,8	38,6	9,8	63	29,2	0,8	94,8	13,7	830	
127	3,5	445	125	36,6	1,0	68,2	12,3	250	28,5	0,5	142,2	15,5	1873	
Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L _{eq}			500	31,8	0,6	109,6	14,4	4000	30,7	0,5	142,2	15,5	710	
40	dB		1000	33,2	0,7	100,0	14,0	16000	31,6	0,5	142,2	15,5	1462	
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa			2000	30,3	0,8	87,9	13,4	4000	28,2	0,5	142,2	15,5	656	
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)			8000	27,2	0,7	98,8	13,9	16000	25,7	0,5	142,2	15,5	368	
Päätelaitteen A-äänitaso Energia 10			L _{Aeq}	40					L _{Aeq}	39				
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)			29	33	1995					29	33	1995		

MagiCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot										
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen A-äänitaso Energia 10	Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso Energia 10 (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso Energia 10 (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso Energia 10 (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso Energia 10 (+4 dB)	Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa (+4 dB)
L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]	L _{eq} [dB]
32	36	3981	44	40	109,6	29				
30	34	2512								
29	33	1995								
27	31	1259								
27	31	1259								
26	30	1000								
35	39	7943								
25	29	794								
29	33	1995								



jälkikaalun-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
50 Hz	3,5	3,7	3,2	3,8	3,7	2,9
63 Hz	3,9	5,0	3,5	4,1	3,7	2,8
80 Hz	3,2	3,4	2,8	3,5	3,1	2,8
100 Hz	1,6	1,4	1,9	1,9	2,5	2,3
125 Hz	1,6	1,6	1,4	1,6	1,7	1,9
160 Hz	1,3	1,2	1,5	1,2	0,9	1,2
200 Hz	1,1	1,5	1,2	1,0	0,7	1,0
250 Hz	0,7	1,1	0,8	0,8	1,0	0,7
315 Hz	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8
400 Hz	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
500 Hz	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
630 Hz	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
800 Hz	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6
1k Hz	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
1,25 kHz	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8
1,6 kHz	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
2 kHz	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8
2,5 kHz	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
3,15 kHz	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7
4 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
5 kHz	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6

jälkikaalun-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ ·(L/10)
50 Hz	65,3	48,0	65,9	3928793
63 Hz	55,3	41,4	55,3	335168
80 Hz	49,5	39,5	49,5	89227
100 Hz	51,2	44,1	51,2	130397
125 Hz	50,0	41,0	50,0	101137
160 Hz	50,2	40,9	50,2	104274
200 Hz	53,1	43,0	53,1	202830
250 Hz	48,8	33,4	48,8	75452
315 Hz	41,6	34,0	41,6	14518
400 Hz	39,7	34,6	39,7	28,8
500 Hz	34,9	26,5	34,9	3116
630 Hz	34,8	26,1	34,8	3046
800 Hz	33,7	26,1	33,7	2323
1000 Hz	31,5	26,5	31,5	1420
1250 Hz	29,6	23,9	29,6	902
1600 Hz	28,6	24,7	28,6	726
2000 Hz	29,1	27,3	29,1	819
2500 Hz	27,5	25,4	27,5	564
3150 Hz	27,9	25,4	27,9	619
4000 Hz	28,6	26,6	28,6	722
5000 Hz	28,3	26,0	28,2	667
6300 Hz	25,5	21,4	25,5	354
8000 Hz	23,2	18,9	23,2	209
10000 Hz	20,4	16,4	20,3	107
12500 Hz	18,5	14,4	18,4	69
16000 Hz	16,2	13,3	16,0	40
20000 Hz	14,8	13,8	14,6	29
25000 Hz	15,5	15,3	15,3	34
31500 Hz	16,0	15,9	15,8	38
40000 Hz	17,4	17,1	17,2	53

jälkikaalun-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ ·(L/10)
50 Hz	-30,2	21,0	21,0	125
63 Hz	-26,2	23,8	23,8	243
80 Hz	-22,5	27,7	27,7	586
100 Hz	-19,1	34,0	34,0	2495
125 Hz	-16,1	32,7	32,7	1852
160 Hz	-13,4	28,2	28,2	664
200 Hz	-10,9	28,8	27,7	28,8
250 Hz	-8,6	26,3	17,9	26,3
315 Hz	-6,6	28,2	19,5	28,2
400 Hz	-4,8	28,9	21,3	28,9
500 Hz	-3,2	28,3	23,3	28,3
630 Hz	-1,9	27,7	22,0	27,7
800 Hz	-0,8	27,8	23,9	27,8
1k Hz	0,0	29,1	27,3	29,1
1,25 kHz	0,6	28,1	26,0	28,1
1,6 kHz	1,0	28,9	26,4	28,9
2 kHz	1,2	29,6	27,8	29,6
2,5 kHz	1,3	29,6	27,3	29,5
3,15 kHz	1,2	26,7	22,6	26,7
4 kHz	1,0	24,2	19,9	24,2
5 kHz	0,5	20,9	16,9	20,8
6,3 kHz	-0,1	18,4	14,3	18,3
8 kHz	-1,1	15,1	12,2	14,9
10 kHz	-2,5	12,3	11,3	12,1
12,5 kHz	-4,3	11,2	10,7	11,0
16 kHz	-6,6	9,4	9,3	9
20 kHz	-9,3	8,1	7,8	7,9

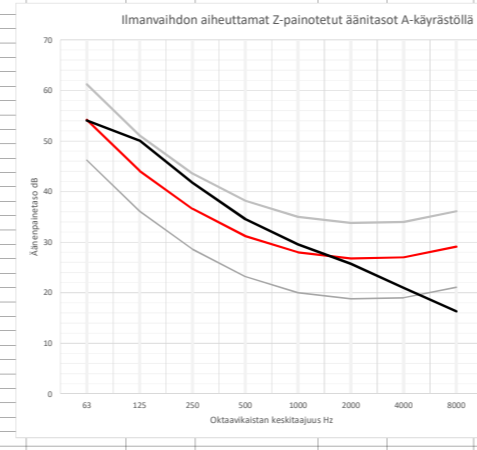
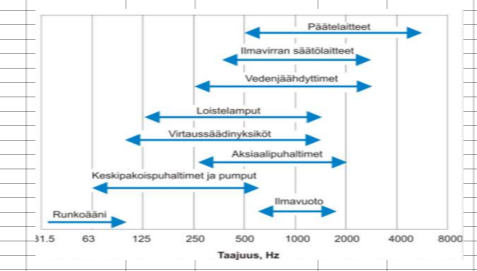
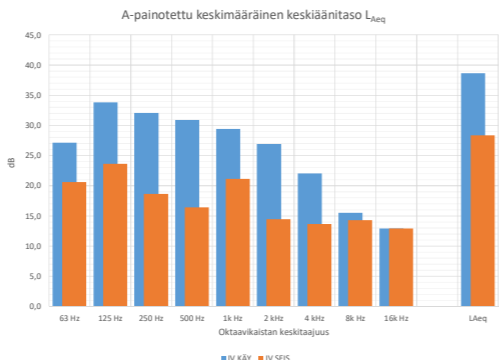
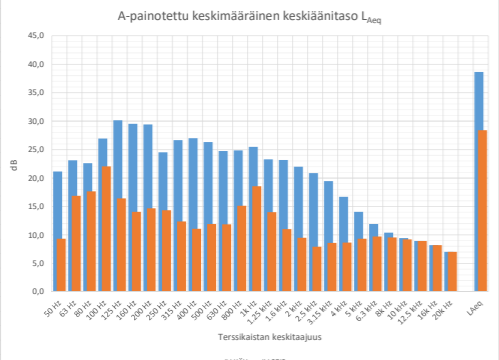
jälkikaalun-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ ·(L/10)
50 Hz	100	3,5	100	3,5
63 Hz	212	3,0	212	3,8
80 Hz	518	3,1	518	3,1
100 Hz	2251	1,9	2251	1,9
125 Hz	1798	1,6	1798	1,6
160 Hz	548	1,2	548	1,2
200 Hz	533	1,1	533	1,1
250 Hz	431	61	369	0,8
315 Hz	667	88	579	0,7
400 Hz	770	135	635	0,7
500 Hz	681	212	469	0,6
630 Hz	584	158	425	0,6
800 Hz	605	243	363	0,6
1k Hz	539	283	256	0,7
1,25 kHz	650	398	252	0,7
1,6 kHz	782	439	343	0,7
2 kHz	956	603	353	0,8
2,5 kHz	903	537	366	0,8
3,15 kHz	180	180	290	0,8
4 kHz	99	99	166	0,7
5 kHz	472	472	73	0,6
6,3 kHz	69	27	42	0,7
8 kHz	32	17	15	0,7
10 kHz	17	13	3	0,7
12,5 kHz	13	12	1	0,7
16 kHz	9	9	0	0,7
20 kHz	6	6	0	0,7

jälkikaalun-ajat [s]	TERSSI-KAISTAISET OKTAAVIKAISTAISEKSI			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ ·(L/10)
63 Hz	29,8	20,9	29,2	954
125 Hz	37,0	26,2	36,6	5011
250 Hz	32,7	25,8	31,7	1864
500 Hz	33,1	27,0	31,8	2035
1k Hz	33,2	30,7	29,5	2078
2 kHz	34,2	32,0	30,3	2641
4 kHz	29,3	25,2	27,2	857
8 kHz	20,7	17,6	118	57
16 kHz	14,5	14,2	28	26

jälkikaalun-ajat [s]	IV:n taitot yksin A-käyrälle			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ ·(L/10)
66,4 Hz				
55,3 Hz				
54,7 Hz				
41,9 Hz				
36,7 Hz				
33,2 Hz				
33,0 Hz				
28,4 Hz				
21,4 Hz				
21,0 Hz				

Opetustila 3334 Pinta-ala h V [m ²] [m] [m ³] 95 3,5 333 Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L_{eq} 38 dB	Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrätyn jälkikaiunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot					
	Oktaavin keskitajuus [Hz]	L_{eq} [dB]	Jälkikaiunta- aika T' [s]	Absorptioala A' [m ² -Sab]	Huonevaimennus $D_{w,huone}$ [dB]	Oktaavin keskitajuus [Hz]	L_{eq} [dB]	Jälkikaiunta- aika T' [s]	Huonevaimennus $D_{w,huone}$ [dB]	
	63	26,0				63	26,0			
	125	33,4	2,6	20,4	7,1	125	28,0	0,8	70,9	12,5
	250	31,9	1,3	41,6	10,2	250	27,8	0,5	106,4	14,2
	500	30,7	0,9	58,1	11,6	500	28,1	0,5	106,4	14,2
	1000	29,4	0,8	67,7	12,3	1000	27,5	0,5	106,4	14,2
	2000	26,6	0,9	56,6	11,5	2000	23,9	0,5	106,4	14,2
	4000	21,4	0,8	63,1	12,0	4000	19,1	0,5	106,4	14,2
	8000	15,5				8000	15,5			
16000	12,9				16000	12,9				
L_{Aeq}	38				L_{Aeq}	35				

MagCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot										
Päätelaitteen A-äänitaso MagCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen äänitehot aso (+4 dB)	Energia 10	päätelaitteen yhteenlaskettu äänitehot	äänitaso (10 m ² -Sab)	Tilan todellinen absorptioala (500 Hz oktaavikaistalla)	Tilan todellisella huonevaimennuksella (500 Hz) korjattu A-äänitaso				
$L_{p,1000}$ [dB]	L_{wA} [dB]		L_{wA} [dB]	L_A [dB]	A [m ² -Sab]	L_A [dB]				
25	29	794	36	32	58,1	25				
26	30	1000								
26	30	1000								
24	28	631								
25	29	794								



jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
50 Hz	4,1	4,8	4,4	4,1	4,6	4,1
63 Hz	4,3	4,1	5,0	4,3	5,5	4,1
80 Hz	4,4	3,9	3,8	3,4	3,5	3,6
100 Hz	2,9	3,1	2,5	2,6	2,6	2,7
125 Hz	2,4	2,6	2,6	2,0	2,0	2,2
160 Hz	1,7	1,8	2,2	1,7	1,6	1,7
200 Hz	1,5	1,3	1,6	1,1	1,0	1,2
250 Hz	1,3	1,1	1,1	1,0	1,2	1,1
315 Hz	1,0	0,8	1,0	1,2	1,0	1,1
400 Hz	0,9	0,8	1,3	1,0	0,9	0,9
500 Hz	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9
630 Hz	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6
800 Hz	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,7
1k Hz	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7
1.25 kHz	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9
1.6 kHz	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9
2 kHz	1,0	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0
2.5 kHz	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9
3.15 kHz	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9
4 kHz	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8
5 kHz	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
L2eq 25Hz	58,8	43,4	15,4	76267
L2eq 31.5Hz	47,7	34,8	12,9	58438
L2eq 40Hz	46,4	37,3	9,1	43884
L2eq 50Hz	51,3	39,6	11,7	136226
L2eq 63Hz	49,3	43,1	6,2	85156
L2eq 80Hz	45,1	40,2	4,9	32358
L2eq 100Hz	46,1	41,1	5,0	40353
L2eq 125Hz	46,2	32,5	13,7	42120
L2eq 160Hz	42,9	27,5	15,4	19495
L2eq 200Hz	40,3	25,6	14,7	10709
L2eq 250Hz	33,1	22,9	10,2	2056
L2eq 315Hz	33,3	19,0	14,3	2119
L2eq 400Hz	31,8	15,9	15,9	1509
L2eq 500Hz	29,5	15,1	14,4	890
L2eq 630Hz	26,7	13,8	12,9	463
L2eq 800Hz	25,7	16,0	9,7	369
L2eq 1k Hz	25,5	18,5	7,0	353
L2eq 1.25kHz	22,7	13,4	9,3	185
L2eq 1.6kHz	22,2	10,0	12,2	165
L2eq 2 kHz	20,8	8,3	12,5	119
L2eq 2.5 kHz	19,6	6,6	13,0	90
L2eq 3.15 kHz	18,2	7,4	10,8	66
L2eq 4 kHz	15,7	7,7	8,0	37
L2eq 5 kHz	13,5	8,8	4,7	22
L2eq 6.3 kHz	12,0	9,9	2,1	15
L2eq 8 kHz	11,5	10,7	0,8	13
L2eq 10 kHz	12,0	11,7	0,3	15
L2eq 12.5 kHz	13,3	13,7	0,4	20
L2eq 16 kHz	14,8	14,6	0,2	29
L2eq 20 kHz	16,3	16,3	0,0	41

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
L2eq 25Hz	30,2	21,1	9,1	21,1
L2eq 31.5Hz	26,2	16,9	9,3	23,1
L2eq 40Hz	22,5	17,7	4,8	18,2
L2eq 50Hz	19,1	27,0	8,0	496
L2eq 63Hz	16,1	30,1	14,0	1034
L2eq 80Hz	13,4	29,5	16,1	891
L2eq 100Hz	10,9	29,4	18,5	871
L2eq 125Hz	8,6	24,5	15,9	284
L2eq 160Hz	6,6	26,7	20,1	464
L2eq 200Hz	4,8	27,0	22,2	500
L2eq 250Hz	3,2	26,3	23,1	427
L2eq 315Hz	1,9	24,8	22,9	300
L2eq 400Hz	0,8	24,9	24,1	308
L2eq 500Hz	0,0	25,5	25,5	354
L2eq 630Hz	0,6	23,3	22,7	214
L2eq 800Hz	1,0	23,2	22,2	209
L2eq 1k Hz	1,2	22,0	20,8	158
L2eq 1.25 kHz	1,3	20,9	19,6	123
L2eq 1.6 kHz	1,2	19,4	18,2	88
L2eq 2 kHz	1,0	16,7	15,7	47
L2eq 2.5 kHz	0,5	14,0	13,5	25
L2eq 3.15 kHz	-0,1	11,9	12,0	16
L2eq 4 kHz	-1,1	9,6	10,7	11
L2eq 5 kHz	-2,5	9,5	9,1	9
L2eq 6.3 kHz	-4,3	8,9	8,7	8
L2eq 8 kHz	-6,6	8,2	8,0	7
L2eq 10 kHz	-9,3	7,0	6,8	5
L_{Aeq}	39	28	11	38

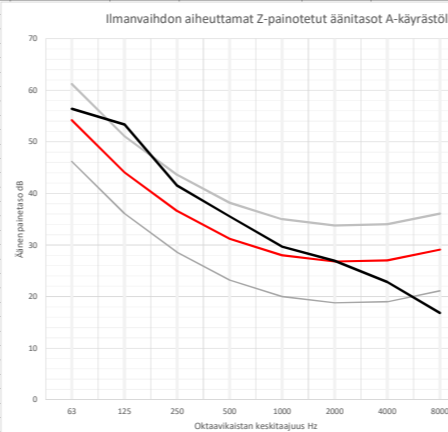
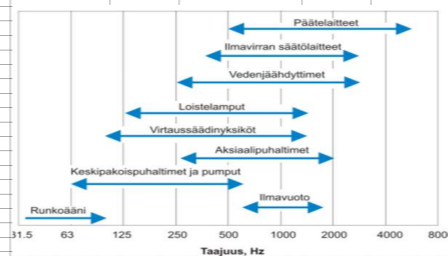
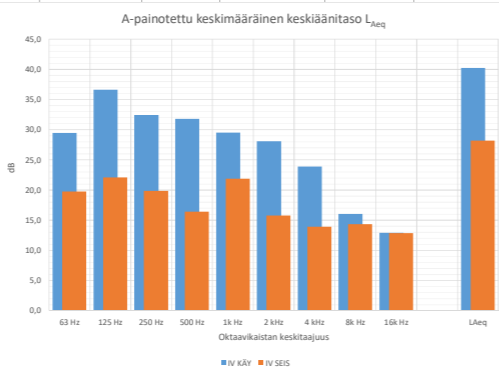
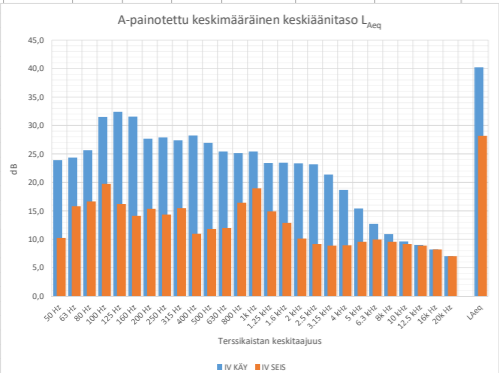
jälkikaiunta-ajat [s]	A-ÄÄNITASOT ENERGIASII			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
L2eq 25Hz	27,1	20,6	6,5	516
L2eq 31.5Hz	33,8	23,6	10,2	2422
L2eq 40Hz	32,1	18,7	13,4	1619
L2eq 50Hz	30,9	16,4	14,5	336
L2eq 63Hz	29,4	21,1	8,3	877
L2eq 80Hz	26,9	14,4	12,5	490
L2eq 100Hz	22,0	13,7	8,3	160
L2eq 125Hz	15,5	14,3	1,2	35
L2eq 160Hz	12,9	12,9	0,0	20
$L_{w,eq}$	39	28	11	38

jälkikaiunta-ajat [s]	TERSSI-KAISTAISEN OKTAAVI-KAISTAISIKSI						IV'n tasot yksin A-käyrälle EROTUS [dB]
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	
59,4 50 Hz							
54,0 63 Hz							
50,1 125 Hz							
41,7 250 Hz							
34,6 500 Hz							
29,6 1k Hz							
25,7 2 kHz							
21,4 4 kHz							
16,3 8 kHz							
19,5 16 kHz							
$L_{w,eq}$	39	28	11	38			

Opetustila			Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrityn jälkikaiunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot				T [500 Hz] = 0,5	
3332			Oktavaiv keskitaajuus [Hz]				Jälkikaiunta- aika T' [s]				Absorptioala A' [m²·Sab]	
Pinta-ala [m²]			L _{wa} [dB]				Huonevaimennus D _{w,ra} [dB]				LA energia 10 ⁴ (L _w /10)	
126,5 3,5 443			63 29,0				0,8				788	
Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L _{wa}			125 36,5				0,8				1402	
40 dB			250 32,2				0,5				601	
			500 31,7				0,5				989	
			1000 29,5				0,5				593	
			2000 27,8				0,5				341	
			4000 23,5				0,5				133	
			8000 16,1				0,5				40	
			16000 12,9				0,5				20	
			LAeq 40									

MagiCAD-mallituksen tuloksilla lasketut äänitasot

Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen äänitehot aso (+4 dB)	Energia 10	äänitehojen yhteenlaskettu ääniteho	tilan todellinen absorptioala (500 Hz oktaavikaistalla)	tilan todellisella huonevaimennuksella (500 Hz) korjattu A-äänitaso
L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	A [m²·Sab]	L _a [dB]
27	31	1259	41	95,6	27
28	32	1585			
29	33	1995			
29	33	1995			
29	33	1995			
30	34	2512			
29	33	1995			



jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSYSTEIDEN KESKIARVO					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
50 Hz	4,2	3,6	4,2	3,2	3,8	3,9
63 Hz	4,2	3,4	4,8	3,1	2,9	2,8
80 Hz	2,6	3,2	2,4	2,8	3,1	2,7
100 Hz	3,4	2,0	3,0	1,7	2,2	2,5
125 Hz	1,5	2,0	2,4	1,6	1,5	1,5
160 Hz	1,4	2,3	1,6	1,6	1,6	1,4
200 Hz	1,2	1,5	1,5	1,2	1,6	1,7
250 Hz	1,0	1,0	1,2	0,9	0,8	1,2
315 Hz	0,6	0,9	0,7	1,1	0,9	1,0
400 Hz	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9
500 Hz	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7
630 Hz	0,6	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5
800 Hz	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7
1k Hz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
1.25 kHz	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
1.6 kHz	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
2 kHz	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2.5 kHz	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
3.15 kHz	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	0,9
4 kHz	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8
5 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSYSTEIDEN KESKIARVO			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS
L _{wa} [dB]	[dB]	[dB]	[dB]	energia 10 ⁴ (L/10)
L2eq 25Hz	64,3	49,1	64,3	2664744
L2eq 31.5Hz	61,3	40,6	61,3	1357636
L2eq 40Hz	53,6	40,8	53,6	229681
L2eq 50Hz	54,1	40,4	54,1	257280
L2eq 63Hz	50,5	42,0	50,5	113402
L2eq 80Hz	48,1	39,1	48,1	65027
L2eq 100Hz	50,6	38,8	50,6	114862
L2eq 125Hz	48,5	32,3	48,5	70806
L2eq 160Hz	45,0	27,5	45,0	31558
L2eq 200Hz	38,6	26,2	38,6	7224
L2eq 250Hz	36,5	22,9	36,5	4442
L2eq 315Hz	34,0	22,1	34,0	2495
L2eq 400Hz	33,0	15,8	33,0	2004
L2eq 500Hz	30,2	15,0	30,2	1036
L2eq 630Hz	27,9	13,9	27,9	541
L2eq 800Hz	26,0	17,2	26,0	392
L2eq 1k Hz	25,4	19,0	25,4	347
L2eq 1.25kHz	22,8	14,3	22,8	189
L2eq 1.6kHz	22,4	11,9	22,4	174
L2eq 2 kHz	22,2	8,9	22,2	164
L2eq 2.5 kHz	21,9	7,9	21,9	153
L2eq 3.15 kHz	20,3	7,7	20,3	104
L2eq 4 kHz	17,7	7,9	17,7	58
L2eq 5 kHz	14,9	9,0	14,9	30
L2eq 6.3 kHz	12,8	10,1	12,8	18
L2eq 8 kHz	12,0	10,7	11,7	15
L2eq 10 kHz	12,1	11,7	11,8	15
L2eq 12.5 kHz	13,3	13,7	13,8	20
L2eq 16 kHz	14,8	14,6	14,6	29
L2eq 20 kHz	16,3	16,3	16,1	41

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSYSTEIDEN KESKIARVO				
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS	
L _{wa} [dB]	[dB]	[dB]	[dB]	energia 10 ⁴ (L/10)	
A-painotus	L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	energia 10 ⁴ (L/10)	
50 Hz	-30,2	23,9	10,2	23,9	246
63 Hz	-26,2	24,3	15,8	24,3	272
80 Hz	-22,5	25,6	16,6	25,6	366
100 Hz	-19,1	31,5	19,7	31,5	1413
125 Hz	-16,1	32,4	16,2	32,4	1738
160 Hz	-13,4	31,6	14,1	31,6	1443
200 Hz	-10,9	27,7	15,3	27,7	587
250 Hz	-8,6	27,9	14,3	27,9	614
315 Hz	-6,6	27,4	15,5	27,4	546
400 Hz	-4,8	28,2	11,0	28,2	664
500 Hz	-3,2	27,0	11,8	27,0	496
630 Hz	-1,9	25,4	12,0	25,4	350
800 Hz	-0,8	25,2	15,4	25,2	328
1k Hz	0,0	25,4	19,0	25,4	349
1.25 kHz	0,6	23,4	14,9	23,4	218
1.6 kHz	1,0	23,4	12,9	23,4	221
2 kHz	1,2	23,4	10,1	23,4	217
2.5 kHz	1,3	23,2	9,2	23,2	208
3.15 kHz	1,2	21,4	8,9	21,4	138
4 kHz	1,0	18,7	8,9	18,6	74
5 kHz	0,5	15,4	9,5	15,3	35
6.3 kHz	-0,1	12,7	10,0	12,5	19
8 kHz	-1,1	10,9	9,6	10,6	12
10 kHz	-2,5	9,6	9,2	9,3	8
12.5 kHz	-4,3	9,0	8,9	8,7	8
16 kHz	-6,6	8,2	8,2	8,2	7
20 kHz	-9,3	7,0	7,0	6,8	5
LAeq		40	28	40	

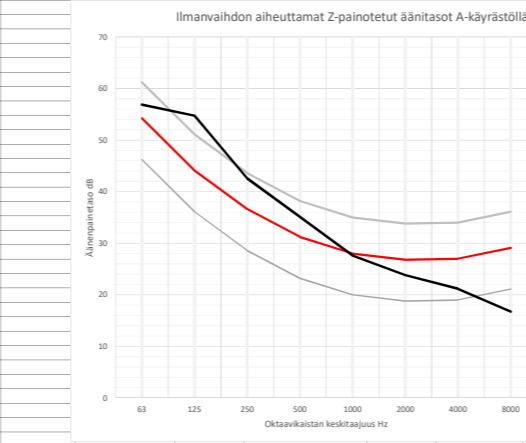
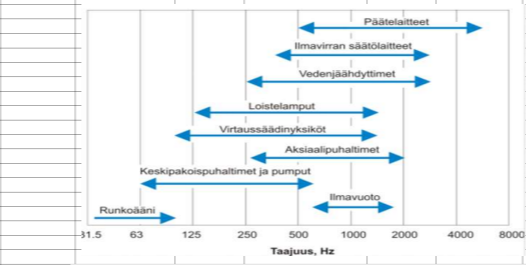
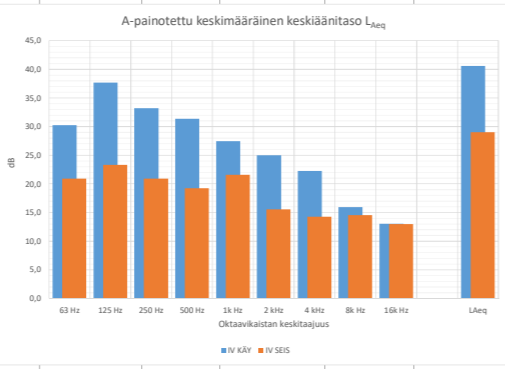
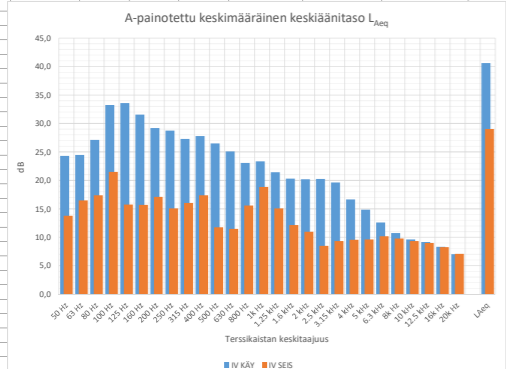
A-ÄÄNITASOT ENERGIASI			
IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	JÄLKIKAIUNTA-AIKA
L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	[s]
40	28	40	

TERSSI-KAISTAISET OKTAAVI-KAISTAISIKSI						
IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	IV KÄY		EROTUS	
			L _{wa} [dB]	energia 10 ⁴ (L/10)		
[Hz]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	
63 Hz	29,5	19,8	29,0	883	95	788
125 Hz	36,6	22,1	36,5	4594	161	4433
250 Hz	32,4	19,9	32,2	1747	97	1650
500 Hz	31,8	16,4	31,7	1511	44	1467
1k Hz	29,5	21,9	28,7	895	153	741
2 kHz	28,1	15,8	27,8	646	38	608
4 kHz	23,9	13,9	24,6	246	25	222
8 kHz	16,1	14,4	40	27		
16 kHz	12,9	12,9	20	19		
L _{wa}	40	28	40			

IV'n tasot yksin A-käyrälle	
L _{wa} [dB]	[Hz]
66,3	50 Hz
56,4	63 Hz
53,4	125 Hz
41,5	250 Hz
35,5	500 Hz
29,7	1k Hz
26,9	2 kHz
23	4 kHz
16,8	8 kHz
19,5	16 kHz

Opetustila				Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrityn jälkikaiunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot				
3328				Oktavaiv keskitaajuus [Hz]	L _{eq} [dB]	Jälkikaiunta- aika T' [s]	Absorptioala A' [m²·Sab]	Huonevaimennus D _{w,abs} [dB]	T [500 Hz] = 0,5	Absorptioala A [m²·Sab]	Huonevaimennus D _{w,abs} [dB]	LA energia 10 ⁴ (L _A /10)
Pinta-ala [m²]	h [m]	V [m³]	329	63	29,7	2,6	20,6	7,1	63	29,7	936	
Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L _{eq}	40	dB		125	37,5	1,3	41,2	10,1	125	32,2	1654	
				250	33,0	0,8	69,8	12,4	250	28,9	777	
				500	31,1	0,8	67,1	12,2	500	29,3	854	
				1000	27,5	1,0	54,2	11,3	1000	25,5	355	
				2000	24,5	0,8	62,1	11,9	2000	21,6	145	
				4000	21,5				4000	19,2	84	
				8000	15,9				8000	15,9	39	
				16000	13,0				16000	13,0	20	
				L _{Aeq}	40				L _{Aeq}	37		

MagiCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot					
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen äänitehot aso (+4 dB)	Energia 10	Päätelaitteen äänitehot kettu	Malliinnuksen äänitehot	Tilan todellinen äänitaso (500 Hz oktaavikaistalla)
L _{pa} [dB]	L _{wa} [dB]	L _{wa} [dB]	L _{ka} [dB]	L _{ka} [dB]	L _A [dB]
33	37	5012	44	40	69,8
31	35	3162			
33	37	5012			
32	36	3981			
36	40	10000			



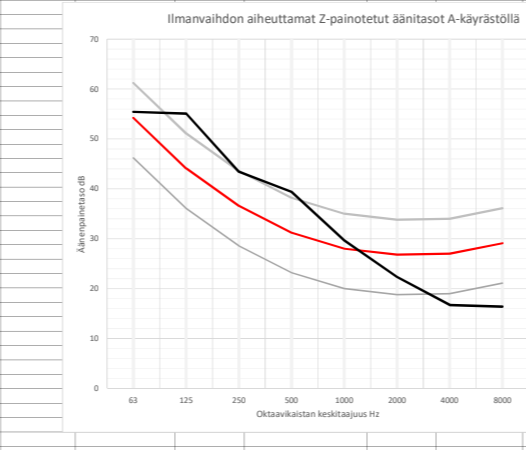
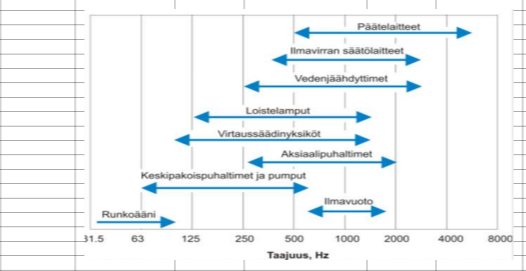
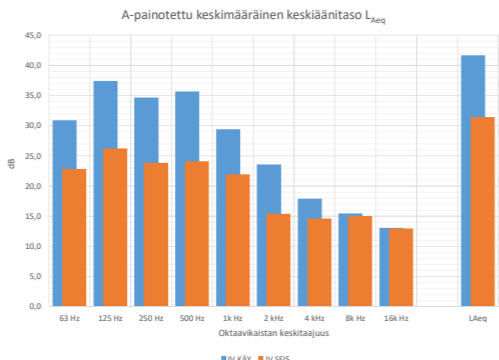
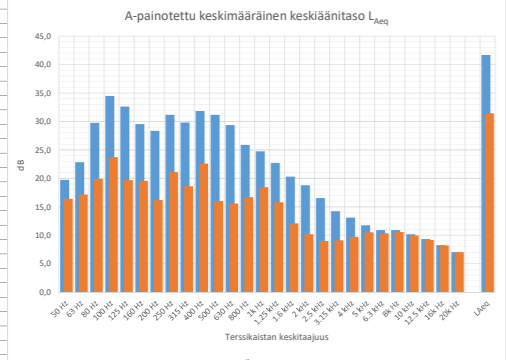
jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA						EROTUS [dB]	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
	1.	2.	3.	4.	5.	6.		
L _{eq} 25Hz	4,5	4,5	4,4	4,3	4,3	4,2	70,1	10339926
L _{eq} 31,5Hz	4,3	4,8	4,1	3,4	3,0	4,5	59,2	836166
L _{eq} 40Hz	3,6	3,9	3,8	3,3	3,5	3,3	53,9	244582
L _{eq} 50Hz	2,7	3,2	2,8	2,5	2,5	2,3	54,5	279913
L _{eq} 63Hz	2,1	2,4	2,2	2,1	1,9	2,5	50,6	115995
L _{eq} 80Hz	1,5	1,6	1,8	1,5	1,7	2,1	49,6	91232
L _{eq} 100Hz	1,2	1,5	1,5	1,1	1,3	1,3	52,4	172626
L _{eq} 125Hz	1,4	1,2	1,0	1,0	0,9	1,1	49,7	93255
L _{eq} 150Hz	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	49,7	93255
L _{eq} 200Hz	0,8	0,5	0,9	0,8	0,7	0,9	45,0	31395
L _{eq} 250Hz	0,8	0,6	0,8	0,7	0,7	0,5	40,1	10196
L _{eq} 315Hz	0,8	0,6	0,8	0,7	0,7	0,5	37,3	5399
L _{eq} 400Hz	0,8	0,6	0,8	0,7	0,7	0,5	33,9	2450
L _{eq} 500Hz	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	32,6	1815
L _{eq} 630Hz	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	29,7	994
L _{eq} 800Hz	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	27,0	489
L _{eq} 1k Hz	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	0,7	23,8	243
L _{eq} 1,25 kHz	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	0,9	23,3	213
L _{eq} 1,6 kHz	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	20,8	119
L _{eq} 2 kHz	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	19,3	84
L _{eq} 2,5 kHz	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	0,9	19,0	78
L _{eq} 3,15 kHz	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	19,0	78
L _{eq} 4 kHz	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	18,4	69
L _{eq} 5 kHz	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	15,7	36
L _{eq} 6,3 kHz							14,3	26
L _{eq} 8 kHz							12,7	18
L _{eq} 10 kHz							11,8	14
L _{eq} 12,5 kHz							12,1	15
L _{eq} 16 kHz							13,5	18
L _{eq} 20 kHz							14,9	21
L _{Aeq}							16,4	42

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA				A-ÄÄNITASOT ENERGIASII				JKA-MITTAUSTEN KESKIARVO
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	
L _{eq} 25Hz	-30,2	24,3	13,8	24,3	24	244	4,3		
L _{eq} 31,5Hz	-26,2	24,4	16,5	24,4	278	44	234	4,0	
L _{eq} 40Hz	-22,5	27,1	17,4	27,1	513	55	458	3,6	
L _{eq} 50Hz	-19,1	33,3	21,5	33,3	2124	141	1983	2,7	
L _{eq} 63Hz	-16,1	33,6	15,7	33,6	2289	37	2252	2,2	
L _{eq} 80Hz	-13,4	31,6	15,7	31,6	1435	51	1398	1,7	
L _{eq} 100Hz	-10,9	29,2	17,1	29,2	829	57	777	1,3	
L _{eq} 125Hz	-8,6	28,7	15,1	28,7	746	32	713	1,1	
L _{eq} 150Hz	-6,6	27,3	16,0	27,3	537	40	497	0,8	
L _{eq} 200Hz	-4,8	27,8	17,4	27,8	602	55	547	0,8	
L _{eq} 250Hz	-3,2	26,5	11,7	26,5	448	15	433	0,7	
L _{eq} 315Hz	-1,9	25,1	11,5	25,1	323	14	309	0,6	
L _{eq} 400Hz	-0,8	23,1	15,6	23,0	203	36	167	0,6	
L _{eq} 500Hz	0,0	23,3	18,8	23,3	215	76	139	0,7	
L _{eq} 630Hz	0,6	21,4	15,1	21,4	138	32	106	0,8	
L _{eq} 800Hz	1,0	20,3	12,2	20,2	107	16	90	0,9	
L _{eq} 1k Hz	1,2	20,2	11,0	20,1	104	13	92	1,0	
L _{eq} 1,25 kHz	1,3	20,3	8,5	20,2	106	7	99	1,0	
L _{eq} 1,6 kHz	1,2	19,6	9,3	19,6	92	9	83	0,9	
L _{eq} 2 kHz	1,0	16,7	9,6	16,6	46	9	37	0,8	
L _{eq} 2,5 kHz	0,5	14,8	9,6	14,7	30	9	21	0,7	
L _{eq} 3,15 kHz	-0,1	12,6	10,2	12,4	18	10	8		
L _{eq} 4 kHz	-1,1	10,7	9,8	10,4	12	10	2		
L _{eq} 5 kHz	-2,5	9,6	9,4	9,3	9	9	1		
L _{eq} 6,3 kHz	-4,3	9,2	9,0	8,9	8	8	0		
L _{eq} 8 kHz	-6,6	8,3	8,3	8,1	7	7	0		
L _{eq} 10 kHz	-9,3	7,1	7,1	6,9	5	5	0		
L _{Aeq}		41	29	40					

jälkikaiunta-ajat [s]	TERSSI-KAISTAISET OKTAAVI-KAISTAISIKSI						IV:n tasot yksin A-käyrälle EROTUS [dB]
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	
L _{eq} 25Hz	30,2	20,9	29,7	1059	123	936	4,2
L _{eq} 31,5Hz	37,7	23,3	37,5	5848	216	5633	2,6
L _{eq} 40Hz	33,2	20,9	33,0	2111	124	1987	1,3
L _{eq} 50Hz	31,4	19,2	31,1	1373	83	1289	0,8
L _{eq} 63Hz	27,5	21,6	26,1	557	145	412	0,8
L _{eq} 80Hz	25,0	15,4	24,5	318	36	282	1,0
L _{eq} 100Hz	22,3	14,3	21,5	168	27	142	0,8
L _{eq} 125Hz	15,9	14,6	39	29			
L _{eq} 16 kHz	13,0	13,0	20	20			
L _{eq}	41	29	40				

Opetustila				Mittattu tilanne, vain IV:n tuottamat äänitasot				Määrityn jälkikaiunta-ajan / abs. alan mukainen muutos, vain IV:n tuottamat äänitasot						
3318				Oktavaiv keskitajuus [Hz]	L_{Aeq} [dB]	Jälkikaiunta- aika T' [s]	Absorptioala A' [m ² -Sab]	Huonevaimennus $D_{w,abs}$ [dB]	Oktavaiv keskitajuus [Hz]	L_{Aeq} [dB]	Jälkikaiunta- aika T' [s]	Absorptioala A' [m ² -Sab]	Huonevaimennus $D_{w,abs}$ [dB]	LA energia 10 ⁴ (L _A /10)
Pinta-ala [m ²]	h [m]	V [m ³]	219	63	30,2	2,9	11,9	4,7	125	31,2	0,8	46,7	10,7	1044
Ilmanvaihdon tuottama keskiäänitaso L_{Aeq}	41	dB		250	34,3	1,5	22,7	7,5	500	35,4	1,2	29,9	8,7	1309
				1000	29,4	1,1	30,5	8,8	2000	22,8	1,1	31,9	9,0	874
				4000	15,2	0,8	41,4	10,2	8000	15,4				1474
				16000	13,1				16000	13,1				381
				LAeq	41				LAeq	37				88

MagiCAD-mallinnuksen tuloksilla lasketut äänitasot					
Päätelaitteen A-äänitaso MagiCAD-mallinnuksessa	Päätelaitteen äänitehot aso (+4 dB)	Energia 10	päätelaitteiden yhteenlaskettu äänitehot	Malliinnuksen äänitasoilla	Tilan todellinen absorptioala (500 Hz oktaavikaistalla)
$L_{A(10)}$ [dB]	L_{WA} [dB]		L_{WA} [dB]	L_A [dB]	A
27	31	1259	38	34	29,9
30	34	2512			
30	34	2512			
24	28	631			



jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
50 Hz	4,7	4,2	3,2	5,5	3,6	3,6
63 Hz	4,1	3,1	3,9	5,2	2,5	5,2
80 Hz	3,8	4,1	3,5	2,6	3,8	4,1
100 Hz	3,1	3,0	2,6	3,4	2,5	3,3
125 Hz	3,2	3,3	2,5	2,9	2,5	3,5
160 Hz	2,3	2,7	1,6	1,9	2,5	1,9
200 Hz	1,8	1,7	1,7	1,3	1,3	1,8
250 Hz	1,3	1,3	1,3	1,2	1,4	1,4
315 Hz	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3
400 Hz	1,4	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1
500 Hz	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
630 Hz	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2	1,1
800 Hz	1,1	1,2	1,0	1,3	1,1	1,0
1k Hz	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1
1.25 kHz	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1
1.6 kHz	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
2 kHz	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1
2.5 kHz	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
3.15 kHz	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4 kHz	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
5 kHz	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
L _{Aeq}	63,3	51,0	63,3	2116225
L _{250 Hz}	54,4	44,0	54,4	275530
L _{400 Hz}	50,7	41,4	50,7	118077
L _{800 Hz}	50,0	46,6	50,0	99217
L _{1250 Hz}	49,1	43,3	49,1	80674
L _{2000 Hz}	52,3	42,4	52,3	168735
L _{3150 Hz}	53,6	42,8	53,6	229095
L _{5000 Hz}	48,7	35,8	48,7	74707
L _{8000 Hz}	43,0	33,0	43,0	19731
L _{12500 Hz}	39,2	27,1	39,2	8378
L _{20000 Hz}	39,7	29,7	39,7	9437
L _{31500 Hz}	36,4	25,2	36,4	4353
L _{50000 Hz}	36,7	27,4	36,7	4627
L _{80000 Hz}	34,4	19,2	34,4	2731
L _{125000 Hz}	31,9	17,5	31,9	1335
L _{200000 Hz}	26,7	17,5	26,7	467
L _{315000 Hz}	24,8	18,5	24,7	297
L _{500000 Hz}	22,1	15,2	22,0	160
L _{800000 Hz}	19,3	11,1	19,2	84
L _{1250000 Hz}	17,6	9,0	17,5	56
L _{2000000 Hz}	15,2	7,7	15,1	32
L _{3150000 Hz}	13,1	7,9	12,9	19
L _{5000000 Hz}	12,1	8,7	11,9	15
L _{8000000 Hz}	11,2	10,0	10,9	12
L _{12500000 Hz}	11,0	10,4	10,6	12
L _{20000000 Hz}	12,0	11,7	11,7	15
L _{31500000 Hz}	12,7	12,5	12,4	17
L _{50000000 Hz}	13,6	13,6	13,4	22
L _{80000000 Hz}	14,8	14,6	14,6	29
L _{125000000 Hz}	16,3	16,3	16,2	41

jälkikaiunta-ajat [s]	MITATUT ÄÄNITASOT, A-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA				A-ÄÄNITASOT ENERGIASII			
	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
L _A	-30,2	19,8	16,4	19,8	95	44	51	4,1
L _{250 Hz}	-26,2	22,9	17,1	22,9	194	52	142	4,0
L _{400 Hz}	-22,5	29,8	19,9	29,8	949	98	851	3,7
L _{800 Hz}	-19,1	34,5	23,7	34,5	2819	235	2583	3,0
L _{1250 Hz}	-16,1	32,6	19,7	32,6	1834	93	1741	2,9
L _{2000 Hz}	-13,4	29,6	19,6	29,6	902	90	812	2,1
L _{3150 Hz}	-10,9	28,3	16,2	28,3	681	41	640	1,6
L _{5000 Hz}	-8,6	31,1	21,1	31,1	1303	129	1174	1,3
L _{8000 Hz}	-6,6	29,8	18,6	29,8	953	73	880	1,1
L _{12500 Hz}	-4,8	31,9	22,6	31,9	1533	182	1351	1,2
L _{20000 Hz}	-3,2	31,2	16,0	31,2	1308	40	1268	1,1
L _{31500 Hz}	-1,9	29,4	15,6	29,4	863	36	827	1,2
L _{50000 Hz}	-0,8	25,9	16,7	25,9	390	47	343	1,1
L _{80000 Hz}	0,0	24,8	18,5	24,7	299	70	229	1,1
L _{125000 Hz}	0,6	22,7	15,8	22,6	186	38	147	1,1
L _{200000 Hz}	1,0	20,3	12,1	20,2	107	16	90	1,1
L _{315000 Hz}	1,2	18,8	10,2	18,7	75	10	65	1,0
L _{500000 Hz}	1,3	16,5	9,0	16,4	45	8	37	1,0
L _{800000 Hz}	1,2	14,3	9,1	14,1	27	8	18	0,9
L _{1250000 Hz}	1,0	13,1	9,7	12,9	20	9	11	0,7
L _{2000000 Hz}	0,5	11,7	10,5	11,4	15	11	4	0,6
L _{3150000 Hz}	-0,1	10,9	10,3	10,5	12	11	2	
L _{5000000 Hz}	-1,1	10,9	10,6	10,6	12	11	1	
L _{8000000 Hz}	-2,5	10,2	10,0	9,9	10	10	1	
L _{12500000 Hz}	-4,3	9,3	9,2	9,1	9	8	0	
L _{20000000 Hz}	-6,6	8,2	8,2	8,0	7	7	0	
L _{31500000 Hz}	-9,3	7,0	7,0	6,9	5	5	0	
LAeq	42	31	41					

TERSSI-KAISTAISET OKTAAVI-KAISTASIKSI				IV:n tasot yksin A-käyrälle			
[Hz]	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	jälkikaiunta- aika [s]
63 Hz	30,9	22,9	30,2	1237	193	1044	4,3
125 Hz	37,4	26,2	37,1	5554	419	5136	2,9
250 Hz	34,7	23,9	34,3	2937	243	2694	1,5
500 Hz	35,7	24,1	35,4	3704	259	3445	1,2
1k Hz	29,4	21,9	28,6	874	155	719	1,1
2 kHz	23,6	15,4	22,8	227	35	192	1,1
4 kHz	17,9	14,6	15,2	62	29	33	0,8
8 kHz	15,4	15,1		35	32		
16 kHz	13,1	13,0		20	20		

MITATUT ÄÄNITASOT, Z-PAINOTUS, MITTAUSPISTEIDEN KESKIARVOINA			
IV KÄY	IV SEIS	EROTUS	EROTUS energia 10 ⁴ (L/10)
42	31	41	

Annex A

EXAMPLE OF CONVERSION OF REVERBERATION TIME IN 1/3-OCTAVE
BANDS TO 1/1-OCTAVE BANDS

An empirical conversion¹⁾ of reverberation times (T_1, T_2, T_3) in three 1/3-octave bands to reverberation time (T_{Oct}) in one octave band is given by

$$T_{\text{Oct}} = T_3 - \frac{2 T_3 - T_2 - T_1}{5} + \frac{(2 T_3 - T_2 - T_1)^2}{10 T_3} \quad (\text{A.1})$$

where

$$T_3 > T_2 > T_1$$

For $T_3 > 2 T_1$, replace T_1 by T_3

The error is estimated to be within $\pm 10\%$.

1) Source: Brüel & Kjær manual for the Building Acoustics Analyzer 4418

