

Jarkko Hämäläinen

Äänimittaustyön kehittäminen talotekniikan koulutukseen

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutus

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri(AMK)
Tekijä/Tekijät	Jarkko Hämäläinen
Työn nimi	Äänimittaustyön kehittäminen talotekniikan koulutukseen
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2022
Sivut	45 sivua, liitteitä 11 sivua
Työn ohjaaja(t)	Jarkko Kolehmainen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää talotekniikan laboratorioissa tehtäviä äänimittauksia ja luoda uusi työohje opintojaksoilla käytettäväksi. Aikaisemmin ääneen liittyvät työt ovat olleet varsin mittauspainotteisia, ja yhtenä tavoitteena oli tutkia, miten äänitekniikan laskennan lisääminen mittauksiin onnistuisi. Laboratoriossa on kanavisto, johon on kiinnitetty puhallin ja johon pystyy vaihtamaan päätelaitteita ja kanavaosia. Valmiin laitteiston myötä tutkimus painottui ilmanvaihdon äänitekniikkaan.

Työ koostuu kirjallisuustutkielmasta, jossa tutustutaan ääneen ja äänitekniikan laskentaan ilmanvaihtolaitteistossa, huoneakustiikkaan sekä äänen mittaamiseen. Opettajilta, jotka opettavat ääneen liittyviä kursseja, kyseltiin kehitysideoita siitä, minkälaisia ilmiöitä oppilaat voisivat tutkia. Lisäksi laboratoriossa tehtiin koemittauksia ja perehdyttiin sen tarjoamiin mahdollisuuksiin.

Työn lopputuloksena syntyi työohje, jossa yhdistetään äänitekniikan laskenta, absorptioalan määrittäminen mittaamalla sekä äänenpainetasojen mittaaminen. Työssä oppilaat määrittävät ennakkotehtävänä järjestelmän synnyttämän äänenpainetason mittaushuoneessa laskemalla ja vertaavat laskemalla saatuja tuloksia mittauksiin.

Koemittauksissa tulokset vaikuttivat vertailukelpoisilta keskenään, mutta ongelmia aiheutti mittaustilan korkea taustamelutaso ja ympäristön vaihtelevat ääniolosuhteet. Lisäksi olemassa olevan järjestelmän rakenneratkaisut osoittautuivat hankaliksi, kun kanaviston osia haluttiin vaihtaa.

Työn lopputuloksena voidaan todeta työssä suunnitellun työn olevan toteuttamiskelpoinen talotekniikan opiskelijoiden laboratoriotyönä. Jatkokehitystä vaativat mittaustilat, joiden äänieristys ympäröiviin tiloihin on heikko tällä hetkellä. Lisäksi mittauksessa käytettävän järjestelmän jatkokehittäminen olisi tarpeen. Tällä hetkellä kanaviston osien vaihto on hankalaa ja saattaa aiheuttaa ongelmia mittauksissa esimerkiksi huonosti paikallaan olevan liitoksen takia. Järjestelmän kehittäminen mahdollistaisi myös erilaisten kanavaosien, esimerkiksi säätöpeltien, lisäämisen järjestelmään ja niiden vaikutuksen äänentuottoon tutkimisen.

Asiasanat: äänitekniikka, ilmanvaihto, rakennusakustiikka, talotekniikka

Degree title	Bachelor of engineering
Author (authors)	Jarkko Hämäläinen
Thesis title	Development of sound measurement laboratories for HVAC-studies
Commissioned by	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Time	2022
Pages	45 pages, 11 pages of appendices
Supervisor	Jarkko Kolehmainen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to develop sound measurements that are done by students in HVAC-laboratories. The current laboratory experiments emphasize measuring and the aim was to examine if it is possible to include some basic sound engineering calculations in them. In the HVAC laboratories in Mikkeli there is a short ductwork which has its own blower and air valves. Use of this system was chosen to be the main object of development.

The first part of the thesis was to become familiar with sound in ventilation and room acoustics. After that, instructions for a new laboratory experiment were drawn up. In this experiment students first calculate sound pressure levels from initial values for the blower and air valves that are given to them, and then they measure the pressure levels with the same values. The final part of the thesis was to test the new experiment.

In conclusion, it can be stated that the experiment that was developed works as a laboratory experiment for HVAC engineering students. However, the measuring room and the ductwork need improvement. Background noise levels are so high in the measuring room that they interfere with measurements and it could be easier to modify the ductwork. Now it is too easy to make a bad joint in the ductwork and it can interfere with measurements.

Keywords: acoustics, ventilation, HVAC, sound measurements

SISÄLLYS

LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 ÄÄNI.....	7
2.1 Yleistä.....	7
2.2 Melu ja sen vaikutukset.....	12
3 ÄÄNI LVI-TEKNIKASSA.....	13
3.1 Vaatimukset.....	13
3.2 Akustiikka.....	14
3.3 Taloteknisten järjestelmien tuottama ääni.....	18
3.4 Ääni ilmanvaihtojärjestelmissä.....	19
3.5 Laskenta.....	24
4 ÄÄNEN MITTAAMINEN.....	26
4.1 Äänen mittaukseen liittyvät lait ja standardit.....	26
4.2 Mittalaitteet.....	27
5 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	29
5.1 Menetelmät.....	29
5.2 Nykyiset laboratoriotyöt.....	29
6 TULOKSET.....	30
7 KOEJÄRJESTELYJEN TESTAUS.....	32
7.1 Äänenpainetason L_P määrittäminen laskemalla.....	32
7.2 Jälkikaiunta-aika ja absorptiopinta-ala.....	36
7.3 Kokonaisäänepainetason L_P määrittäminen mittaamalla.....	37
7.4 Laskettujen tulosten muuttaminen vertailukelpoisiksi ja tulosten vertailu.....	38
8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	42
LÄHTEET.....	44
LIITTEET	

Liite 2. Nor-140 pikaohje jälkikaiunta-ajan ja äänenpainetasojen mittaamiseen

Lyhenteet

f	taajuus	[Hz]
n	värähtelyiden määrä	
T	aikajakso/jälkikaiunta-aika	[s]
c	äänen nopeus	[m/s]
λ	aallonpituus	[m]
L_P	äänenpainetaso	[dB]
p	tarkasteltava äänenpaine	[Pa]
L_W	äänitehotaso	[dB]
W	ääniteho	[W]
I	äänen intensiteetti	[W/m ²]
S	pinta-ala	[m ²]
L_I	äänen intensiteettitaso	[dB]
$L_{A,eq,T}$	Keskiäänitaso mittausjaksolla	[dB]
T_i	Hetkellisen äänitason mittausaika	[-]
L_A	Hetkellinen äänitaso	[dB]
L_{ps}	Suoraan tuleva äänenpainetaso	[dB]
Q	avaruuskulma, johon äänilähde säteilee	[rad]
r	havaintopisteen etäisyys äänilähteestä	[m]
A	huoneabsorptio	[m ²]
α	pinnan absorptiosuhde	[-]
L_{pd}	diffuusin äänikentän äänenpainetaso	[dB]
W_i	rakenteeseen kohdistuva ääniteho [W]	
W_r	rakenteesta heijastuva ääniteho	[W]
W_i	rakenteen läpäisevä ääniteho	[W]
L_0	ominisäänitehotaso	[dB]
$D_{pääte}$	päätevaimennus	[dB]
D_{haara}	haarautumisen aiheuttama vaimennus	[dB]
Q	puhaltimen tuottama tilavuusvirta	[m ³ /s]
q	kanavahaaran tilavuusvirta	[m ³ /s]
L_s	Kokonaisäänitaso	[dB]
$L_{1,2..n}$	Yhteenlaskettavat äänitasot	[dB]

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Mikkelin kampuksen LVI-laboratorioissa suoritettavia äänimittauksia. LVI-laboratorioiden kurssi kuuluu ammattiaineiden ryhmään, ja kurssilla on tarkoitus perehtyä LVI-tekniikkiin mittauksiin ja mittalaitteisiin erilaisissa LVI-tekniikan sovelluksissa. Laboratorioista löytyy esimerkiksi maalämpöpumppujärjestelmä, jonka avulla voidaan perehtyä maalämpöpumpun toimintaan, sekä IV-kanavisto, jonka avulla voidaan harjoitella kanavistojen tasapainottamista.

Nykyisin laboratoriossa oppilaiden tekemät äänimittaukset painottuvat mittaukseen, ja ajatuksena on pohtia, miten mukaan saataisiin äänitasojen laskennallista mallintamista. Kurssia suorittavat opiskelijat ovat loppuvaiheen opiskelijoita, ja äänitekniset laskut ovat tuttuja aiemmilta kursseilta. Laboratoriossa opittuja asioita olisi luonnollista kokeilla käytäntöön ja kerrata opittua. Tavoitteena opinnäytetyössä on kehittää äänityö ja kirjoittaa siihen työohje, jota pystytään hyödyntämään laboratoriokursseilla.

2 ÄÄNI

2.1 Yleistä

Ääni on etenevä aaltoliike, joka aiheuttaa paineen vaihtelua väliaineeseen. Ihmisen korva aistii nämä painenvaihtelut äänenä. Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen ja jos väliaine on ilma, puhutaan ilmaäänestä. Ilmassa ja muissa kaasuissa sekä nesteissä, ääni etenee pitkäaalttona poispäin äänilähteestä. Jos väliaineena on kiinteä aine, aalto voi liikkua myös etenemissuuntaan nähden poikittain. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 35–36.)

Ihmiskorva pystyy aistimaan ääniä, joiden taajuus on välillä 20 Hz–20 000 Hz. Infraäänillä tarkoitetaan alle 20 Hz ääniä, jotka voidaan aistia tärinänä. Taajuus määritellään

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

jossa	f	taajuus	[Hz]
	n	värähtelyiden määrä	

T aikajakso [s]

Ilmassa äänen nopeus on

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

jossa c äänen nopeus [m/s]
t ilman lämpötila [°C]

Pitkittäisaallon aallonpituus voidaan ratkaista

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

jossa λ aallonpituus [m]

Ihminen aistii eritaajuisia ääniä eri tavalla, ja tämä otetaan huomioon käyttämällä erilaisia taajuuspainotuksia. Toinen kuuloaistimukseen vaikuttava tekijä on äänen voimakkuus, ja myös se vaikuttaa taajuuspainotuksen valintaan. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 35–36; 39.)

Taajuuskaistat

Koska ihmisen kuuloaistin herkkyys vaihtelee äänen taajuuden mukaan, käytetään äänitasojen mittaamisessa ja ilmoittamisessa taajuuskaistoja. Yleisimmin käytössä ovat oktaavi- ja terssikaistat. Oktaavikaistoissa kaistan keskiaänentaajuus kaksinkertaistuu kaistojen välissä. Terssi- eli kolmannesoktaavikaistoissa oktaavikaista on jaettu kolmeen osaan niin, että terssikaistan keskitaajuudesta saadaan seuraavan terssikaistan keskitaajuus kertomalla se $\sqrt[3]{2}$. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 37.) Taulukossa 1 on esitetty oktaavi- ja terssikaistojen taajuusalueet. Oikealla puolella taulukkoa on merkitty oktaavikaista ja sen ala- ja ylärajataajuudet sekä kaistan leveys. Oikealla puolella taulukkoa terssikaistoista esitetty samat tiedot. Taulukko on jaettu vaakaviivoilla osiin ja viivojen väliin jäävät terssikaistat kuuluvat vasempaan reunaan merkittyyn oktaavikaistaan. Esimerkiksi oktaavikaista 63 Hz muodostuu terssikaistoista 50 Hz, 63 Hz ja 80 Hz.

Taulukko 1 Oktaavi- ja terssikaistojen taajuusalueet, Hz (Halme & Seppänen 2003, 6.)

Oktaavi- kaistat				Terssi- kaistat			Terssi- kais- tan leveys
Keski- taajuus	Alaraja- taajuus	Yläraja- taajuus	Oktaavi- kaistan leveys	Keski- taajuus	Alaraja- taajuus	Yläraja- taajuus	
63	45	90	45	50	45	56	11
				63	56	71	15
				80	71	90	19
125	90	180	90	100	90	112	22
				125	112	140	28
				160	140	180	40
250	180	355	180	200	180	224	44
				250	224	280	56
				315	280	355	75
500	355	710	355	400	355	450	95
				500	450	560	110
				560	630	710	150
1000	710	1400	700	800	710	900	190
				1000	900	1120	220
				1250	1120	1400	280
2000	1400	2800	1400	1600	1400	1800	400
				2000	1800	2240	440
				2500	2240	2800	560
4000	2800	5600	2800	3150	2800	3550	750
				4000	3550	4500	950
				5000	4500	5600	1100
8000	5600	11200	5600	6300	5600	7100	1500
				8000	7100	9000	1900
				10000	9000	11200	2000

Taajuuskaistoihin jakaminen mahdollistaa äänenpainetasojen tarkastelun ihmiskuulon herkkyyden vaihtelu eri taajuuskaistoilla huomioiden. Yleisimmin on käytössä A-taajuuspainotus, jossa korostetaan taajuusaluetta 2000–5000 Hz. On olemassa myös C-painotus, joka soveltuu kovien äänien tarkasteluissa käytettäväksi. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 39.)

Äänenpaine ja äänenpainetaso L_p

Äänenpaineella tarkoitetaan äänen aiheuttamaa paineenvaihtelua väliaineessa. Ihmisen kuulokynnys on noin 20 μPa , ja kipua ääni alkaa tuottamaan noin 20 Pa äänenpaineella. Koska äänenpaineen vaihteluväli on suuri, arvojen ollessa samanaikaisesti kokoluokaltaan pieniä käytetään äänenpaineen tarkastelussa yleensä vertailuarvoa, joka lasketaan

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

jossa	L_p	äänenpainetaso	[dB]
	p	tarkasteltava äänenpaine	[Pa]
	p_0	kuulokynnys 20 μ Pa	

Kun äänenpainetasot ilmoitetaan desibeleinä, tekee se numeroarvoista helppompia käsitellä. Desibeli on kuitenkin luonteeltaan logaritminen, ja tämän seurauksena niillä laskettaessa pitää muistaa käyttää logaritmisia laskukaavoja. Esimerkiksi kahden yhtä suuren äänenpainetason omaavan äänilähteen sijoittaminen lähekkäin, ei kaksinkertaista äänenpainetasoa vaan se kasvaa 3 dB. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 36–37.)

Desibelien käytölle löytyy syy myös ihmisen aistien toiminnasta. Weberin laki toteaa, että ihmisten aistihavaintojen voimakkuuden kasvu ei ole suoraan verrannollista aistittavan ilmiön voimakkuuden kasvun kanssa. Sen sijaan ihminen aistii suhteellisesti yhtä suuret voimakkuuden muutokset samanlaisina. Kuuloaistin tapauksessa aistimuksen ja äänenpainetason kasvun suhdetta kuvaa kymmenkantainen logaritmi. (Halme, 9.)

Ääniteho ja äänitehotaso L_w

Useasti äänilähteistä ilmoitetaan niiden äänitehotaso, jonka avulla pystytään laskemaan syntyvä äänenpainetaso. Ääniteho tarkoittaa äänilähteen ympäristöön siirtämää kokonaisäänienergiaa sekuntia kohden, ja sen yksikkö on watti. Äänitehosta saadaan laskettua äänitehotaso L_w

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (5)$$

jossa	L_w	äänitehotaso	[dB]
	W	ääniteho	[W]
	W_0	vertailuteho 10^{-12} W	

Tilanteesta riippuen äänitehotaso määritetään oktaavi- tai terssikaistoittain. Oktaavikaistojen määrittäminen on yleisempää. Useasti laitteiden äänitehotasot ilmoitetaan eri käyttöarvoille. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 40–41.)

Äänitehotasoon ei vaikuta ympäristön ominaisuudet ja yksin sen perusteella ei voida kertoa millaisen ääniympäristön äänilähde synnyttää. Ääniympäristön muodostumiseen vaikuttaa tehotason lisäksi ympäristön ominaisuudet, esimerkiksi pintamateriaalien absorptio-ominaisuudet ja äänilähteen etäisyys mittapistestä. Kun äänitehotaso ja ympäristön ominaisuudet tunnetaan, voidaan niiden avulla määrittää äänilähteen ympäristöönsä synnyttämä äänenpaine. Saman äänitehotason vaikutuksesta voikin syntyä hyvin erilaisia äänenpaineita erilaisissa ympäristöissä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 40–41.)

Äänen intensiteetti ja intensiteettitaso L_I

Kolmas suure, josta käytetään desibeleinä ilmoitettavaa vertailulukua, on äänen intensiteetti. Äänen intensiteetillä tarkoitetaan äänitehoa pinta-alaa kohti

$$I = \frac{W}{S} \quad (6)$$

jossa	I	äänen intensiteetti	$[W/m^2]$
	S	pinta-ala	$[m^2]$

ja intensiteettitaso saadaan

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (7)$$

jossa	L_I	äänen intensiteettitaso	$[dB]$
	I_0	vertailuarvo $10^{-12} W/m^2$	

Intensiteetin avulla määritetään äänilähteen äänitehotaso. Intensiteettisuhteiden avulla määritellään myös äänilähteiden suuntaavuudet. Intensiteetin mittaamiseen on olemassa mittalaitteita ja standardi ISO-96142 esittelee soveltuvan mittausmenetelmän. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 41.)

Keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ ja maksimiäänitaso $L_{A,max}$

Yksi melun häiritsevyyteen vaikuttava tekijä on sen kesto. Pitkään kestävä, tasaista ja hiljaista ääntä ei koeta yhtä häiritseväksi, kuin äkillisiä kovia ääniä. Tämän eron huomioimiseen käytetään keskiäänitasa ja maksimiäänitasa. Mittarit osaavat määrittää keskiäänitason automaattisesti, mutta tilanteissa, joissa pitkäaikainen mittaus ei syystä tai toisesta ole mahdollinen, voidaan keskiäänitaso määrittää myös yksittäisistä äänenpainetasoista laskemalla niistä logaritminen keskiarvo kaavan 8 mukaan

$$L_{A,eq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \sum_i T_i * 10^{L_{A,i}/10} \right\} \quad (8)$$

jossa	$L_{A,eq,T}$	Keskiäänitaso mittausjaksolla	[dB]
	T_i	Hetkellisen äänitason mittausaika	[-]
	L_A	Hetkellinen äänitaso	[dB]

Laskemalla keskiäänitaso voidaan määrittää ainoastaan, jos käytettävät hetkellisen äänitason mittaukset ovat edustavia mitattavasta kohteesta. Maksimiäänitaso tarkoittaa suurinta hetkellistä äänitasa, joka mittausajanjaksolle osuus. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 40–41.)

2.2 Melu ja sen vaikutukset

Melua on ei-toivotut äänet ja häiritsevyys voi syntyä joko äänitason suuruudesta tai esimerkiksi vieressä käytävästä keskustelusta. Melun terveysvaikutuksia ovat esimerkiksi kuulovauriot ja uniongelmät sekä puheäänien tuottamisessa esiintyvät ongelmat, jos ääniolosuhteista johtuen joutuu toistuvasti korottamaan ääntään. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 10.)

Melun kokemus on yksilöllinen ja vaihtelee tilanteen ja paikan mukaan paljon. Melun aiheuttamat terveyshaitat ovat tilastollisesti havaittavia ja tästä johtuen ei voida suoraan vetää johtopäätöksiä, minkälaisia terveyshaittoja melu altistuneelle yksilölle aiheuttaa. Yleensä pysyviä kuulovaurioita alkaa syntymään, jos altistuu muutaman kerran kipukynnyksen ylittävälle äänitasolle tai jos altistus on pidemmän aikaa 75–85 dB(A). Yleisin kuulovaurion syy onkin pitkään jatkunut altistus. (Halme & Seppänen 2003, 1.)

Unenlaatuun melu alkaa vaikuttaa, kun A-painotettu jatkuvakestoisen äänitaso on 25–35 dBn tai yksittäiset tapahtumat ylittävät 40 dB. Tuttu, yksittäin toistuva äänitapahtuma voi olla jopa 60 dB ilman, että se häiritsee unta. Unen häiriytyminen voi aiheuttaa vaikeuksia nukahtamiseen, unen syvyyteen ja unen kestoon. (Halme & Seppänen 2003, 1.)

Hyvien ääniolosuhteiden luonti on yleensä halvempaa ja helpompaa rakennusvaiheessa kuin jälkikäteen korjaamalla. Puutteelliset ääniolosuhteet aiheuttavat taloudellista haittaa myös esimerkiksi laskeneena työhyvinvointina, joka johtaa työtehon laskuun, ja mahdollisesti henkilöstön suureen vaihtuvuuteen. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 13.) Korkea melutaso voi myös peittää alleen varoitusääniä tai haitata puheesta selvän saamista. (Halme & Seppänen 2003, 2).

3 ÄÄNI LVI-TEKNIKASSA

Talotekniikkaan liittyviä äänitekniisiä asioita on mahdotonta erottaa kokonaan muusta rakentamiseen liittyvästä äänitekniikasta, ääni liikkuu ja kulkee rakenteissa urakkarajoista piittaamatta. Tästä johtuen akustista suunnittelua tulisi tehdä yhteistyössä muiden suunnittelijoiden kanssa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 25.)

3.1 Vaatimukset

Rakennusten teknisistä vaatimuksista on säädetty maankäyttö- ja rakennuslaissa sekä aiheesta annetuissa asetuksissa. Asetuksessa 796/2017 on säädetty vähimmäisvaatimukset rakennuksen ääniympäristölle. Rakennukselta ja tilalta edellytettävät ääniolosuhteet riippuvat sen käyttötarkoituksesta ja eri käyttötarkoituksille on annettu omat ohjearvonsa. (Ympäristöministeriö 2018, 1, 14–17.) Sisäilmastoluokituksessa 2018 kehoitetaan käyttämään standardia SFS 5907 rakennusten akustinen suunnittelu antamia arvoja, kun määritetään tilojen ääniolosuhteita (RT 07-11299, 7).

Akustisen suunnittelun tavoitteena on saada tilat täyttämään annetut ohjearvot sekä tekemään tilojen ääniympäristöstä käyttötarkoitukseen soveltuvan. Esi-

merkiksi neuvotteluhuoneelle saatetaan asettaa vaatimukseksi riittävä ääneristävyys ympäröiviin tiloihin nähden, jotta siellä voidaan käydä luottamuksellisia neuvotteluja. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 9.) Ääniolosuhteiden muodostumiseen vaikuttaa itse tilan akustiikan lisäksi erilaisten teknisten järjestelmien synnyttämä ääni sekä mahdollisesti viereisistä tiloista tai ulkoa tuleva ääni. Ääniolosuhteiden todentamiseksi on ISO-standardien mukaisia mittausmenetelmiä. (Ympäristöministeriö 2018, 1,14–17.)

Asumisterveysasetuksessa annetaan määräyksiä, joiden pohjalta arvioidaan asuintilojen haitallisuutta terveydelle. Siinä annetaan toimenpiderajoja erilaisille altisteille, esimerkiksi sisäilman lämpötilalle ja äänenpainetasoille, ja kerrotaan, minkälaisilla menetelmillä mittaukset on suoritettava. Laajakaistaisen melun lisäksi rajat on annettu pienitaajuiselle melulle tiloissa, joissa on tarkoitus nukkua. Asetuksessa myös kerrotaan, kuinka mittaustuloksissa otetaan huomioon melun impulssimaisuus ja kapeakaistaisuus. (Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015, 1§, 2§, 4§, 11§, 12§, 13§.)

3.2 Akustiikka

Usein akustiikasta puhuttaessa tarkoitetaan sitä, miltä ääni kuulostaa tilassa, eli tarkoitetaan huoneakustiikkaa. Akustiikkaan kuuluu myös rakennusakustiikka, meluntorjunta ja tärinäeristys. Rakennusakustiikalla tarkoitetaan äänen siirtymistä rakenteita pitkin eri tiloihin. Meluntorjunta tarkoittaa erilaisten äänilähteiden vaimentamista sekä estää niiden aiheuttaman äänen leviämistä. Esimerkiksi liikennemelu tai taloteknisten laitteiden synnyttämä ääni on torjuttava melua. Tärinäeristyksellä ehkäistään laitteiden liikkumisen aiheuttaman tärinän siirtymistä rakenteisiin. Esimerkiksi pumppujen ja kompressorien asennuksessa on tärinän ehkäisy huomioitava. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 13.)

Huoneen äänikenttä

Huoneeseen syntyy äänikenttä silloin, kun siellä alkaa toimimaan äänilähde. Ääniaallot kulkevat suoraan, kunnes törmäävät esteeseen ja heijastuvat niistä pois. Heijastumisessa pinta absorboi osan ääniaallon energiasta. Heikentynyt

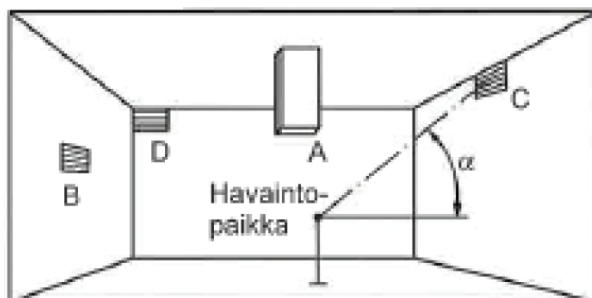
ääniaalto jatkaa matkaa niin pitkään, että pinnat ovat heijastuksissa absorboineet kaiken äänienergian. Havaittava äänenpainetaso kasvaa samanaikaisesti heijastusten vaikutuksesta, ja kun äänenpainetaso on noussut sellaiselle tasolle, että pinnat absorboivat yhtä paljon ääntä kuin äänilähde tuottaa, syntyy diffuusi äänikenttä. (Halme & Seppänen 2003, 15–16.)

Jos ääni pääsee etenemään vapaasti, esimerkiksi ulkotiloissa, puhutaan vapaasta äänikentästä ja siinä ääni vaimenee etäisyyden vaikutuksesta. (Halme & Seppänen 2003, 16). Kaavalla 9 voidaan ratkaista suoraan tulevan äänen äänenpainetaso

$$L_{ps} = L_W + 10 \log_{10}(1/qr^2) \text{ dB} \quad (9)$$

jossa	L_{ps}	Suoraan tuleva äänenpainetaso	[dB]
	Q	avaruuskulma, johon äänilähde säteilee	[rad]
	r	havaintopisteen etäisyys äänilähteestä	[m]

Q :n arvo kuvaa sitä, kuinka moneen suuntaan äänilähde pystyy säteilemään tehoaan ja se on riippuvainen äänilähteen sijainnista. Kuvassa 1 on esitetty Q :n arvoja yleisimmille äänilähteen sijainneille. (Halme & Seppänen 2003, 17.)



Kuva 1 Tyypillisimmät Q :n arvot äänilähteen sijainnin mukaan. $A=4\pi$, $B=2\pi$, $C=\pi$, $D=\pi/2$ (Halme & Seppänen 2003, 17)

Huonetiloissa, joihin syntyy diffuusi äänikenttä, pitää ottaa huomioon huoneabsorptio. Huoneabsorptiolla tarkoitetaan pintojen kykyä absorboida ääntä. Sen suuruus riippuu käytettyjen materiaalien absorptiokyvystä ja pinta-alasta.

Pintojen absorptiokyky vaihtelee paljon eri taajuuskaistoilla ja otetaan laskelmissa huomioon suorittamalla ne taajuuskaistoittain. (Halme & Seppänen 2003, 1, 19.) Absorptioala lasketaan

$$A = \sum \alpha S \quad (10)$$

jossa	A	huoneabsorptio	[m ²]
	α	pinnan absorptiosuhde	[-]
	S	pinnan ala	[m ²]

Vaimennusratkaisujen valintaan vaikuttaa tilan aiottu käyttötarkoitus. Asuntojen kohdalla kiinnitetään erityistä huomiota ääneneristykseen ja tarvittaessa lisätään vaimentavia materiaaleja kaiun ehkäisemiseksi. Toimistotiloissa on tärkeää saada puhe vaimennettua työpisteiden välillä, ja esimerkiksi peittoäänijärjestelmiä voidaan käyttää tämän saavuttamiseksi. Koululuokissa ja muissa esiintymiseen tarkoitetuissa tiloissa puheen erottuvuus on tärkeä kriteeri. Tiloissa, joissa on tarkoitus tehdä melua synnyttäviä töitä, tärkeintä on melun vaimennus. (SIT 05-610038 2006, 8–9.)

Diffuusin äänikentän äänitasoa laskiessa pitäisi huomioida myös huoneen ilman absorboima ääni, mutta käytännössä se on niin vähäistä, että sen voi laskelmista unohtaa. (Halme & Seppänen 2003, 16.) Diffuusin äänikentän äänenpainetaso saadaan laskettua

$$L_{pd} = L_W + 10 \log_{10}(4/A) dB \quad (11)$$

jossa	L_{pd}	diffuusin äänikentän äänepainetaso	[dB]
-------	----------	---------------------------------------	------

Kaavan 11 logaritmitekijää kutsutaan huonevaimennukseksi. Havaintopisteen kokonaisäänepainetaso saadaan laskettua yhdistämällä kaavat 9 ja 11

$$L_p = L_W + 10 \log_{10}(1/qr^2 + 4/A) dB \quad (12)$$

Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-ajalla tarkoitetaan sitä aikaa, joka äänitason alenemiseen 60 dBllä kuluu äänilähteen sammuttua. Jälkikaiunta-aika saadaan laskettua Sabinen kaavasta

$$T = 0,16 V/A \quad (13)$$

jossa	T	jälkikaiunta-aika	[s]
	V	huoneen tilavuus	[m ³]

Olemassa olevan tilan absorptioala voidaan määrittää mittaamalla jälkikaiunta-aika. Kun jälkikaiunta-aika tiedetään, voidaan Sabinen kaavasta ratkaista absorptioala. Myös materiaalien absorptiokertoimia voidaan määrittää laboratorioissa jälkikaiunta-aikaa mittaamalla. (Halme & Seppänen 2003, 16.) Sabinen kaava on riittävän tarkka suurimpaan osaan kohteita. Jos laskettava tila on kuitenkin suuri ja voimakkaasti absorboiva, esimerkiksi avotoimisto, kaava ei anna tarpeeksi tarkkoja tuloksia, ja tarkastelu pitää tehdä tarkemmillä metodeilla. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 50.)

Jälkikaiunta-aika vaikuttaa paljon tilan ääniolosuhteisiin. Esimerkiksi puheen selkeyteen jälkikaiunta-ajalla on suuri vaikutus; jos aika on liian pitkä ja puhe kaikuu voimakkaasti, siitä on hankala saada selvää. Toisaalta, jos tilaa vaimennetaan liikaa, puhe hukkuu taustamelun alle. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 50.) Haluttu jälkikaiunta-aika riippuu tilan käyttötarkoituksesta. Aikaan voidaan vaikuttaa pintojen materiaalivalinnoilla ja tilojen muodolla. Myös huoneiden kalustus vaikuttaa jälkikaiunta-ajan kestoan. (SIT 05-610038 2006, 1–7.)

Ääneneristys

Ääneneristyksellä tarkoitetaan rakenteiden kykyä estää äänen liikkumista tilasta toiseen. Kuten huoneen sisällä tapahtuvan absorption tapauksessakin, ääneneristävyttä määritellään absorptiosuhteen α kautta

$$\alpha = \frac{W_i - W_r}{W_t} \quad (14)$$

jossa	W_i	rakenteeseen kohdistuva ääniteho	[W]
	W_r	rakenteesta heijastuva ääniteho	[W]
	W_i	rakenteen läpäisevä ääniteho	[W]

Ääneneristyksen tapauksessa absorptiosuhde on huomattavasti suurempi kuin absorption tapauksessa. Absorption vaimentavuus heijastuksissa on yleensä maksimissaan 10 dB luokkaa ja eristävyiden vaimentavuus alkaa samasta luokasta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 46–47.)

Ilmaääneneristävyydellä tarkoitetaan huonetilasta rakenteen kautta toiseen tilaan siirtyvän ilmaäänien vaimentumista. Käytännössä rakenne siis värähtelee äänen voimasta ja osa värähtelyistä siirtyy viereiseen tilaan ilmaääniksi.

$$R = 10 \log_{10} \frac{W_i}{W_t} \quad (15)$$

jossa	R	ilmaääneneristävyys	[dB]
-------	---	---------------------	------

Ilmaääneneristävyys ilmoitetaan desibeleinä johtuen äänitehojen pienistä arvoista ja se voi saada arvoja 10 ja 100 dB välillä. Yleensä materiaalilla on hyvä ilmaääneneristävyys, jos se on raskasta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 47–48.)

3.3 Taloteknisten järjestelmien tuottama ääni

Talotekniset järjestelmät synnyttävät toimiessaan ääntä. Veden virtauksesta putkistossa syntyy virtausääniä varsinkin suurilla virtausnopeuksilla, viemäreissä virtaus synnyttää ääntä osuessaan seinämiin, ja ilmanvaihtokanavissa virtausääniä syntyy käyrissä ja toimilaitteiden kohdalla. Lisäksi pumppujen ja puhaltimien moottorit toimivat äänilähteinä, ja lämpötilanvaihtelut voivat aiheuttaa ääntä, kun putket ja kanavat elävät kannakkeissaan. Putkistot ja kanavat voivat toimia kulkutienä ulkopuolisille äänilähteille, jos ääneneristyksistä tilojen välillä ei ole huolehdittu suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 175.)

Ääntä hallitaan koteloimalla äänilähteet. mitoittamalla putket ja kanavat tarkoituksenmukaisille virtausnopeuksille ja huolehtimalla liikkuvien laitteiden tärinäerityksestä. Lämmitys- ja käyttövesijärjestelmien mitoituksessa on mietittävä virtausnopeuden vaikutus äänentuottoon ja miten se vaikuttaa tilojen äänitasoihin. Myös painetasojen vaikutus äänentuottoon tulee ottaa huomioon. Viemäreissä suunnanmuutokset aiheuttavat suurimmat ongelmat ja niiden äänentuotto on suunnittelussa huomioitava. Viemäreitä ei myöskään tule sijoittaa äänitasovaatimuksiltaan haastavien tilojen yhteyteen. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 175, 214.)

3.4 Ääni ilmanvaihtojärjestelmissä

Äänentuotto

Ilmanvaihtojärjestelmissä suurin äänilähde on yleensä puhallin. Puhallinmelu liikkuu puhaltimesta nähden molempiin suuntiin ja näin ollen myös äänenvaimennuksesta on huolehdittava molempiin suuntiin kanavassa. Puhaltimien käydessä synnyttävät ne melua myös tiloihin, joihin ne on sijoitettu. Jos ilmanvaihtokoneen tärinävaimennuksesta ei ole huolehdittu, koneen synnyttämä runkoääni voi siirtyä rakenteisiin ja sitä kautta aiheuttaa ääniongelmia. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 177.)

Virtausmelu ja vuotomelu

Lisäksi syntyy ilmavirtauksen seurauksena virtausmelua. Tätä syntyy koska virtaus kanavassa on turbulenttista ja se törmäilee kanaviston seiniin ja kanavassa oleviin esteisiin. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 206.) Kaavalla 16 voidaan arvioida virtauksen aiheuttama äänitehotaso

$$L_W = 10 \log_{10} S + 10 \log_{10} v^n + L_0 \quad (16)$$

jossa	S	virtauksen poikkileikkauksen pinta-ala	[m ²]
	v	ilmavirran nopeus	[m/s]
	n	kokonaisluku, joka ilmoittaa äänitehotason verrannollisuuden virtausnopeuteen	[-]
	L ₀	ominaisäänitehotaso	[dB]

Se mitä arvoa n :lle käytetään, riippuu siitä, onko kyseessä laminaarinen vai turbulenttinen virtaus. Jos kyseessä on laminaarinen virtaus $n=5$ ja turbulenttiossa $n=6$. Se mitä arvoa käytetään ominaisäänitehotasona, riippuu sovelluksesta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 206.)

Kaavasta opitaan, että ilmapirran nopeuden kaksinkertaistaminen pinta-alan pysyessä vakiona kasvattaa virtauksen äänitehotasoa 15–18 dB. Vastaavasti pinta-alan kaksinkertaistaminen virtausnopeuden pysyessä vakiona kasvattaa virtauksen äänitehotasoa vain 3 dB. Tästä voidaan päätellä, että kanavakoon kasvattaminen on tehokas tapa pienentää virtauksen synnyttämä äänitehotasoa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 206.)

Kanavistoissa voi syntyä myös virtauksen seurauksena vuotomelua. Kanavan vuotokohdissa voi syntyä viheltävää tai pihisevää ääntä, joka saattaa olla hyvin häiritsevää. Paineen alentaminen pienentää vuotomelun äänitehotasoa tehokkaasti ja luonnollisesti kanavien tiiveysluokka vaikuttaa vuotomelun esiintymiseen paljon. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 206.)

Kanavaosien ja päätelaitteiden äänentuotto

Kanavaosissa syntyy ääntä virtauksen kulkiessa niiden läpi. Mitä enemmän kanavaosa kuristaa virtausta, sitä suurempi äänenkehitys on kyseisessä kanavaosassa. Yleisesti voidaan todeta, että mitä korkeampia painetaso ja virtausnopeus kanavistossa on, sitä enemmän virtauksesta syntyy ääntä. Se, kuinka paljon kanavaosa tuottaa ääntä, saadaan selville valmistajien tuotetiedoista. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 207.)

Päätelaitteiden tapauksessa pätee myös huomio äänitasojen kasvusta, painehäviön ja virtausnopeuden kasvaessa. Yleensä päätelaitteiden äänentuotto ilmoitetaan äänitehotasona L_w tai A-painotettuna äänitasona. A-painotettu äänitaso pätee tilanteessa, jossa on diffuusi äänikenttä tilassa, jonka absorptioala on 10 m^2 . Valmistaja ilmoittaa korjauskertoimen, jolla ilmoitetusta äänitasosta saa ratkaistua oktaavikaistakohtaiset äänitasot. A-painotetusta arvosta voidaan laskea arvo myös muille absorptioalan arvoille käyttämällä kaavaa 10 ja muokkaamalla huonevaimennuksen osaa kaavasta. Käytännössä ilmoitet-

tuun arvoon lisätään 4 dB, joka vastaa 10 m² absorptiopinta-alaa, ja sen jälkeen lisätään todellista huonevaimennusta vastaava dB-arvo. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 207.)

Äänen vaimentuminen

Ääni myös vaimenee kulkiessaan kanavistossa ja erilaisten kanavaosien läpi. Ilmiö syntyy, kun ääni joko absorboituu ympäristöön tai heijastuu takaisin kanavaan muutoksen kohdatessaan. Vaimenemisella on suuri merkitys äänen kulkeutumisessa, ja se pitää ottaa huomioon laskelmia suoritettaessa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 177–189.)

Se, kuinka paljon ääni vaimenee ja miten se vaimenee kanavistossa, riippuu äänen taajuudesta. Rajataajuus tarkoittaa taajuutta, jonka aallonpituuden puolikas on yhtä suuri kuin kanavan suurin lävistäjä kulkusuunnassa. Jos äänen taajuus on pienempi kuin rajataajuus, kanavaan syntyy ainoastaan suoraan kulkeva tasoaalto. Voidaan ajatella, että aalto ei mahdu kulkemaan kanavassa kuin yhdessä suunnassa. Jos ääneen taajuus on suurempi kuin rajataajuus, alkaa kanavaan syntymään poikittaisia aaltoja suoraan etenevien aaltojen lisäksi. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 180.)

Suoran kanavan vaimennus

Suorissa kanavanosissa vaimentuminen on varsin pientä, pyöreissä kanavissa äänen taajuudesta riippuen 0,1–0,3 dB metriä kohden. Suorakaidekanavissa pienten taajuuksien vaimennus voi olla 0,6 dB metriä kohden ja jos kyseessä on ulkopuolelta eristetty kanava, arvo saattaa nousta jopa 1 dB metriä kohden. Yleensä suoran kanavan vaimennuksen voi unohtaa laskelmista ja saada siitä hieman varmuusvaraa laskelmiin. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 189.)

Käyrän äänenvaimennus

Kanavan käyrissä äänenvaimennus riippuu rajataajuudesta. Jos taajuus on rajataajuuden alapuolella, vaimentumista ei tapahdu paljon, vaan aalto kääntyy mutkan läpi. Rajataajuuden yläpuolella vaimenemista tapahtuu aaltojen törmätessä mutkan seiniin. Tällöin osa äänestä heijastuu takaisin ja osa jatkaa mutkan läpi eteen päin. Pyöreissä kanavissa äänenvaimennus on pienempää kuin suorakaidekanavissa. Yleensä käyrät yritetään myös tehdä mahdollisimman

pyöreiksi, vaikka pyöristäminen huonontaa äänenvaimennusta. Syynä tähän on mutkissa syntyvän virtausmelun määrän pienentäminen. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 189.)

Avoimen kanavan päätteväimennus

Avoimen kanavan päättyessä, syntyy vapaan kanavan päätteväimennus ja se on suurusluokaltaan iso vaimennus. Vaimennus syntyy, koska virtauspinta-ala muuttuu voimakkaasti. Voimakkainta vaimentuminen on pienillä taajuuksilla rajataajuuden alapuolella, koska pitkille aalloille on vaikeata päästä läpi muutokohdasta ja iso osa siitä heijastuu takaisin kanavaan. Suurilla taajuuksilla virtauspinta-alan muutos ei vaikuta niin paljon, vaan aallot siirtyvät sujuvasti suurempaan tilaan. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 181.) Kaavalla 17 voidaan laskea päätteväimennuksen suuruus

$$D_{pööte} = 10 \log_{10} \left(1 + \left(\frac{c_0}{4\pi f} \right)^2 \frac{\Omega}{S} \right) \quad (17)$$

jossa	$D_{pääte}$	päätteväimennus	[dB]
	S	päättyvän kanavan pinta-ala	[m ²]

Päätte-elimien äänenvaimennus

Kanavien päissä käytetään yleensä päätte-elimia, ja myös ne antavat oman lisänsä vaimennukseen. Pienillä taajuuksilla vaimennus ei paljon poikkea avoimen kanavan päätteväimennuksesta, mutta suurilla taajuuksilla päätelaitteet lisäävät vaimennusta huomattavasti. Päätte-elin pienentää vapaata virtauspinta-alaa aukossa, ja tämä aiheuttaa suurilla taajuuksilla äänen takaisin heijastumisen kanavaan. Johtuen päätelaitteiden laajasta valikoimasta niille ei ole olemassa yleispäteviä laskentakaavoja, vaan niiden äänitekniset arvot ilmoittaa laitevalmistaja. Annetuissa tiedoissa huomioon on otettu myös vapaan kanavan vaimennus. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 182.)

Koon muutoksen aiheuttama vaimennus

Vaimenemista tapahtuu myös kanavan koon muuttuessa. Vaimennuksen suuruus riippuu, onko tarkasteltava taajuus rajataajuuden ylä- vai alapuolella ja suureneeko vai pieneneekö kanava virtaussuunnassa. Jos koonmuutoksia ei ole suuria määriä kanavistossa, niiden aiheuttamaa vaimennus voidaan jättää

huomioimatta ilman suurta virhettä. Jos kyseessä on kanavaosa, jossa syntyy suuri vaimennus, teknisistä tiedoista löytyy tiedot vaimennuksen suuruudesta. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 185–187.)

Haaravaimennus

Kanavien haarakohdissa tuleva ääni jakautuu uusiin haaroihin. Jos halutaan tehdä tarkkaa tarkastelua, vaimentumiseen vaikuttavia asioita ovat haarautuvan kanavan rajataajuus sekä tulevien ja lähtevien kanavien pinta-alojen suhteet. Lisäksi haarakohdassa mahdollisesti sijaitsevan mutkan vaimennus tulee huomioida ja mahdolliset koon muutoksen aiheuttamat vaimennukset. Jos kuitenkin kanavisto on suunniteltu niin, että kaikkien haarakohtien lähtevien kanavien pinta-ala on yhtä suuri kuin tulevan kanavan pinta-ala ja koon muutokset ovat maltillisia, voidaan käyttää kaavaa 17 vaimennuksen määrittämiseen

$$D_{haara} = 10 \log_{10} \left[\frac{Q}{q} \right] \quad (17)$$

jossa	D_{haara}	haarautumisen aiheuttama vaimennus	[dB]
	Q	puhaltimen tuottama tilavuusvirta	[m ³ /s]
	q	kanavahaaran tilavuusvirta	[m ³ /s]

Haaravaimennus voi olla suuruudeltaan kymmeniä desibelejä isoissa kanavistoissa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 185–187.) Useasti kaavalla 17 saadaan riittävä tarkkuus, mutta jos halutaan tehdä tarkkaa tarkastelua, pitää jokainen haarakohta laskea erikseen. Kaava 17 ei myöskään päde tilanteissa, joissa on käytetty säätöpeltejä ilmavirtauksen säätämiseen tai muuten kuristettu virtausta. Tämä johtuu siitä, että säätöpelteissä virtauksen nopeus kasvaa, ja tästä johtuen ne tuottavat ääntä kanavaan. (Halme & Seppänen 2003, 119.)

Äänenvaimentimet

Ilmanvaihtokoneet on varustettu omilla äänenvaimentimillaan ja huonetiloissa pääte-elimet lisäävät äänenvaimentumista. Joskus tämä riittää halutun äänitaason saavuttamiseen. Joskus kuitenkin tarvitaan lisäksi erillisiä kanaviin asen-

nettavia äänenvaimentimia. Yleisesti voidaan todeta äänenvaimentimen äänenvaimennuksen suurentuvan, kun absorptiomateriaalin absorptiosuhde paranee, äänenvaimennin pitenee, vapaa ilmareitti pienenee ja jos ääni joutuu mutkittelemaan vaimentimen sisällä. Käytännössä suunnitteluvaiheessa äänenvaimentimien vaimennuksen suuruus saadaan valmistajan ilmoittamista tiedoista. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 193–195.)

3.5 Laskenta

Ilmanvaihdon ääniteknistä tarkastelua tehtäessä kanavistosta on määriteltävä oktaavikaistoittain mutkien, haarojen, äänenvaimentimien ja päätelaitteiden aiheuttama vaimentuminen. Suoran kanavan aiheuttama vaimennus voidaan yleensä jättää huomiotta. Kanavistosta huoneeseen siirtyä myös kanavistossa syntynyt melu. Käytännössä suurimmassa osassa tapauksia voidaan virtauksen kanavassa synnyttämä ääni unohtaa laskelmista ja riittää, kun tarkastellaan sellaisia kanavaosia, joissa virtausnopeudet kasvavat ja painehäviöt ovat suuria. Valmistajien antamista tiedoista löytyvät edellä mainitut äänitekniset tiedot. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 39; 195; 208–209.)

Kun lasketaan ilmanvaihdon aiheuttamaa äänitehotasoa tilaan, käytännössä laskeminen aloitetaan puhaltimelta ja sen tuottamasta äänitehotasosta kanavaan. Valmistajat ilmoittavat koneidensa äänitehotasot oktaavikaistoittain alueella 63–8000 Hz. Useasti laskelmat suoritetaan kuitenkin kaistoilla 63–4000 Hz, koska yleisenä oletuksena on suurten taajuuksien riittävä vaimentuminen joka tapauksessa. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 195.)

Puhaltimelta lähdetään etenemään kohti tarkasteltavaa tilaa ja puhaltimen äänitehotasosta vähennetään oktaavikaistoittain matkalla syntyvät vaimennukset. Näin jatketaan, kunnes saavutaan ääntä tuottavalle kanavaosalle tai tarkasteltavaan tilaan. Jos kanavistossa on ääntä tuottava osa, esimerkiksi säätöpelti, vähennetään tulevasta äänitehotasosta siihen mennessä syntyneet vaimennukset ja lasketaan se yhteen kanavaosan äänitehotason kanssa kaavalla 18. (Halme & Seppänen 2003, 119.)

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \text{ dB} \quad (18)$$

jossa	L_S	Kokonaisäänitaso	[dB]
	$L_{1,2..n}$	Yhteenlaskettavat äänitasot	[dB]

Kaava 18 on yleinen esitysmuoto äänitasojen yhteen laskemiseksi ja toimii sekä painottamattomilla että painotetuilla äänitasoilla. Kaavaa voidaan käyttää myös oktaavi- ja terssikaistojen yhdistämiseen. Laskettavien äänitasojen tulee olla kaikkien samanlaisia eli esimerkiksi paine- ja tehotasoja ei voi laskea keskenään yhteen. (Sandberg 2014, 56.)

Tämän jälkeen jatketaan kanavassa etenemistä vähentäen vaimennukset seuraavaan ääntä tuottavan kanavaosaan tai kunnes saavutaan tarkasteltavaan tilaan. Toisin sanoen lasketaan kanavassa juuri siinä kohtaa vallitsevaa kokonaisäänitehotaso. Kun kanava päättyy, otetaan huomioon päätevaimennukset sekä lisätään päätelaitteen synnyttämä äänitehotaso. (Halme & Seppänen 2003, 119.)

Kun äänilähteen tilaan tuottama äänitehotaso on näin saatu selville, voidaan kaavan 12 avulla selvittää äänenpainetaso halutussa havaintopisteessä tilassa. Jos tilassa on useampia äänilähteitä, lasketaan jokaisen äänilähteen havaintopisteeseen synnyttämä äänenpainetaso ja lasketaan ne yhteen kaavalla 18. Kaavalla 18 voidaan myös laskea esimerkiksi oktaavikaistat yhteen kokonaisäänitason selvittämiseksi. (Suomen rakennusinsinöörien liitto 2007, 210.)

Muuttamalla kaavan 18 plusmerkit miinusmerkeiksi, kuten kaavassa 19 on tehty, voidaan suorittaa äänitasojen vähennyslaskuja

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} - 10^{L_2/10} - \dots - 10^{L_n/10}) \text{ dB} \quad (19)$$

Esimerkiksi mittaustilanteissa tätä kaavaa voidaan käyttää tilan taustamelun vähentämiseen äänilähteiden synnyttämästä äänestä. (Sandberg 2014, 57).

4 ÄÄNEN MITTAAMINEN

4.1 Äänen mittaukseen liittyvät lait ja standardit

Ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä ei mainita millä menetelmällä annettuja vaatimuksia kuuluisi todentaa. Ympäristöministeriön ohjeessa rakennuksen ääniympäristöstä ohjeeksi annetaan, että standardia SFS EN 16032 voi käyttää taloteknisten laitteiden äänitasojen määrittämiseen (Ympäristöministeriö 2018, 13). RT 07-11299 puolestaan ohjeistaa käyttämään standardin SFS EN 12599 ohjeistamia menetelmiä koneellisen ilmanvaihdon toiminta-arvojen todentamiseen (RT 07-11299, 9).

Standardissa SFS EN ISO 16032 kuvataan menetelmä, jolla voidaan mitata olemassa olevan rakennuksen taloteknisten laitteiden synnyttämä äänenpainetaso. Äänenpainetaso mitataan oktaavikaistoittain taajuusalueella 63–8000 Hz. Tulokset voidaan antaa joko A- tai C-painotettuina riippuen mitattavasta järjestelmästä, ja kuinka suuresta äänitasosta on kyse. Mittauksen kesto määritellään myös järjestelmän mukaan. Ensin mitataan äänitaso meluisimmassa nurkassa ja sen jälkeen kahdessa eri paikasta huonetta. Saaduista mittaustuloksista lasketaan standardin ohjeiden mukaan lopullinen äänenpainetaso. (ISO 16032 2004, 1–11.)

SFS EN 12599 käsittelee ilmanvaihtolaitoksen luovutusvaiheen mittaus- ja testausmenetelmiä. Se soveltuu käytettäväksi, kun kyseessä on sisäilmaston ylläpitoon suunniteltu laitos. Standardissa käydään läpi, minkälaisia testejä ja tarkastuksia ilmanvaihtolaitokselle on tehtävä luovutusvaiheessa, ja ohjeistetaan, minkälaisilla menetelmillä ne on suoritettava. Ääniolosuhteiden todentamiseen huonetilassa se ohjeistaa käyttämään mittalaitteita, jotka ovat standardien SFS EN ISO 3744, SFS EN ISO 11201 ja SFS EN 61672-1 mukaisia. Mittalaitteet sijoitetaan oleskelualueelle 1,1 tai 1,7 metrin korkeudelle. Korkeus valitaan sen mukaan, onko kyseisessä kohdassa tarkoitus istua vai seisoa. Mittaus suoritetaan ainakin kolmesta pisteestä, ja seiniin tulee olla vähintään 0,6 metriä matkaa. Mittausten aikana käytetään suunniteltuja ilmavirtoja. (ISO 12599 2013, 4, 45, 63, 65.)

RT-kortti 10-11302 käsittelee taloteknisten järjestelmien laadunvalvontaa ja sitä, kuinka niiden toimivuus osoitetaan ja dokumentoidaan vastaanottovaiheessa. Siinä tarkennetaan standardin SFS-EN 12599 mittausten ohjeistamalla suorittamaan mittaukset kaikissa huonetiloissa, ja jos äänenpaine taso ylittää suunnitellut arvot, mitataan taustamelu. Jos taustamelun todetaan vaikuttavan mittaustulokseen merkittävästi, suoritetaan mittaukset työajan ulkopuolella ja vähennetään taustamelu tuloksista. (RT 10-11302 2018, 8.)

Edellä mainittujen menetelmien lisäksi on olemassa myös muita äänen mittaukseen liittyviä standardeja. SFS EN ISO 3740 on yleiskatsaus erilaisiin mittausjärjestelyihin ja ohjeistaa käyttötarkoitukseen sopivan standardin valinnassa. Standardissa esitellään 12 erilaista mittaustandardia äänitasojen mittaamiseen. Sen mikä standardi mihinkin tilanteeseen sopii, riippuu esimerkiksi siitä, minkälaista ääntä ollaan mittaamassa, minkälainen mittausympäristö on ja kuinka tarkkoja tuloksia halutaan saada. ISO-standardeissa mittatarkkuuden suhteen on kolme eri luokkaa, joista tarkimmissa vaaditaan laboratoriotason olosuhteita ja epätarkemmissa mittaukset voidaan toteuttaa kenttäoloissa. (ISO 3740 2019, 5–7.)

4.2 Mittalaitteet

Äänitasomittarien vaatimuksia käsitellään standardissa SFS-EN 61672-1. Siinä äänitasomittari määritetään mikrofonin, vahvistimen sekä tulosten käsittelyyn vaadittavien ohjelmistojen ja laitteiden muodostamaksi kokonaisuudeksi. Standardissa esitellään kolme erityyppistä äänitasomittaria, joista yksinkertaisin, mittaa pelkästään hetkellistä äänenpainetasoa. Kahdella muulla standardissa käsitellyllä mittarityypillä pystytään mittaamaan äänenpainetasoja ajanjakson yli, ja ne osaavat ilmoittaa tuloksen keskiäänitasona. (SFS-EN 61672-1 2013, 7, 15.)

Äänitasomittarit luokitellaan luokkiin 1 ja 2. Luokkien ero on lähinnä siinä, että luokan 1 mittarit ovat tarkempia, muuten ominaisuudet voivat olla eri luokkien välillä samat. Minimivaatimus mittareille on kyky mitata A-taajuuspainotettuja äänitasoja nopealla aikapainotuksella. Lisäksi standardissa määritetään vaatimukset C-taajuuspainotukselle sekä Z-painotukselle, joka ilmoittaa äänitasot ilman painotuksia. (SFS-EN 61672-1 2013, 7, 15.)

Aikapainotuksia, joita mittareissa käytetään, on kaksi, nopea ja hidas. Näiden merkintöinä äänenpainetasoissa käytetään alaindeksejä S ja F (slow ja fast). Aikapainotus kertoo, kuinka pitkää mittausta mittari käyttää hetkellisen äänenpainetason määrittämiseen. Hitaalla aikapainotuksella mittari antaa äänenpainetason 1 sekunnin mittauksen perusteella ja nopealla painotuksella aika on 0,25 sekuntia. (SFS-EN 61672-1 2013, 7, 24.) Aikapainotuksia tarvitaan, koska äänenpainetaso vaihtelee koko ajan ja ilman aikapainotusta mittarin näyttämä lukema ei koskaan tasaantuisi. Aikapainotus siis kertoo, kuinka nopeasti mittari reagoi äänenpainetason muutoksiin. (Briel & Kjaer s.a.)



Kuva 2. Norsonic NOR-140 äänitasomittari valmiina äänenpainetason mittaamiseen

Kuvassa 2 on talotekniikan laboratorioissa käytössä oleva Norsonic 140 -äänitasomittari. Se on standardin SFS-EN 61672-1 mukainen 1 luokan mittari. Sillä pystyy mittaamaan esimerkiksi hetkellistä äänenpainetasoa, keskiäänepainetasoja sekä lisälaitteiden avulla määrittämään jälkikaiunta-aikoja. Mittauksia pystytään tekemään oktaavi- tai terssikaistoittain. Mittariin kuuluu myös ohjelmisto, jonka avulla mittauksia voidaan analysoida. (Norsonic 2008, 2–8, 151.)

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1 Menetelmät

Työn alussa kartoitettiin äänitekniikkaan liittyvien kurssien opettajien näkemyksiä siitä, miten ääneen liittyviä laboratoriotöitä voitaisiin kehittää paremmin opetusta palveleviksi. Kartoitus suoritettiin sähköpostilla, jossa kuvailtiin nykyään laboratorioissa suoritettavat työt ja kysyttiin, minkälaisia ajatuksia ne herättävät ja miten niitä voitaisiin kehittää. Samalla kysyttiin, minkälaisia kokemuksia työelämän puolelta on ääneen liittyvistä ongelmista ja ilmiöistä ja olisiko niissä mahdollisesti ideoita laboratorion puolelle.

Yksi osa työstä on kirjallisuuteen perehtyminen. Kirjallisuuden kautta tutustutaan ääneen yleisesti ilmiönä ja siihen liittyviin peruskäsitteisiin sekä siihen, minkälaisia haittoja äänestä voi syntyä. Koska työn pääpaino on ilmanvaihdon äänitekniikka, tutustuttiin siihen liittyvään äänitekniseen laskentaan ja siihen, mitä laskennassa on otettava huomioon. Myös äänen mittaamisen teoriaa käydään kirjallisuuden kautta läpi perehtymällä alan standardeihin ja mittalaitteisiin. Tällä kirjallisuuskatsauksella on tarkoitus kerätä ajatuksia siitä, mitä ääneen liittyen voidaan mitata, ja tätä kautta hahmottaa, minkälaisia töitä laboratoriossa voisi teettää.

Työn teon aikana tutustutaan myös laboratorion tiloihin ja käytettävissä oleviin laitteistoihin. Tarkoituksena on selvittää, minkälaisia mahdollisuuksia laboratorio antaa ääniteknisiin mittauksiin ja mitä käytännössä on mahdollista toteuttaa. Laboratorioissa suoritetaan myös koemittauksia, joiden avulla selvitetään, onko suunniteltu työ mahdollista toteuttaa ja millaisia ongelmia sen suorittamisessa mahdollisesti esiintyy. Mahdolliset kehitysideoita tilojen ja laitteiden suhteen otetaan myös ylös työn teon aikana ja esitellään.

5.2 Nykyiset laboratoriotyöt

Nykyään laboratorioissa tehdään ääneen liittyen ilmanvaihdon äänitasomittauksia sekä määritetään jälkikaiunta-aikoja ja lasketaan tulosten perusteella absorptioaloja. Laboratorioissa olisi myös mahdollista mitata erilaisten viemäreiden synnyttämiä äänitasoja, mutta tällä hetkellä ne ovat lähinnä demokäytössä.

Ilmanvaihtomittauksia varten laboratorioon on rakennettu lyhyt ilmanvaihtokanaviston pätkä, jossa kanavisto kulkee kolmen tilan läpi. Ensimmäisessä tilassa on puhallin ja potentiometri sen ohjaamiseen. Toisessa tilassa on suora kanava ja siihen on mahdollista asentaa äänenvaimennin. Toisen tilan kanavassa on myös mahdollisuus haaroittaa kanavisto. Kanavisto päättyy kolmanteen tilaan, ja tämä toimii mittaushuoneena. Mittaukset suoritetaan siten, että kanavistossa ei ole äänenvaimennin paikallaan ja äänenpainetaso mitataan sekä päätelaitteen kanssa että ilman sitä. Tämän jälkeen äänenvaimennin asennetaan paikalleen ja suoritetaan samat mittaukset. Äänenpainetasot mitataan oktaavikaistoittain ja tulosten käsittelyssä verrataan vaimennusarvoja valmistajien ilmoittamiin tietoihin.

Jälkikaiunta-ajan mittauksessa on käytössä äänilähde ja kaiutin, jotka sijoitetaan ensimmäisessä mittauksessa tyhjään huoneeseen ja huoneen jälkikaiunta-aika mitataan. Tämän tiedon ja huoneen mittojen avulla opiskelijat määrittävät huoneen absorptioalan. Tämän jälkeen tarkoitus on vaimennusta lisäämällä saada absorptioala vastaamaan 10 m^2 ja uusia mittaus.

6 TULOKSET

Ajatukseen laskennallisen elementin lisäämisestä suhtauduttiin positiivisesti. Erilaisten kanavaosien äänentuoton demonstrointi nousi myös esiin. Varsinkin kanttikanavilla on tapana aiheuttaa ongelmia työmailla. Keskusteluissa ongelmaksi laboratoriotöiden suhteen tuli esiin ajan käyttö ja tilojen aiheuttamat rajoitteet. Useasti äänitekniset mittaukset vaativat erikseen siihen suunniteltuja tiloja ja paljon tilaa. Kurssilla ei myöskään ole rajattomasti aikaa yhden työn suorittamiseen, ja tämä rajoittaa töiden laajuutta.

Kirjallisuustutkielmassa selvisi, että äänen mittaamiseen on monia erilaisia menetelmiä ja koejärjestelyjä. Useat näistä menetelmistä vaativat erikoistiloja, joita koululta ei löydy, ja tämän takia niiden toteuttaminen ei ole mahdollista. Toteutettavissa olevia mittauksia olisivat esimerkiksi päätelaitteiden vaimennusmittaukset, joita pystytään toteuttamaan yksinkertaisilla välineillä. Ne eivät myöskään vaadi erikoisrakenteita, eivätkä ole turhan herkkiä taustamelulle.

Rakenteen ääneneristävyyden selvittäminen mittaamalla voisi olla toteutettavissa varsin yksinkertaisesti.

Alkuperäinen idea siitä, että laskenta lisättäisiin nykyisin tehtävään ilmanvaihdon äänimittauksiin, todettiin myös kokeilemisen arvoiseksi. Kokeilun puolesta puhui se, että laitteisto oli jo olemassa ja vastaavia laskuharjoituksia opiskelijat ovat tehneet muilla opintojaksoilla. Työn kulusta kirjoitettiin työohje, ja sen toimivuus testattiin suorittamalla mittaukset ohjetta noudattaen. Mittauksien tulokset käsiteltiin, ja niiden perusteella työn toimivuutta arvioidaan.

Työn mittausjärjestelyihin otettiin mallia standardeista, mutta niitä on jossain määrin yksinkertaistettu. Ajatuksena työssä on tutustuttaa opiskelijat äänen mittaamiseen ja harjoitella äänitekniistä laskentaa, ei niinkään kouluttaa suorittamaan ammattimaisia äänimittauksia. Tämän takia voidaan pitää perusteltuna asioiden yksinkertaistamista. Myöskään käytettävä järjestelmä ei ole monimutkainen, koska ei ole tarkoituksenmukaista tehdä työstä liian vaikeaa tai pitkäkestoista.

Uuden työn kulku on seuravanlainen:

1. Esitehtävänä opiskelijoille annetaan tiedot puhaltimen mallista, kanaviston rakenteesta, päätelaitteen tyypistä sekä järjestelmän toiminta-arvot. Tehtävänä määrittää äänenpainetaso mittaushuoneessa.
2. Laboratoriossa määritetään tyhjän huoneen absorptiopinta-ala mittaamalla jälkikaiunta-aika.
3. Mitataan kalustamattoman tilan taustamelu.
4. Mitataan äänenpainetaso kalustamattomassa huoneessa järjestelmän käydessä annetuilla toiminta-arvoilla.
5. Kalustetaan huone laboratorioista löytyvillä tilanjakajaelementeillä.
6. Määritetään kalustetun huoneen absorptiopinta-ala mittaamalla jälkikaiunta-aika.
7. Mitataan kalustetun tilan taustamelu.
8. Mitataan äänenpainetaso kalustetussa huoneessa järjestelmän käydessä annetuilla toiminta-arvoilla.
9. Tulosten käsittely. Excelillä piirretään kuvaajat mittauksista ja lasketaan mittauksista oktaavikaistojen äänenpainetasot sekä kokonaisäänepainetaso.
10. Muutetaan laskemalla saadut arvot vastaamaan todellista absorptiopinta-alaa, ja verrataan laskettuja ja mitattuja tuloksia.

Työohje on tämän työn liitteenä 1. Opinnäytetyöprosessin aikana syntyi myös pikaohje jälkikaiunta-ajan ja äänenpainetasojen mittaamiseen koulun mittarilla

ja se on liite 2. Lisäksi mittausjärjestelyjen testauksen yhteydessä tehtiin Excel-laskentapohja, jolla pystyy laskemaan äänenpainetasot eri toiminta-arvoille ja tekee mittaustulosten käsittelyn automaattisesti, kun mittaustulokset syötetään siihen. Tämä laskentapohja on luovutettu laboratorioinsinööreille.

7 KOEJÄRJESTELYJEN TESTAUS

Uuden työohjeen mukaiset koejärjestelyt testattiin laboratoriossa tekemällä mittaukset ohjeen mukaan. Tavoitteena oli selvittää, miten työn tekeminen onnistuu, minkälaisia tuloksia mittauksista saadaan ja onko työ mielekäs opiskelijoille teetettäväksi. Työohjeesta poiketen mittauksia ei tehty ennalta määrätyillä toiminta-arvoilla, vaan mittauksia suoritettiin erilaisilla puhaltimen käyntiarvoilla ja päätelaitteen avauksilla. Näin selvitettiin, mitkä olisivat työn suorittamisen kannalta soveliaimmat toiminta-alueet.

7.1 Äänenpainetason L_p määrittäminen laskemalla

Laskentaan vaadittavat lähtötiedot löytyvät laitevalmistajien teknisistä tiedoista ja kanavien äänenvaimennusarvot on otettu Sandbergin Ilmastointilaitoksen mitoitus -kirjasta. Kanaviston vaimennus pysyy vakiona kaikissa mittauksissa, ja sen selvittämiseksi pitää tietää suorien kanavien halkaisijat ja pituudet sekä kanavaosien koko ja määrä. Sandbergin kirjan sivulta 73 löytyy kuvaaja, josta saadaan selville suoran kanavan vaimennus oktaavikaistoittain metrille. Kanavistossa käytetyt kanavat ovat kokoja 125 ja 160, ja niiden vaimennusarvot ovat yhtä suuret. Lisäksi kanavassa on yksi koon 125 90° käyrä, ja sille löytyy oktaavikaistakohtaiset vaimennusarvot Sandbergin sivulta 76. Lisäksi kanavistossa on yksi laajennus ja sen vaimennuksen määritykseen löytyy kuvaaja Sandbergin sivulta 77. Koska kanavakoot ovat lähellä toisiaan, ei vaimennusta kuitenkaan käytännössä tapahdu ja koon muutos voidaan unohtaa. Kanaviston vaimennus oktaavikaistoin on esitelty taulukossa 2. (Sandberg 2014, 73–76.)

Taulukko 2. Kanaviston äänenvaimennus

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Kanavan pituus, m	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Vaimennus, dB/m	0,1	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
125 90° vaimennus, dB	0	0	1	2	3	3	3	3
Kanaviston vaimennus, dB	0,32	0,32	1,48	2,48	3,96	3,96	3,96	3,96

Esimerkki työssä suoritettavan ääniteknisen laskennan kulusta ja mittausten tulosten käsittelystä suoritetaan tilanteessa, jossa puhaltimen säätöjännite on 4 voltia, kanaviston tilavuusvirta 30 l/s ja päätelaitteen avaus 0. Nämä arvot vastaavat mittauksessa 1 käytettyjä arvoja.

Puhaltimena kanavistossa on Östberg LBKB Silent 125 C1 EC -puhallin, ja sille äänitekniset arvot löytyvät valmistajan kotisivuilta. Koska kanavistossa ei ole paine-eron mittausta puhaltimen yli, pitää paine-eron suuruus hakea sellaiseksi, että säätöjännite on ilmoitetun mukainen. Kuvassa 3 on valmistajan kotisivuilta saatu taulukko puhaltimen ääniarvoista edellä mainituilla arvoilla.

	Tot	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
■ Inlet Lw dB(A)	53	43	49	49	40	34	34	26	11
■ Outlet Lw dB(A)	60	45	52	53	55	51	50	39	24
■ Surrounding Lw dB(A)	42	21	27	36	39	32	25	25	27
■ Surrounding Lp dB (A) 20m ² Sabine, hemispherical 3m	35								

Kuva 3. Östberg LBKB Silent 125 C1 EC äänitiedot jännitteellä 4 V ja tilavuusvirta 30 l/s (Östberg 2021.)

Päätelaitteena mittauksissa käytettiin kokoa 160 olevaa KSO-poistoilmapäätelaitetta. Sille äänitekniset arvot löytyvät valmistajan teknisestä esitteestä ja kuvassa 4 on taulukko päätelaitteen vaimennusarvoista.

ÄÄNENVAIMENNUS ΔL

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

Kuva 4. KSO-160 äänenvaimennus arvot (Fläkt Group s.a., 5.)

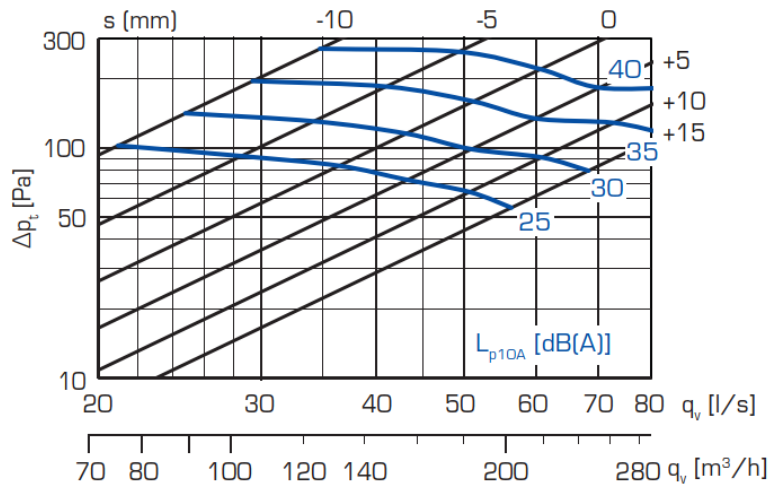
Näillä tiedoilla voimme laskea puhaltimen huonetilaan tuoman äänitehotason L_w yksinkertaisesti vähentämällä puhaltimen äänitehotasoista kanaviston ja päätelaitteen synnyttämät vaimennukset. Tämä on tehty taulukossa 3.

Taulukko 3. Puhaltimen huoneeseen synnyttämä äänitehotaso L_w

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Puhallin $L_w(A)$, dB	43	49	49	40	34	34	26	11
Kanaviston vaimennus, dB	0,32	0,32	1,48	2,48	3,96	3,96	3,96	3,96
Päätelaitteen vaimennus, dB	19	14	10	10	10	10	6	6
Huoneen tehotaso $L_w(A)$, dB	23,7	34,7	37,5	27,5	20,0	20,0	16,0	1,0

Päätelaite myös synnyttää ääntä, ja sen suuruus saadaan selville valmistajan esitteestä. Kuvissa 5 ja 6 on kuvaaja ja taulukko, jonka avulla syntyvä äänitehotaso saadaan selvitettyä.

KSO-150-C JA KSO-160-C



Kuva 5. KSO-160 valintakäyrästä (Fläkt Group s.a, 3.)

ÄÄNEN TEHOTASO L_w

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

Kuva 6. Oktaavikaistakohtainen korjauskerroin KSO-päätelaitteella (Fläktgroup s.a, 5.)

Kuvan 3 käyrästä LP_{10A}-arvoksi tilavuusvirralla 30 l/s ja avauksella 0, saadaan 20 dB(A). Oktaavikaistakohtainen äänitehotaso L_{Wokt} saadaan, kun kuvan 4 korjauskerroin K'_{okt} lisätään LP_{10A} arvoon. Koska L_{Wokt} ei ole A-taajuuspainotettu arvo, pitää sille tehdä A-taajuuspainotus, ennen kuin se voidaan laskea yhteen puhaltimelta tulevan äänitehotason kanssa. Päätelaitteen synnyttämän tehotason laskenta on esitelty taulukossa 4.

Taulukko 4. Päätelaitteen tilaan synnyttämän äänitehotason laskenta

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp _{10a} , dB(A)	20	20	20	20	20	20	20	20
K _{okt}	16	4	-2	-1	0	-3	-10	-13
L _{wokt}	36	24	18	19	20	17	10	7
A-taajuuspainotus, dB	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Päätelaitteen L _w , dB(A)	10,0	8,0	9,0	16,0	20,0	18,0	11,0	6,0

Puhaltimen tilaan synnyttämä äänitehotaso ja päätelaitteen tilaan synnyttämä äänitehotaso lasketaan oktaavikaistoittain kaavalla 18 yhteen, ja näin saadaan tilaan saapuva kokonaisäänitehotaso selville. Oktaavikaistan 63 Hz yhteenlasku tapahtuu

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \text{ dB}$$

$$L_{W63\text{Hz}(A)} = 10 \log_{10} (10^{23,7/10} + 10^{10/10}) \text{ dB} = 23,9 \text{ dB}(A)$$

Kun tilaan äänitehotaso on tiedossa, voidaan kaavalla 12 laskea äänenpaine-taso havaintopisteessä. Päätelaite sijaitsee kuvan 3 sijainnissa C ja Q saa arvon $\pi/2$ ja havaintopiste sijaitsee 2,20 metrin päässä äänilähteestä. Lisäksi absorptiopinta-alan oletetaan olevan 10 m².

$$L_P = L_W + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{Qr^2} + 4/A \right) \text{ dB}$$

$$L_{P63\text{Hz}(A)} = 23,9 \text{ dB}(A) + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\frac{\pi}{2} * (2,20 \text{ m})^2} + 4/10 \text{ m}^2 \right) \text{ dB} = 21,2 \text{ dB}(A)$$

Näin voidaan laskea oktaavikaistoittain tilaan tuleva äänitehotaso ja selvittää äänenpaine-taso havaintopisteessä. Kun kaikkien oktaavikaistojen äänenpai-

netaso on selvillä, voidaan kaavalla 18 laskea oktaavikaistakohtaiset arvot yhteen ja saadaan havaintopisteessä vallitseva kokonaisäänepainetaso selville. Taulukkoon 5 on koottu näiden laskentojen tulokset.

Taulukko 5. Tilaan tulevien tehotasojen Lw summaus ja havaintopisteen äänenpainetason Lp laskenta

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Puhaltimen Lw, dB(A)	23,68	34,68	37,52	27,52	20,04	20,04	16,04	1,04
Päätelaitteen Lw, dB(A)	10	8	9	16	20	18	11	6
Kok Lw(A), dB(A)	23,9	34,7	37,5	27,8	23,0	22,1	17,2	7,2
Lp _{okt} , dB(A)	21,1	31,9	34,8	25,1	20,3	19,4	14,5	4,5
Lp _{kok} (A), dB(A)	37,2							

Laskemalla havaintopisteen kokonaisäänepainetasoksi saadaan 37,2 dB(A).

7.2 Jälkikaiunta-aika ja absorptiopinta-ala

Jälkikaiunta-ajan mittaus oktaavikaistoittain suoritettiin kolme kertaa sekä kalustetulle, että kalustamattomalle huoneelle. Mittausten tuloksista laskettiin keskiarvo, jota käytettiin absorptiopinta-alan laskemiseen. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Mitatut jälkikaiunta-ajat

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Kalustamaton huone, s	0,78	0,68	0,69	0,79	0,77	0,69	0,58	0,53
Kalustamaton huone, s	0,84	0,61	0,68	0,84	0,78	0,64	0,59	0,55
Kalustamaton huone, s	0,76	0,6	0,77	0,78	0,81	0,69	0,55	0,51
Kalustamaton huone KA, s	0,79	0,63	0,71	0,80	0,79	0,67	0,57	0,53
Kalustettu huone, s	0,73	0,44	0,35	0,32	0,31	0,28	0,26	0,24
Kalustettu huone, s	0,58	0,55	0,41	0,31	0,38	0,29	0,24	0,23
Kalustettu huone, s	0,82	0,54	0,37	0,31	0,31	0,3	0,24	0,23
Kalustettu huone KA, s	0,71	0,51	0,38	0,31	0,33	0,29	0,25	0,23

Mitattavan huoneen mitat ovat 4,30 m, 2,20 m ja 2,50 m ja tilavuudeksi saadaan

$$V = 4,30 \text{ m} * 2,20 \text{ m} * 2,50 \text{ m} = 23,65 \text{ m}^3$$

Kaava 13 voidaan ratkaista absorptiopinta-alan suhteen ja näin esimerkiksi kalustamattoman huoneen jälkikaiunta-ajaksi 63 Hz taajuudella saadaan

$$T = 0,16 V/A$$

$$A = 0,16 V/T$$

$$A_{63\text{Hz}} = 0,16 * 23,65 \text{ m}^3 / 0,79 \text{ s} = 4,8 \text{ m}^2$$

Taulukossa 7 on laskettu jälkikaiunta-ajat oktaavikaistoittain kalustetulle ja kalustamattomalle huoneelle.

Taulukko 7. Absorptiopinta-alat oktaavikaistoittain

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Kalustamaton huone, m2	4,8	6,0	5,3	4,7	4,8	5,6	6,6	7,1
Kalustettu huone, m2	5,3	7,4	10,0	12,1	11,4	13,0	15,3	16,2

7.3 Kokonaisäänepainetason L_P määrittäminen mittaamalla

Kokonaisäänepainetasoa mitattaessa mittari mittaa terssikaistoittain. Nyt esi-merkkinä käsitellyt mittaustulokset on saatu mittaamalla kalustamattomassa huoneessa samoilla lähtöarvoilla mitä käytettiin laskettaessa äänenpainetasoa. Ensin mitattiin tilan taustamelutaso silloin, kun puhallin ei ole päällä. Tämän jälkeen puhallin kytkettiin päälle ja mittaus suoritettiin uudelleen. Näin ilmanvaihdon synnyttämä äänenpainetaso voidaan selvittää vähentämällä taustamelu puhaltimen käydessä mitatuista arvoista kaavalla 19. Kun näin on saatu selville terssikaistoittain järjestelmän synnyttämä äänenpainetaso, voidaan terssikaista laskea yhteen kaavalla 18

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} - 10^{L_2/10} - \dots - 10^{L_n/10}) \text{ dB}$$

$$L_{Piv63\text{Hz}terssi} = 10 \log_{10} (10^{43,2/10} - 10^{41,9/10}) \text{ dB} = 37,3 \text{ dB}$$

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \text{ dB}$$

$$L_{P63\text{Hz}okt} = 10 \log_{10} (10^{37,3/10} + 10^{45,4/10}) \text{ dB} = 46,0 \text{ dB}$$

Terssikaistalla 50 Hz ei tässä mittauksessa ollut eroa taustamelun ja järjestelmän käydessä mitatun äänenpainetaso välillä ja näin terssikaistojen yhteenlaskussa on vain 2 arvoa kolmen sijasta. Taulukossa 8 on esitetty mitatut arvot ja niistä lasketut arvot terssikaistoille 50 Hz–160 Hz.

Taulukko 8 Terssikaistoittain taustamelun vähennys ja oktaavikaistoiksi muuttaminen

Taajuuskaista Hz	50	63	80	100	125	160
Kokonais Lp, dB	39,5	43,2	51	38,7	36,3	43,3
Taustamelu Lpterssi, dB	39,5	41,9	49,6	37,3	33,6	35,8
Ilmanvaihdon Lpterssi, dB	#LUKU!	37,3	45,4	33,1	32,96	42,45
Ilmanvaihdon Lpokt, dB		46			43,3	

Nämä arvot eivät ole A-taajuuspainotettuja. Taulukossa 9 on esitetty kaikkien oktaavikaistojen mittaustuloksista laskettu äänenpainetaso ja niiden muunto A-taajuuspainotetuiksi. Lisäksi on laskettu A-taajuuspainotettu kokonaisäänepainetaso laskemalla oktaavikaistojen arvot yhteen kaavalla 20.

Taulukko 9. Oktaavikaistojen muunto A-painotetuiksi ja oktaavikaistojen yhdistäminen kokonais äänenpainetasoksi

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp oktaavikaistoin, dB	46,0	43,3	45,9	36,0	32,0	24,6	13,7	#####
A-painotus, dB	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Lp(A) oktaavikaistoin, dB	20,0	27,3	36,9	33,0	32,0	25,6	14,7	#####
Kokonais Lp(A)	39,8							

Taulukosta 9 huomataan, että oktaavikaistalla 8000 Hz ei ole tullut tulosta.

Taustamelutaso on tällä kaistalla ollut suurempi kuin järjestelmän synnyttämä äänitaso, ja tästä johtuen tulosta ei ole saatu.

7.4 Laskettujen tulosten muuttaminen vertailukelpoiksi ja tulosten vertailu

Laskemalla saatu 37,2 dB(A) ja mittaamalla saatu 39,8 dB(A) eivät ole suoraan verrattavissa, johtuen erilaisista absorptiopinta-aloista. Laskennassa käytetty L_{P10A} arvo on annettu tilanteelle, jossa huoneen absorptiopinta-ala on 10 m². Tämä tarkoittaa 4 dB:n vaimennusta, ja sen muuttaminen vastaamaan todellista tilannetta onnistuu lisäämällä L_{P10A} -arvoon 4 dB ja vähentämällä saa-

dusta arvosta todellinen huonevaimennus. Kaavan 11 logaritmitekijä on huonevaimennus, ja huoneen todellinen absorptiopinta-ala laskettiin jälkikaiunta-ajan yhteydessä. Näin esimerkiksi taajuuskaistalle 63 Hz saadaan todelliseksi huonevaimennukseksi

$$D_{Huone} = 10 \log_{10}(4/A) dB$$

$$D_{Huone63Hz} = 10 \log_{10}(4/4,8) dB = -0,79 dB$$

Todelliset jälkikaiunta-ajat ja niiden vaikutus päätelaitteen synnyttämää äänitehotasoon on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Päätelaitteen synnyttämän äänitehotason laskenta todellisella huonevaimennuksella

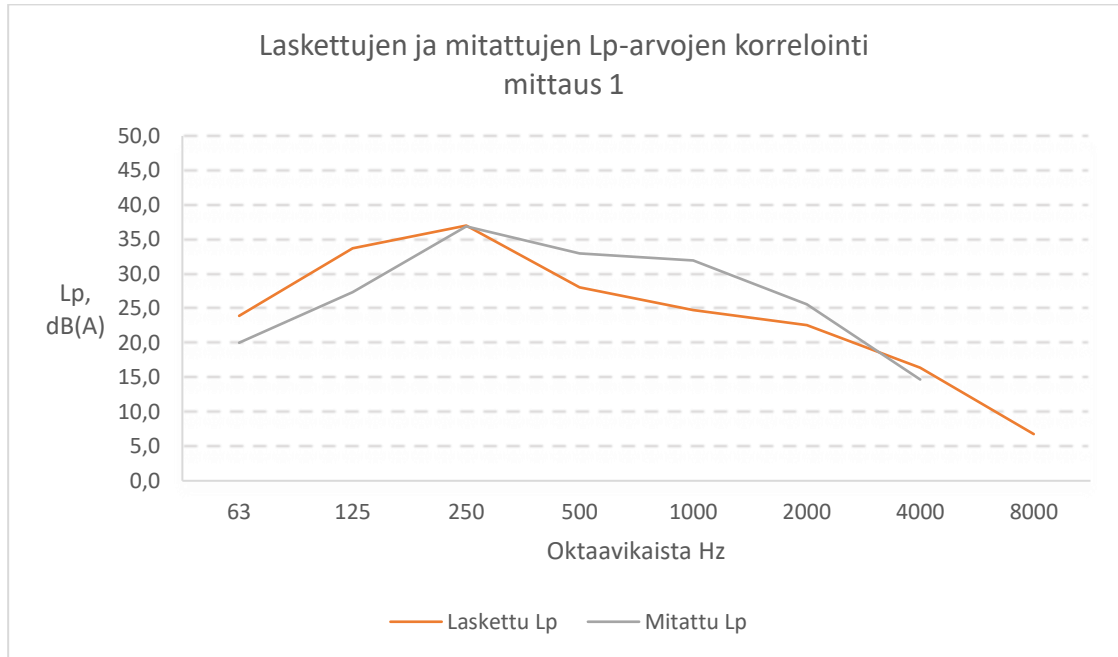
Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lp10a, dB(A)	20	20	20	20	20	20	20	20
Tod huonevaimennus, dB	0,8	1,8	1,2	0,7	0,8	1,5	2,2	2,5
Lp tod huonevaimennus, dB(A)	23,2	22,2	22,8	23,3	23,2	22,5	21,8	21,5
Kokt	16	4	-2	-1	0	-3	-10	-13
Lwokt	39,2	26,2	20,8	22,3	23,2	19,5	11,8	8,5
A-taajuuspainotus, dB	-26	-16	-9	-3	0	1	1	-1
Päätelaitteen Lw, dB(A)	13,2	10,2	11,8	19,3	23,2	20,5	12,8	7,5

Muuttunut absorptiopinta-ala vaikuttaa myös havaintopisteessä lasketun äänenpainetason suuruuteen, koska absorptioala on yksi tekijä kaavassa 12. Tämä muutos on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Havaintopisteen äänenpainetason laskeminen todellisella absorptiopinta-alalla

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Puhaltimen Lw, dB(A)	23,7	34,7	37,5	27,5	20,0	20,0	16,0	1,0
Päätelaitteen Lw, dB(A)	13,2	10,2	11,8	19,3	23,2	20,5	12,8	7,5
Kok Lw(A), dB(A)	24,1	34,7	37,5	28,1	24,9	23,3	17,7	8,4
Absorptioala, m ²	4,8	6,0	5,3	4,7	4,8	5,6	6,6	7,1
Äänenpainetaso Lp _{okt} , dB(A)	23,9	33,7	37,0	28,0	24,7	22,6	16,4	6,8
Lp _{kok} (A), dB(A)	39,4							

Näin on saatu määritettyä kokonaisäänepainetasot laskemalla ja mittaamalla havaintopisteeseen. Taajuuskaistakohtaista tarkastelua varten piirretään kuvaaja, josta nähdään, miten hyvin lasketut ja mitatut arvot kohtaavat taajuuskaistoittain. Tämä kuvaaja on kuvassa 7.

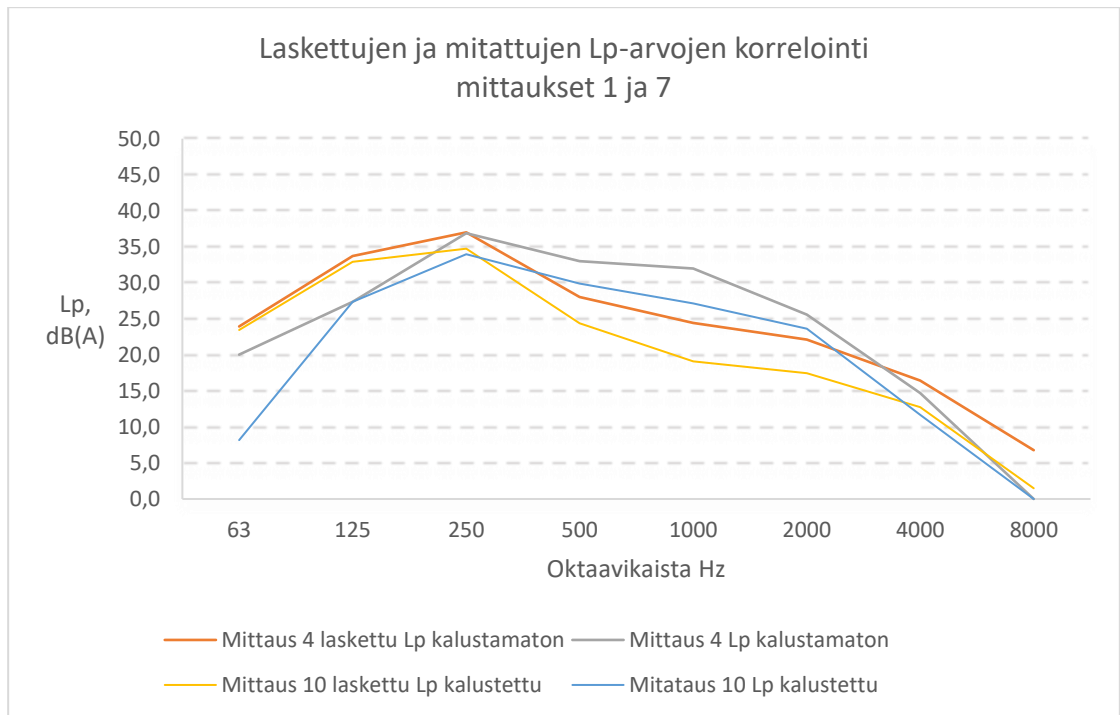


Kuva 7. Mittauksen 1 ja laskettujen arvojen korrelointi

Mittaukset suoritettiin samoilla lähtöarvoilla huoneen kalustamisen jälkeen ja näiden mittausten tulokset on koottu taulukkoon 12. Kuvaan 8 on piirretty kuvaaja äänenpainetasojen jakautumisesta oktaavikaistoittain.

Taulukko 12. Mittausten 1 ja 7 tulokset

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Jännite V	4							
Tilavuusvirta l/s	30							
Päätelaitteen avaus	0							
Mittaus 1 Kalustamaton								
Laskettu Lp(A)okt, dB	23,9	33,7	37,0	28,0	24,4	22,1	16,4	6,8
Mitattu Lp(A)okt, dB	20,0	27,3	36,9	33,0	32,0	25,6	14,7	#####
Laskettu Lp(A), dB	39,4							
Mitattu Lp(A), dB	39,8							
Mittaus 7 Kalustettu								
Laskettu Lp(A)okt, dB	23,5	32,9	34,7	24,4	19,1	17,5	12,7	1,5
Mitattu Lp(A)okt, dB	8,2	27,3	34,0	29,9	27,2	23,6	11,7	#####
Laskettu Lp(A), dB	37,5							
Mitattu Lp(A), dB	36,8							



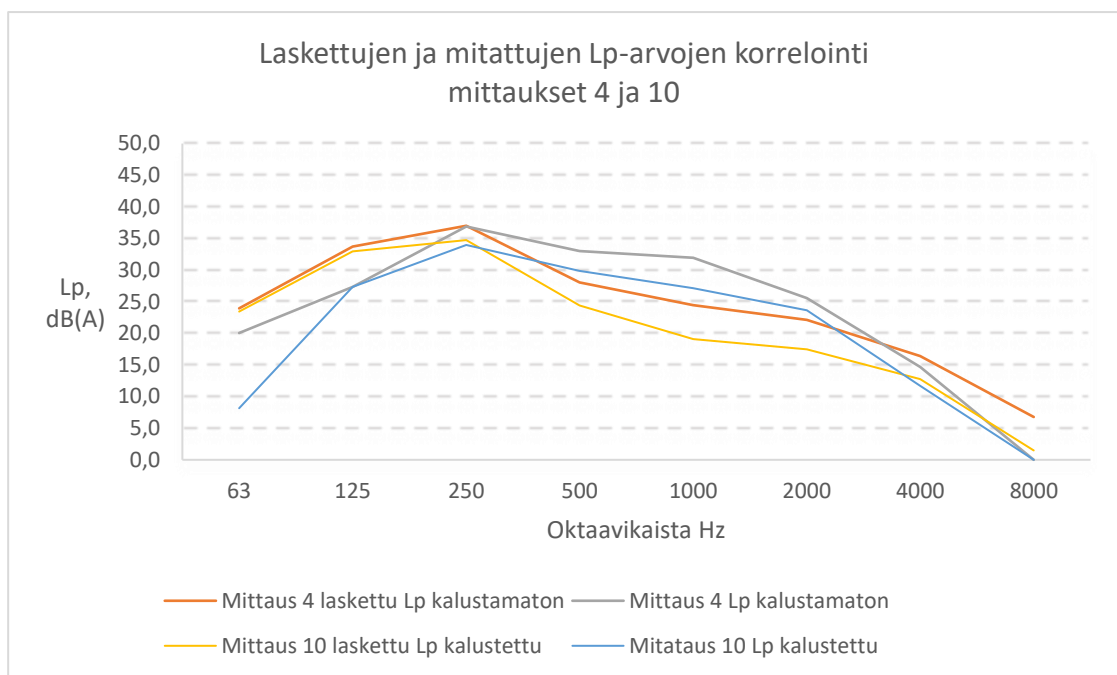
Kuva 8. Mittausten 1 ja 7 Lp-tasot taajuuskaistoittain

Kaikilla käyntiarvoilla mittauksista voidaan havaita, että matalien taajuuksien osalta laskemalla saadaan huomattavasti suurempia tuloksia kuin mittaamalla. Taajuusalueella 500 Hz–2000 Hz ero kääntyy toisinpäin, ja mittaamalla saadaan suurempia äänenpainetasoja. Lasketut ja mitatut kokonaisäänepainetasot ovat varsin lähellä toisiaan muutamaa mittausta lukuun ottamatta.

Mittauksissa 4 ja 10 on eroja laskettuihin tuloksiin sekä oktaavikaistatarkastelussa että kokonaisäänepainetasoissa. Oktaavikaistatarkastelusta havaitsemme, että taajuuksilla 500 Hz–2000 Hz on isoja eroja laskettujen ja mitattujen arvojen välillä. Tämä viittaisi järjestelmän synnyttävän näillä taajuuksilla ääntä, jota laskennassa ei ole osattu huomioida. Tämä näyttäisi erityisesti korostuvan mittauksissa 4 ja 10, mutta näkyy myös muiden mittausten kuvajissa. Mittausten 4 ja 10 tulokset on esitetty taulukossa 13 ja kuvassa 9.

Taulukko 13. Mittausten 4 ja 10 tulokset

Oktaavikaista Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Jännite V	6							
Tilavuusvirta l/s	39							
Päätelaitteen avaus	0							
Mittaus 4 Kalustamaton								
Laskettu Lp(A)okt, dB	29,1	41,7	43,0	35,9	32,5	31,2	28,2	16,7
Mitattu Lp(A)okt, dB	20,0	35,1	44,2	40,7	46,5	50,0	38,8	19,4
Laskettu Lp(A), dB	46,3							
Mitattu Lp(A), dB	52,9							
Mittaus 10 Kalustettu								
Laskettu Lp(A)okt, dB	28,6	40,9	40,7	32,3	27,8	27,3	25,1	12,9
Mitattu Lp(A)okt, dB	15,6	35,6	42,7	37,4	43,7	36,7	26,9	12,3
Laskettu Lp(A), dB	44,5							
Mitattu Lp(A), dB	47,5							



Kuva 9. Mittausten 4 ja 10 Lp-tasot taajuuskaistoittain

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aivan täysin yhteneväisiä tuloksia mittaamalla ja laskemalla ei voida saavuttaa, eikä se ole tavoitteenakaan. Tämän opinnäytetyön tulosten perusteella, tämän tyyppinen työ on mahdollinen talotekniikka-alan opiskelijoiden tehtäväksi. Työtä tehdessä joutuu perehtymään äänitekniikan perusasioihin ja siihen, miten ääntä käsitellään teoreettisesti laskemalla. Mittaukset taas tuovat oman lisänsä siihen, mitkä asiat käytännössä vaikuttavat äänitasojen syntyyn.

Käytännössä tällä hetkellä Mikkelin kampuksella mittaustilat aiheuttavat haasteita äänen mittaamiselle. Taustamelutaso mittaushuoneessa on niin korkea, että pienemmillä puhaltimen käyntinopeuksilla osalla kaistoista taustamelutasoa ja järjestelmän synnyttämää ääntä ei pysty erottamaan toisistaan. Myös ympäröivissä tiloissa liikkuvat ihmiset aiheuttavat virhettä mittauksiin turhan herkästi. Lisäksi käynnissä oleva eteläisen aluekoulun rakentaminen synnyttää melupiikkejä. Osan näistä piikeistä pystyy havaitsemaan mittaustilassa ilman mittariakin, ja näiden piikkien ennakoiminen on hyvin hankalaa.

Mitattavan järjestelmän ajatus on hyvä, mutta käytännön toteutus voisi olla parempi. Järjestelmän pitäisi sijaita paremmin ympäristöstä äänieristetyssä tilassa taustamelutason pienentämiseksi. Nykyisellään kanavistoon osien vaihtaminen on vaikeata, ja tämä voi johtaa kohonneisiin äänitasoihin esimerkiksi, jos liitokset eivät ole aivan kohdallaan. Tähän liittyen voisi miettiä, miten erilaisten kanavaosien irrottaminen ja kiinnittäminen onnistuisi helposti. Tämä mahdollistaisi äänenvaimentimien ja erilaisten kanavaosien vaihtamisen järjestelmään ja niiden vaikutuksen testaamisen äänenpainetasoihin.

Työ on myös laaja muodossa, jossa se nyt esitetään. Mittaukset eivät itsessään kestä mitenkään poikkeuksellisen kauan, mutta tulosten käsittely on varsin työlästä. Varsinkin jos mittaukset suoritetaan terssikaistoilla, tulosten käsittelyyn pitää varata aikaa. Mitään ylitsepääsemättömän hankalaa tulosten käsittelyssä ei pitäisi olla, mutta paljon huomioon otettavia yksityiskohtia siihen liittyy.

Terssikaistojen käyttöön ei mitään pakottavaa syytä ole, ja kaikki mittaukset voi myös suorittaa oktaavikaistoin. Ainoastaan tilanteessa, jossa halutaan nähdä, esiintyykö mittaustilassa kapeakaistaista ääntä, terssikaistojen käyttö olisi suotavaa.

Mittaustiloja ja järjestelmää kehittämällä tästä saisi toimivan laboratoriotyön. Nyt mittauksiin liittyy paljon epävarmuuksia, joihin on hankala vaikuttaa, ja työn tekeminen voi osoittautua liian hankalaksi. Ääni kuitenkin on hyvä työn aihe, ja hyvin toteutettuna varmasti edes auttaisi ääneen liittyvien ilmiöiden oppimista ja ymmärtämistä.

LÄHTEET

Bruel & Kjaer. s.a. What is a sound level meter? WWW-dokumentti. Saatavilla: <https://www.bksv.com/en/knowledge/blog/sound/what-is-a-sound-level-meter>

[Viitattu 6.5.2022].

Fläkt group.s.a. Poistoilmaventtiilit KSO, KSOV ja KSOS: Tekninen esite.

Halme, A. & Seppänen, O. 2003. Ilmastoinnin äänitekniikka. Suomen LVI-liitto. Jyväskylä. Gummerus kirjapaino Oy

Norsonic. 2008. Nor140 sound analyzer – Instruction manual. PDF-dokumentti Saatavilla: https://www.akustik.lth.se/fileadmin/tekniskakustik/education/LjudBS_17/Nor-140_Instruction_Manual_v3R0.pdf [Viitattu 6.5.2022].

RT 07-11299: 2018. Rakennustietosäätiö RTS sr. Sisäilmastoluokitus 2018

RT 10-11302. 2018. Rakennustietosäätiö RTS sr. Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Tehtävät ja dokumentointi.

Sandberg, E.(toim.) 2014, Ilmastointitekniikka osa 2: Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Tammerprint.

SFS-EN ISO 3740. 2019. Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources. Guidelines for the use of basic standards.

SFS-EN 12599. 2013. Rakennusten ilmanvaihto. Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien luovutukseen liittyvät testimenetelmät.

SFS-EN ISO 16032. 2004. Akustiikka. Talotekniikan laitteiden aiheuttaman äänenpainetason mittaaminen. Tekninen menetelmä.

SFS-EN ISO. 2013. Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications

SIT 05-610038. 2006. Rakennustietosäätiö RTS sr. Huoneakustiikka

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015

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

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017

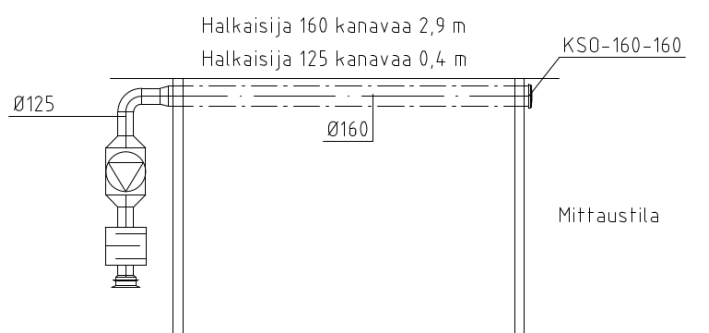
Ympäristöministeriö. 2018. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Helsinki.

H. Östberg Oy. 2021. LBKB Silent 125 C1 EC-puhaltimen tekniset tiedot.
WWW-dokumentti. Päivitetty 14.3.2021. Saatavilla: [https://fsp.ost-
berg.com/products/4440/lpkb-silent-125-c1-ec/?region=se&lang=en](https://fsp.ostberg.com/products/4440/lpkb-silent-125-c1-ec/?region=se&lang=en) [Viitattu
6.5.2022].

Työohje ilmanvaihdon äänimittausten suorittamiseen

Esitehtävä

Perehdy ilmanvaihdon äänitekniseen laskentaan ja määritä laskemalla kuvan 1 esittelemän koejärjestelyn mittauspisteeseen synnyttämä A-painotettu äänenpainetaso L_P . Mittauspiste sijaitsee n 2,20 metrin päässä päätelaitteesta. Kanaviston vaimennusarvoina käytetään Sandbergin Ilmastointilaitoksen mitoitus kirjassa annettuja arvoja.



Kuva 10 Mittausjärjestelyjen periaatekuva

Puhaltimen tyyppi: Östberg LBKB Silent 125 C1 EC

Puhaltimen jännite mittaustilanteessa: 4 V

Päätelaitteen tyyppi: KSO-160

Päätelaitteen avaus mittaustilanteessa: 0

Tilavuusvirta mittaustilanteessa: 30 l/s

Mittausjärjestelyt:

Mittauksissa tarvitaan:

- Äänitasomittari ja sen kolmijalka
- Kaiutin ja äänilähde jälkikaiunta-ajan mittaamiseen
- Balometri
- Tulkki päätelaitteen avauksen määrittämiseen
- Tilanjakajaelementtejä huoneen kalustamiseen
- Kuulosuojaimet
- Pikaohje Nor-140- äänimittarin käyttöön

Mittaustila valmistellaan mittaukseen tulppaamalla tiloista muut päätelaitteet paitsi mittausjärjestelyihin kuuluva. Mittari sijoitetaan huoneen keskipaikkeille.

Mittaushuoneen tilavuus selvitetään, samoin kuin mittarin etäisyys äänilähteestä.

Käytössä oleva mittari on erittäin herkkä ja mittauksia suoritettaessa on varmistettava, että ympäröivissä tiloissa ei ole toimintaa. Mittari on huomattavasti herkempi kuin ihmiskorva ja ylimääräiset äänet pilaavat helposti mittauksen.

Jälkikaiunta-ajan mittaus (3 mittausta);

Ensimmäiseksi mitataan huoneen jälkikaiunta-aika ilman kalustusta. Mittauksessa käytettävä kaiutin sijoitetaan huoneen nurkkaan ja äänilähde liitetään mittariin ohjeiden mukaan. Varmistetaan mittarin mittaavan jälkikaiunta-aikaa oktaavikaistoin. Kuvassa 2 on esimerkki mittaustilanteesta. **Mittauksessa kaiuttimesta lähtee hyvin kova ääni ja kuulosuojaimet ovat tarpeen.**



Kuva 11 Mittaustila ilman kalustusta

Toistetaan jälkikaiunta-ajan mittaus kolmesti. Varmistetaan jokaisen mittauksen jälkeen, mittarin saaneen tuloksen kaikilla laskentaan käytettävillä kaistoilla. Jos mittaus ei onnistu ja kaikilta kaistoilta ei saada tulosta, siirretään mittaria ja toistetaan mittaus.

Taustamelutason mittaus (3 mittausta)

Ennen puhaltimen käynnistämistä, mitataan tilan taustamelutaso. Mittaus toistetaan kolmesti. Mittarin mittausajaksi asetetaan 10 sekuntia ja mittaus suoritetaan terssikaistoin.

Puhaltimen ja kanaviston synnyttämän äänenpainetason mittaus (3 mittausta)

Puhallin käynnistetään ja tarkistetaan säätöjännitteen olevan esitehtävässä annettu. Päätelaitteen avaus tarkistetaan ja balometrillä mitataan tilavuusvirta. Kun arvojen on todettu olevan vastaavat kuin tehtävän annossa, suoritetaan äänenpainetason mittaus. Mittaus toistetaan kolmesti ja mittarin asetukset ovat samat kuin taustamelua mitattaessa.

Mittausten toistaminen kalustetussa huoneessa

Huone kalustetaan laboratoriosta löytyvillä tilanjakaelementeillä. Elementtejä on 4 kappaletta pieniä ja 2 kappaletta isoja. Kuvassa 3 on mallikalustus. Kaikki mittaukset, mukaan lukien jälkikaiunta-aika ja taustamelu, toistetaan samanlaisina kalustetussa huoneessa.



Kuva 12 Mittaustilan kalustus tilanjakaelementeillä

Tulosten käsittely

Mittaustulokset puretaan Exceliin laboratorion tietokoneella ja siihen on erillinen ohje. Saaduista tuloksista määritetään

1. jälkikaiunta-ajoista lasketaan keskiarvo ja sen avulla absorptiopinta-ala.
2. Piirretään taustamelusta sekä ilmanvaihtomittauksista Excelillä kuvaajat. Kuvaajista on helppo havaita, jos mittauksissa on isoja heittoja. Vinkki: pistekuvaaja ei sovellu tähän.
3. Kuvaajien perusteella valitaan yksi taustamelumittaus ja laitteiston synnyttämän äänen mittaus.
4. Vähennetään taustamelu ilmanvaihtolaitteiston mittauksista.
5. Määritetään oktaavikaistojen äänenpainetasot terssikaistoista ja tehdään oktaavikaistoille A-painotus. Vinkki: <https://nti-audiohelpdesk.freshdesk.com/en/support/discussions/topics/33000002026> linkin ohjeessa neuvotaan miten Excelissä saa laskettua äänitasoja yhteen hieman helpommin.
6. Lasketaan oktaavikaistat yhteen kokonaisäänepainetasojen selvittämiseksi.
7. Esitehtävänä laskettu äänenpainetaso muutetaan vastaamaan sekä kalustetun että kalustamattoman huoneen absorptiopinta-alaa.
8. Piirretään kuvaajat, joissa esitetään oktaavikaistoittain lasketut ja mitatut äänenpainetasot.

Kohdat 1-7 suoritetaan erikseen kalustamattomalle sekä kalustetulle huoneelle. Kohdassa 8 lopputuloksena pitäisi olla kuvaaja, jossa on 4 arvosarjaa. Arvosarjat ovat kalustamattoman huoneen laskettu ja mitattu sekä kalustetun huoneen laskettu ja mitattu äänenpainetaso.

Huom! Puhaltimen äänitiedot ovat saatavissa oktaavikaistoilla 63 Hz – 8000 Hz. Näin ollen mittauksista käsitellään ainoastaan vastaavat terssikaistat eli 50 Hz – 10000 Hz.

Raportointi

Raportissa perehdytään, miten yksinkertaisen ilmanvaihtolaitoksen äänitekniinen laskenta tehdään ja mitkä asiat siinä pitää ottaa huomioon. Lisäksi mitattavan järjestelmän laskenta esitetään vaihe vaiheelta.

Mittaustuloksista esitetään absorptiopinta-alan määrittäminen jälkikaiunta-ajan avulla. Mitatuista äänenpainetasoista esitetään piirretyt kaaviot sekä terssikaistojen yhdistäminen oktaavikaistoiksi ja oktaavikaistojen A-painotus. Lisäksi lasketaan oktaavikaistoista kokonaisäänepainetaso.

Esimerkki sisällysluettelosta

1. Johdanto
2. Äänitekninen laskenta
 - 2.1. Ilmanvaihdon synnyttämän äänenpainetason määrittäminen
 - 2.2. Huoneakustiikka
3. Mittausjärjestelyt
4. Tulokset
 - 4.1. Esitehtävän laskenta ja tulokset
 - 4.2. Absorptiopinta-alan määrittäminen
 - 4.3. Äänenpainetasomittausten tulokset
 - 4.4. Esitehtävän tulosten muuttaminen vastaamaan todellista absorptiopinta-alaa
5. Johtopäätökset

Vinkkejä työn suorittamiseen:

Huolellisuutta siihen puhutaanko äänen**painetasosta** L_P vai äänen**teho-**sosta L_W . Ne ovat eri asioita ja niitä ei saa laskea suoraan yhteen tai vähentää keskenään.

Jos laitevalmistaja ilmoittaa ΔL -arvon, sen saa vähentää tai lisätä suoraan teho- tai painetasoon. Muissa tilanteissa on käytettävä logaritmisia laskukaavoja teho- ja painetasojen yhteen ja vähennyslaskuun. Valmistajien ilmoittamien arvojen kanssa muutenkin tarkkuutta mitä ilmoitetaan ja onko esimerkiksi A-painotukset tehty.

Äänitasojen yhteenlaskukaava. Tätä voi käyttää sekä kokonaisäänitasojen laskemiseen että taajuuskaistojen yhdistämiseen kokonaisäänitasoksi.

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \text{ dB}$$

Excelillä tuloksia käsiteltäessä, ei ole huono idea tehdä laskentaa askelittain. Varsinkin tilanteissa, joissa kaavat saattavat mennä pitkiksi ja monimutkaisiksi, se voi olla hyvä tapa toimia. Aiemmin ohjeessa oli linkki, miten äänitasoja voi laskea helpommin yhteen. Toinen tapa tehdä sama asia Excelillä on

Fontti					
=10^(D11/10)					
B	C	D	E	F	G
		50 Hz	63 Hz	80 Hz	
	Lp	39,5	43,2	51	
		=10^(D11/10)			

Kuva 13 Äänenpainetason muuttaminen äänenpaineeksi

Fontti					
=10^(D11/10)					
C	D	E	F	G	
		50 Hz	63 Hz	80 Hz	
	Lp	39,5	43,2	51	
		8912,5	20893,0	125892,5	

Kuva 14 Kaavan kopiointi viereisiin soluihin

Fontti				
=10*LOG10(@D12:F12)				
C	D	E	F	
		50 Hz	63 Hz	80 Hz
	Lp	39,5	43,2	51
	Äänenpaine	8912,5	20893,0	125892,5
	Kok Lp & 3 Hz		43,2	

Kuva 15 Terssikaistojen yhteenlasku oktaavikaistoiksi. @-merkki estää kaavan läikkymisen viereisiin soluihin

Tässä Excelillä laskettu esimerkki olisi kaavamuodossa

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{39,5/10} + 10^{43,2/10} + 10^{51/10}) \text{ dB} = 43,2 \text{ dB}$$

ja sen syöttäminen yhteen soluun on kohtuu hankalaa.

Äänitasojen vähennyskaava

$$L_S = 10 \log_{10} (10^{L_1/10} - 10^{L_2/10} - \dots - 10^{L_n/10}) \text{ dB}$$

Kaava, jolla voidaan ratkaista **suoraan tulevan ja heijastuvan äänen synnyttämä äänenpainetaso**. Kaava on Sandbergin Ilmastointilaitoksen mitoitus käyttämässä muodossa. Muitakin muotoja on ja Q_n arvo saattaa olla erilainen Sandbergiin verrattuna.

$$L_P = L_W + 10 \log_{10} (Q/4\pi r^2 + 4/A) \text{ dB}$$

Huonevaimennuksen kaava, jota muokkaamalla saadaan huomioitua erilaiset absorptiopinta-alat laskennassa

$$D_{Huone} = 10 \log_{10} (4/A) \text{ dB}$$

Sabinen kaava jälkikaiunta-ajan määrittämiseen

$$T = 0,16 V/A$$

Näillä kaavoilla pitäisi työssä vaadittava laskenta onnistua. Lisäksi tietysti laitteiden teknisissä tiedoissa voi olla laitteisiin liittyviä kaavoja..

Nor-140 pikaohje jälkikaiunta-ajan ja äänenpainetasojen mittaamiseen

Jälkikaiunta-ajan mittaaminen

Mittaukseen tarvitaan:

- Äänilähde
- Kaiutin
- Kuulonsuojaimet

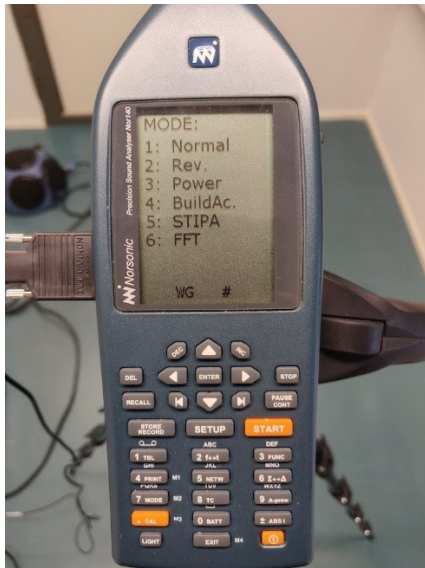
Kytetään mittari ja kaiutin äänilähteeseen kuvan 1 osoittamalla tavalla



Kuva 16 Äänilähteen kytkennät

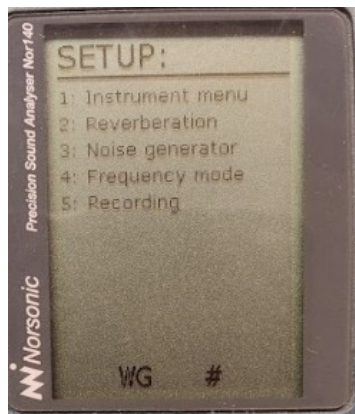
Line-piuha menee mittarille, speaker-piuha kaiuttimelle ja virtajohto pistorasi-
aan. Vasemmalla ylhäällä olevassa Source-valitsimessa tulee olla valittuna
Line, jolloin mittari ohjaa kaiuttimen toimintaa.

Käynnistä mittari virtanapista. Kun mittari on käynnistynyt paina **7 MODE**-näppäintä. Kuvan 2 mukainen valikko ilmestyy näkyville. Paina näppäintä **2** ja mit-
taustilaksi valikoituu jälkikaiunta-aika. Kuvassa 2 mittarin vasemmalla puolella
näkyvä liitin on Line-piuhan toinen pää.



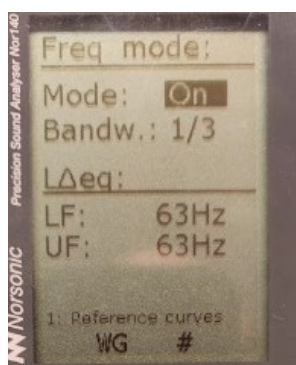
Kuva 17 Mittaustilan valinta

Nyt mittariin on valittu jälkikaiunta-ajan mittaus ja painamalla näppäintä **SETUP** päästään kuvan 3 mukaiseen valikkoon, josta valitaan näppäimellä **4** Frequency mode-valikko



Kuva 18 Reverberation-mittaustilan SETUP-valikko

Kuvassa 4 näkyvässä Frequency mode-valikossa valitaan mitataanko jälkikaiunta-aikaa oktaavi-vai terssikaistoin. **INC**-ja **DEC**-näppäimillä voidaan valita haluttu asetus, **ENTER**illä poistutaan valikosta ja toisen kerran **ENTER**iä painamalla päästään takaisin mittaustilaan.

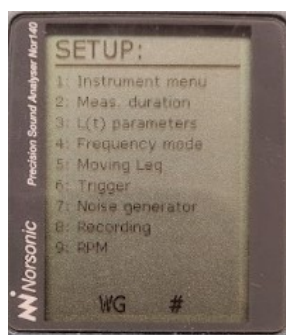


Kuva 19 Reverberation-valikko

Mittaus alkaa, kun painetaan **START**-näppäintä. Kaiuttimesta lähtee todella kova ääni ja kuulosuojaimia tulee käyttää. Mittauksen päätyttyä **STORE RECORD**-näppäimellä tallennetaan mittaus ja **EXIT**-näppäimellä päästään takaisin mittaustilaan ja mittaus voidaan haluttaessa toistaa.

Äänenpainetason mittaus

Painetaan **7 MODE**-näppäintä ja kuvassa 2 näkyvä valikko aukeaa. Valitaan Normal-mittaustila painamalla näppäintä **1**. Aukeavasta mittaustilan ikkunasta päästään **SETUP**-näppäintä painamalla kuvan 5 mukaiseen valikkoon.



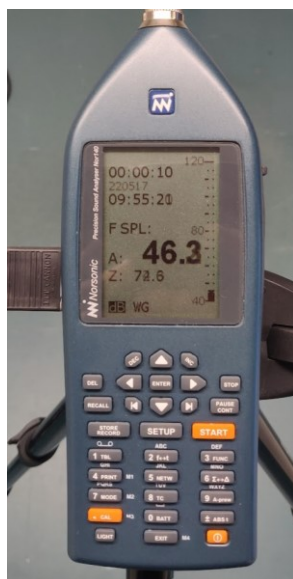
Kuva 20 SETUP-valikko normal-mittaustilassa

Painamalla **4** voidaan muokata mittauksen taajuuskaista-asetuksia samalla tavalla, kuin jälkikaiunta-aikaa mitattaessa. Painamalla **2** päästään muuttamaan mittauksen kestoa kuvan 6 näkymästä. Näkymässä pystyy liikkumaan nuolinäppäimillä, ja numeronäppäimillä syötetään haluttu mittausaika



Kuva 21 Mittauksen keston määrittäminen

ENTERillä poistutaan valikosta ja toisen kerran **ENTER**iä painamalla päästään takaisin mittaustilaan. Kuvassa 7 näkyy mittaustilan näkymä, kun mittari on valmis mittaukseen normaali-mittaustilassa.



Kuva 22 Normaali-mittaustilan näkymä

Mittaus alkaa, kun painetaan **START**-näppäintä. Mittauksen päätyttyä **STORE RECORD**-näppäimellä tallennetaan mittaus ja **EXIT**-näppäimellä päästään takaisin mittaustilaan ja mittaus voidaan haluttaessa toistaa.