



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joona Tuisku

ÄÄNENVAIMENTIMIEN VAIMENNUK- SEN MITTAUSOHJELMA

JTK Power Oy

Tekniikka
2016

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joona Tuisku
Opinnäytetyön nimi	Äänenvaimentimien vaimennuksen mittausohjelma
Vuosi	2016
Kieli	suomi
Sivumäärä	32
Ohjaaja	Marko Rantasalo

Opinnäytetyönä ohjelmoitiin mittausohjelma JTK Power Oy:lle äänenvaimentimien vaimennuksen mittaamiseen. Vaimentimille suoritetaan mittaukset mahdollisten design- ja materiaalimuutosten jälkeen, sekä standardimalleista poikkeavien vaimentimien tehdastesteissä. Uusi mittausohjelma tehtiin mukailemaan standardia EN ISO 11820 ja se tulee korvaamaan nykyisen mittausohjelman.

Ohjelman tehtävänä on tuottaa äänisignaalia ja syöttää se vahvistimen kautta kaiuttimille, jotka ovat suunnattuina mitattavaa vaimenninta edeltävään putkeen. Ohjelma mittaa kuuden mikrofonin avulla äänenpainetta putkistossa, joista kolme mikrofonia mittaa ennen vaimenninta ja kolme jälkeen vaimentimen. Mitatuista arvoista ohjelma laskee äänentehotasojen erotuksen eli vaimennuksen. Vaimennus tulostuu kuvaajaan ja tarvittaessa arvot voidaan viedä Excelliin yhdellä napin painalluksella.

Lopputuloksena saatiin ennalta asetettujen tavoitteiden ja vaatimusten mukainen toimiva mittausohjelma, jonka jatkokehittäminen on tarvittaessa mahdollista.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Kone- ja tuotantotekniikka

ABSTRACT

Author	Joona Tuisku
Title	Measurement Software of the Attenuation of Mufflers
Year	2016
Language	Finnish
Pages	32
Name of Supervisor	Marko Rantasalo

The objective of the thesis was to do measurement software for mufflers, which measure sound pressure and calculates attenuation.

The software generates a sound wave and measures sound pressure with six microphones, three before and three after muffler. The software calculates the attenuation of the muffler from the measured values. The attenuation is plotted to a graph and values can be exported to Excel if needed. The measurement software was made with the LabVIEW system design software which is a graphical programming environment. In LabVIEW, graphical programming is done by wiring blocks to each other in block diagram view and the user interface can be done in the front panel view.

The objective of the thesis was reached and the measurement software is working as expected.

Keywords Muffler, measurement software, noise, LabVIEW

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	7
2	JTK POWER OY	8
3	YMPÄRISTÖMELU.....	9
	3.1 Ympäristömeludirektiivi	9
	3.2 Maailmanpankin vaatimukset	10
4	DIESELMOOTTORI MELULÄHTEENÄ.....	11
	4.1 Pakomelu.....	11
	4.2 Melun vaimennus.....	11
	4.2.1 Laajennuskammiot	12
	4.2.2 Helmholtz-resonaattori.....	12
	4.2.3 Neljännesaaltoresonaattori	12
	4.2.4 Absorptiovaimennin	13
5	VAIMENTIMIEN MITTAUKSET.....	14
	5.1 Factory Acceptance Test.....	14
	5.2 Site Acceptance Test.....	14
6	LÄHTÖKOHDAT.....	15
	6.1 Nykyiset menetelmät	15
	6.2 Uudet menetelmät	15
	6.3 Mittauslaitteisto.....	16
7	STANDARDIT.....	17
	7.1 EN ISO 7235:2003.....	17
	7.2 EN ISO 11820:1996.....	17
8	LABVIEW.....	19
	8.1 Sound and Vibration -lisäosa	19

8.2	Front Panel	20
8.3	Block Diagram	21
8.3.1	Funktiot	21
8.3.2	Virtual Instrument	21
8.3.3	Silmukat	22
8.3.4	Muistipaikat	22
9	MITTAUSOHJELMA	24
9.1	Työn eteneminen	24
9.1.1	Äänisignaalin tuotto	24
9.1.2	Mittadatan keräys	24
9.1.3	Vaimennuksen laskeminen	25
9.1.4	Kuvaajien päivitys	25
9.1.5	Taustamelun mittaus	26
9.1.6	Mikrofonien kalibrointi	26
9.1.7	Tulosten vieminen Exceeliin	27
9.2	Ongelmat ja niiden ratkaisut	27
10	YHTEENVETO JA ARVIOINTI	29
10.1	Yhteenveto	29
10.2	Arviointi	30
	LÄHTEET	32

LYHENTEET

LV	LabVIEW, Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench on graafinen ohjelmointiympäristö
EU	Euroopan unioni
CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
Oy	Osakeyhtiö
dB	Desibeli, äänenvoimakkuuden mittayksikkö
dB(A)	Yleistynyt tapa ilmoittaa A-suodinta käyttäen mitattu taajuuspainotettu äänenpainetaso
Hz	Hertsi, taajuuden yksikkö
FAT	Factory Acceptance Test, tehdastesti
SAT	Site Acceptance Test, käyttöönottotesti
VI	Virtual Instrument, LabVIEW:llä tehty ohjelma
PCI	Peripheral Component Interconnect, tietokoneväylä lisälaitteiden liittämiseen
Pa	Pascal, paineen yksikkö
V	Voltti, jännitteen yksikkö
Mt	Megatavu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on LabVIEW -pohjaisen mittausohjelman ohjelmointi JTK Power Oy:lle. Ohjelman tehtävänä on mitata äänenpainetta ja laskea äänenvaimentimen vaimennus standardin EN ISO 11820 mukaan. Ohjelma tuottaa äänisignaalia ja syöttää sen vahvistimen kautta kaiuttimille. Ääni suunnataan kaiuttimilta putkistoon, josta mitataan äänenpainetta kolmella mikrofoniolla eri kohdista ennen äänenvaimenninta ja kolmella mikrofoniolla eri kohdista äänenvaimentimen jälkeen. Ohjelma muuntaa äänenpaineen äänenpainetasoiksi ja laskee äänentehotasot.

Standardin EN ISO 11820 mukaan, vaimennus saadaan laskemalla ensin keskiarvot äänentehotasosta ennen vaimenninta ja vaimentimen jälkeen, jonka jälkeen vähennetään vaimentimen jälkeinen keskiarvo vaimenninta edeltävästä keskiarvosta.

Tässä työssä esitellään myös LabVIEW -ohjelmistoa, käydään lyhyesti läpi EU:n ja maailmanpankin asettamia ympäristömeluvaatimuksia, dieselmoottorin äänenvaimentamista, vaimentimien mittaustilanteita, sekä työssä käytettävää mittalaitteistoa.

2 JTK POWER OY

JTK Power Oy on Vöyrillä sijaitseva keskiraskas konepaja, joka on erikoistunut vaativien teräsrakenteiden valmistukseen.

Yritys perustettiin vuonna 1958 nimellä Metall-Jokela Oy. Yritys sijaitsi aluksi Vaasassa, Laturintiellä ja vuonna 1998 omistajanvaihdoksen myötä yrityksen nimeksi muuttui JTK Power Oy. Yrityksen voimakkaan kasvun myötä yritys osti Vöyrillä sijainneen Glamox Oy:n tuotantolaitoksen vuonna 2001. Kesällä 2013 JTK Power Oy liitettiin osaksi Koncentra Verkstad Ab -konsernia. Yrityksellä on tuotantolaitos myös Suzhoussa, Kiinassa. Yrityksen tuotantotilojen kokonaispinta-ala on 8000 neliötä./1/

Yritys valmistaa muun muassa väestönsuojaovia, äänenvaimentimia diesel- ja kaasumoottoreihin, paineilmakompressoreihin, alipainepumppuihin, sekä ulospuhallusputkiin. CNC-koneistusosastolla koneistetaan vaativia materiaaleja, kuten dieselmootoreiden venttiili-istukkarenkaita./2/

3 YMPÄRISTÖMELU

Ympäristömelulla tarkoitetaan ihmisen toiminnan aiheuttamaa ulkona esiintyvää ääntä, jonka ihmiset tuntevat kiusalliseksi ja häiritseväksi. Esimerkkeinä tie-, rai- de- ja lentoliikenteen, sekä teollisuuslaitosten aiheuttama ääni.

3.1 Ympäristömeludirektiivi

Ympäristömeludirektiivi 2002/49/EY ei aseta melulle oikeudellisesti sitovia EU:n laajuisia raja-arvoja tai tavoitteita, mutta jäsenvaltiot ovat asettaneet kansallisia oikeudellisesti sitovia melun raja-arvoja tai ottaneet käyttöön ohjearvoja.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY edellyttää jäsenvaltioita käyttämään meluindikaattoreita. Direktiivin mukaan meluselvityksissä melun yleistä häiritsevyyttä kuvaavana tunnuslukuna tulee käyttää päivä-ilta-yömelutasoa L_{den} ja yömelun unihäiriöitä kuvaavana melun tunnuslukuna käytetään yömelutasoa L_{night} . Jäsenvaltioita edellytetään raportoimaan tapauksista, joissa väestö altistuu L_{den} 55dB:lle tai L_{night} 50dB:lle tai sitä suuremmille arvoille./3/

Päivä-ilta-yömelutaso L_{den} määritellään seuraavan kaavan avulla:

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (1)$$

L_{day} , $L_{evening}$ ja L_{night} ovat ISO1996-2:1987:ssä tarkoitettuja A-painotettuja pitkän ajan keskiäänitasoja, jotka määritellään vuoden kaikkien päivä-, ilta ja yöaikojen perusteella. Oletuksena päivän pituus on 12 tuntia, illan pituus 4 tuntia ja yön pituus 8 tuntia, mutta jäsenvaltiot voivat lyhentää iltajaksoa yhdellä tai kahdella tunnilla ja vastaavasti pidentää päivää ja/tai yötä./3/

3.2 Maailmanpankin vaatimukset

Maailmanpankki on julkaissut lämpövoimalaitosten ympäristö-, terveys- ja turvallisuusohjeet, jotka määrittelevät maailmanlaajuisten voimalaitosprojektien ympäristövaikutuksia koskevat vähimmäisvaatimukset (taulukko 1). Niiden noudattamista edellytetään kehittyvien markkinoiden projektien rahoitusehdoissa./4/

Taulukko 1. Maailmanpankin asettamat ympäristöohjeen ympäristömelujen ohjearvot dB(A), joita ei saisi ylittää /5/.

Alue	Päiväaika (07.00-22.00)	Yöaika (22.00- 07.00)
Asutusalue	55	45
Teollisuusalue	70	70

Maailmanpankki on antanut ympäristö-, terveys- ja turvallisuusohjeessaan myös voimalaitosten äänieristettyjen valvomohuoneiden melulle raja-arvoksi 60dBA, mutta hyväksyy suuremmissa voimalaitoksissa 65dBA, jos 60dBA on taloudellisesti vaikea saavuttaa /6/.

4 DIESELMOOTTORI MELULÄHTEENÄ

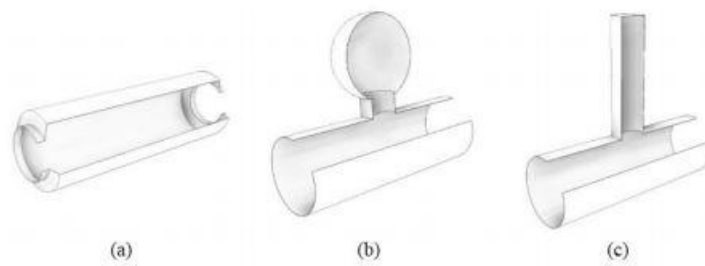
4.1 Pakomelu

Dieselmoottorin pakomelu on impulssimaista ja matalataajuista, jonka suurin heräte on tyypillisesti alle 200Hz:n taajuusalueella. Matalataajuinen melu koetaan häiritseväksi sen ylittäessä kuulokynnyksen. Tason kasvaessa suureksi häiritsevyyttä lisää herätteen aikaansaama kevyiden rakenteiden värähtely. Ihmisen kuulema taajuusalue on 16-20000Hz, mutta on herkimmillään 1-4kHz:n alueella.

4.2 Melun vaimennus

Matalien taajuuksien vuoksi dieselmoottorin pakovaimennukseen sopivat parhaiten reaktiiviset äänenvaimentimet, joista tyypillisimpiä ovat laajennuskammio, Helmholtz-resonaattori ja neljännesaaltoresonaattori (kuva 1). Reaktiivisissa äänenvaimentimissa vaimennus perustuu pääsääntöisesti ääniaaltojen heijastumiseen ja vastakkaisvaiheiseen summautumiseen [7]. Reaktiiviset äänenvaimentimet poikkeavat toisistaan niin toimintaperiaatteeltaan kuin suorituskyvyltään. Suurimmat eroavaisuudet ovat vaimennuskyvyssä, elementin mitoissa sekä painehäviössä.

Toinen yleinen äänenvaimennintyyppi on absorptiovaimennin (resistiivinen), joka suodattaa äänestä tehokkaasti korkeita taajuuksia. Absorptiovaimentimia käytetään usein kohteissa, joissa suuret määrät ilmaa tai kaasua liikkuu suhteellisen pienellä staattisella paineella.[7] Reaktiivisia ja resistiivisiä vaimentimia käytetään usein yhdessä, eli lisätään reaktiiviseen vaimentimeen myös resistiivinen osa.



Kuva 1. Reaktiiviset vaimentimet: (a) laajennuskammio, (b) Helmholtz-resonaattori ja (c) neljännesaaltorezonaattori.

4.2.1 Laajennuskammiot

Laajennuskammio on tyypillisin reaktiivinen vaimennintyyppi, joka koostuu sisään- ja ulostulon pinta-alan epäjatkuvuuskohdasta, pitkästä kammio-osasta sekä ulostulon pinta-alan epäjatkuvuuskohdasta [7]. Laajennuskammion vaimennuskykyä voidaan parantaa jatkamalla sisään- ja ulostulon putkia kammion sisälle.

4.2.2 Helmholtz-resonaattori

Helmholtz-resonaattori on reaktiivinen vaimennin, jonka toiminta perustuu massajousjärjestelmään ja jolle ominaista on erittäin korkea vaimennus viritystaajuudella. Tämän ansiosta se sopii hyvin tapauksiin, joissa meluspektrissä on yksi voimakas taajuus, joka halutaan vaimentaa. Dieselmoottorin pakomeluspektrissä on useita voimakkaita harmonisia taajuuksia, joten Helmholtz-resonaattori ei ole kaikkein paras vaihtoehto. [7] Mitoituslaskelmissa on huomioitava viritystaajuuden lisäksi resonanssitaajuus ja varmistua, että taajuudelle ei osu voimakkaita herätteitä. Resonanssitaajuuden on havaittu aiheuttavan melun lisääntymistä viritystaajuuden läheisellä taajuudella. [8]

4.2.3 Neljännesaaltorezonaattori

Neljännesaaltorezonaattori on reaktiivinen vaimennin, jonka toiminta perustuu ääniaaltojen vastakkaiseen summautumiseen aaltoputken avulla [7]. Dieselmootto-

rin pakomelun vaimentaminen on mahdollista virittämällä neljännesaaltoresonaattoreita halutuille herätetaajuuksille.

4.2.4 Absorptiovaimennin

Absorptiovaimentimessa ääniaallot törmäävät johonkin huokoiseen materiaaliin, jolloin äänen energia muuttuu vaimentimessa käytetyn huokoisen materiaalin värähtelyksi ja näin ollen lämpöenergiaksi. Absorptiovaimentimia käytetään usein moottorin imumelun vaimentamiseen.

5 VAIMENTIMIEN MITTAUKSET

Tämän työn aiheena olevalla ohjelmalla tehtävät mittaukset suoritetaan tehtaalla vaimennimille tehtyjen design- tai materiaalimuutosten jälkeen, sekä standardimallisista poikkeavien vaimentimien valmistuksen yhteydessä tehdään tehdastesti, josta käytetään lyhennettä FAT (Factory Acceptance Test). Asiakkaalla käyttöönoton yhteydessä tehtävästä mittauksesta käytetään lyhennettä SAT (Site Acceptance Test).

5.1 Factory Acceptance Test

FAT on valmistajan tai toimittajan tiloissa tehtävä tehdastesti, joka tehdään ennen laitteen/tuotteen luovuttamista asiakkaalle. FATin tulosten perusteella voidaan asiakkaalle osoittaa, että laite täyttää vaatimukset ja on valmiina asennettavaksi ja testattavaksi paikan päällä.

Esimerkiksi valmistettaessa vaimenninta voimalaitokseen, voidaan vaimentimen vaimennus mitata jo valmistajan tiloissa, sillä voimalaitosten rakentaminen saattaa kestää vuosia, jonka vuoksi käyttöönototestaukseen on pitkä aika. Asiakkaan saadessa FAT -mittaustulokset saattaa se tehdä tilauksen heti lopuistakin vaimentimista, eikä näin ollen tarvitse odottaa käyttöönototestaukseen asti.

5.2 Site Acceptance Test

SAT on käyttöönototestaus, josta tehdään oma suunnitelma ja laitteet/tuotteet tarkistetaan. Ennen käyttöönottoa asiakas hyväksyy tarkastuksen ja tarkastukset dokumentoidaan. Käyttöönototesti tehdään isompana kokonaisuutena eli siinä on mukana jo kaikki tai suurin osa laitteista, jolloin saadaan oikeaa tilannetta vastaavat arvot ja tulokset.

6 LÄHTÖKOHDAT

6.1 Nykyiset menetelmät

JTK Powerilla on käytössään aiemmin hankittu mittausohjelma, joka tuottaa White Noise -tyyppistä äänisignaalia ja mittaa äänenpainetta mikrofonien avulla.

Äänisignaali syötetään tietokoneen PCI-väylässä sijaitsevan mittauskortin analogisista lähdöistä vahvistimen kautta kaiuttimille. Kaiuttimilta ääni suunnataan putkeen, josta mitataan äänenpainetta kolmella mikrofonilla eri kohdista ennen äänenvaimenninta ja kolmella mikrofonilla eri kohdista äänenvaimentimen jälkeen.

Mikrofonit ovat kytkettynä tietokoneen toisessa PCI-väylässä sijaitsevan mittauskortin analogisiin sisääntuloihin. Ohjelma laskee keskiarvon ennen vaimenninta sijaitsevien mikrofonien mittaamille äänenpainearvoille ja tekee samoin vaimentimen jälkeisten mikrofonien mittaamille arvoille. Ohjelma muuntaa mitatut äänenpainearvot äänenpainetasoiksi ja vähentää vaimentimen jälkeisen keskiarvon vaimenninta edeltävästä keskiarvosta, jolloin erotus eli vaimennus tulostuu oktaavikaistana ja 1/3-oktaavikaistana omiin kuvaajiin, sekä tallentaa taajuusarvot ja äänenpainetasot tekstitiedostoon.

Edellisessä kappaleessa selostetusta toimintatavasta ei ole kuitenkaan mitään varmuutta, mikä on suurimpana syynä uusien menetelmien kehittämiseen ja käyttöönnottoon.

6.2 Uudet menetelmät

Äänen tuotto ja mittaus tapahtuu samalla laitteistolla ja samaan tapaan kuin aiemmin. Erona aiempiin menetelmiin on uuden Labview -pohjaisen mittausohjelman ohjelmointi itse, koska mittaukset ja analysointi halutaan tehdä Standardin EN ISO 11820 mukaisesti. Edellisestä ohjelmasta ei ole minkäänlaista varmuutta sen toimintatavasta.

6.3 Mittauslaitteisto

Tässä työssä käytetään National Instrumentsin PCI-4472 (kuva 2) ja PCI-4461 (kuva 3) -mittauskortteja, jotka ovat kytkettyinä pöytätietokoneen PCI-väyliin.

PCI-4472 sisältää kahdeksan analogista sisääntuloa, joista kuuteen sisääntuloon on kytketty äänenpaineen mittaukseen käytettävät BSWA MA231-mikrofonit (kuva 4). Mittauskortti sisältää A/D-muuntimen, joka muuntaa analogisen signaalin digitaalseksi. PCI-4461 sisältää kaksi analogista ulostuloa ja kaksi analogista sisääntuloa, joista ulostulot ovat kytkettyinä Lab.Gruppenin äänenvahvistimeen, johon kaiuttimet ovat kytkettyinä. Mittauskortti sisältää omat A/D- ja D/A-muuntimet, joilla signaali muutetaan analogisesta digitaalseksi ja päinvastoin.



Kuva 2. PCI-4472.



Kuva 3. PCI-4461.



Kuva 4. BSWA MA231 mikrofoni.



Kuva 5. Rion NC-74 kalibraattori.

Mikrofonien kalibrointiin käytetään 1. luokan akustista kalibraattoria Rion NC-74 (kuva 5), jonka äänenpainetaso on $94\text{dB} \pm 0,3\text{dB}$ taajuudella $1\text{kHz} \pm 20\text{Hz}$.

7 STANDARDIT

7.1 EN ISO 7235:2003

Standardin EN ISO 7235 mukaiset mittaukset soveltuvat kaiken tyyppisten ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien vaimentimien, ilmanotto- ja pakovaimentimien, sekä muiden samankaltaisten äänenvaimentimien mittauksiin laboratorioolosuhteissa. Tämä standardi ei ole sovellettavissa moottoriajoneuvoissa käytettäville reaktiivisille vaimentimille./9/

Koska tämän työn aiheena olevaa mittausohjelmaa ei ole tarkoitettu laboratorio-mittauksiin, mukaillaan tässä työssä standardia EN ISO 11820.

7.2 EN ISO 11820:1996

Tämän työn aiheena olevan mittausohjelman mittaukset ja laskelmat tehdään mukaillen standardia EN ISO 11820.

Standardin mukaan mittauksen taajuusalue oktaavikaistoina tulee olla vähintään 63Hz–4kHz, sekä mikäli mahdollista ja tarpeen, niin 31,5Hz–8kHz. Mittauksen taajuusalue 1/3-oktaavikaistoina 50Hz–5kHz, sekä mikäli mahdollista ja tarpeen, niin 25Hz–10kHz. /10/

Tässä työssä mittaukset tehdään oktaavikaistoina taajuusalueella 31,5Hz–8kHz, sekä 1/3-oktaavikaistoina 25Hz–10kHz.

Standardin EN ISO 11820 mukaan vaimennus (D_{ts}) saadaan laskemalla ensin keskiarvot äänenpainetasoista ennen vaimenninta ja vaimentimen jälkeen, jonka jälkeen keskiarvoista lasketaan äänentehotasot ja vähennetään vaimentimen jälkeinen äänentehotaso (L_{W1}) vaimenninta edeltävästä äänentehotasosta (L_{W2})./10/

Äänenpainetaso määritetään kaavalla:

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

jossa p on tarkasteltava äänenpaine ja $p_0 = 20\mu\text{Pa}$, joka on ihmisen kuulokynnykselle standardisoitu vertailuarvo.

Vaimennus lasketaan kaavalla:

$$D_{ts} = L_{W2} - L_{W1} \quad (3)$$

L_{W2} on äänentehotaso ennen vaimenninta, joka saadaan kaavasta:

$$L_{W2} = L_{p2} + 10 \lg \left(\frac{S_2}{S_0} \right) \text{dB} + K_2 \quad (4)$$

jossa L_{p2} on vaimenninta edeltävä äänenpainetaso, S_2 on vaimenninta edeltävän putken pinta-ala, $S_0 = 1\text{m}^2$ ja K_2 on korjausarvo.

L_{W1} on äänentehotaso vaimentimen jälkeen, joka saadaan kaavasta

$$L_{W1} = L_{p1} + 10 \lg \left(\frac{S_1}{S_0} \right) \text{dB} + K_1 \quad (5)$$

jossa L_{p1} on vaimentimen jälkeinen äänenpainetaso, S_1 on vaimentimen jälkeisen putken pinta-ala, $S_0 = 1\text{m}^2$ ja K_1 on korjausarvo./10/

8 LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) on National Instrumentsin omistama ja kehittämä graafinen ohjelmointiympäristö, jossa ohjelmointi tapahtuu graafisella G-kielellä, jota ei kuitenkaan saa sekoittaa G-koodiin. NI:n omien sanojensa mukaan ”LabVIEW on testattu kehitysympäristö, jolla liitytään mittaus- ja ohjauslaitteisiin, analysoidaan dataa, julkaistaan tuloksia ja jaetaan järjestelmiä graafisen ohjelmoinnin avulla.” /11/

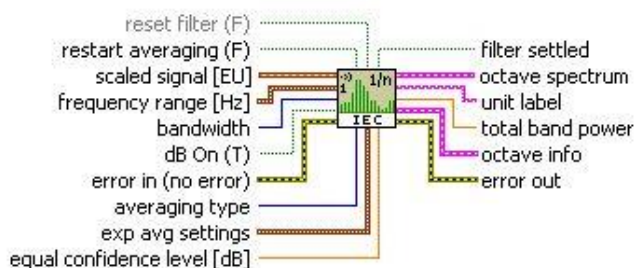
LV:stä on saatavilla viisi eri ohjelmistoversiota; Base, Full, Professional, Home Edition ja Student Edition, sekä monia erilaisia lisäosia, joita voi ostaa tarpeidensa mukaan. Tässä työssä käytössä on LV Professional, sekä Sound and Vibration -lisäosa, josta löytyy muun muassa äänen mittaukseen ja analysointiin tarvittavat virtual instrumentit (VI) ja indikaattorit.

LV:n graafinen ohjelmointi tapahtuu pääasiassa yhdistelemällä valmiita palikoita toisiinsa lohkokaaviossa (block diagram), vetämällä ”johtoja” output-porteista input-portteihin. Haluamansa näköinen käyttöliittymä saadaan koottua etupaneelissa (front panel).

8.1 Sound and Vibration -lisäosa

Sound and Vibration lisäosan saa hankittua lisähintaan ja se sisältää äänisignaalin analysointi- ja käsittelytyökaluja, sekä työkaluja värinän mittaukseen ja konekunnan valvontaan. Lisäosa sisältää myös useita valmiita esimerkkiohjelmiä mm. äänen analysointiin ja käsittelyyn, sekä värinän analysointiin ja kirjaamiseen.

Tässä työssä käytetään Sound and Vibration -lisäosaan sisältyviä oktaavikaistamuuntimia (kuva 6) ja oktaavikaistakuvaajia (kuva 7).



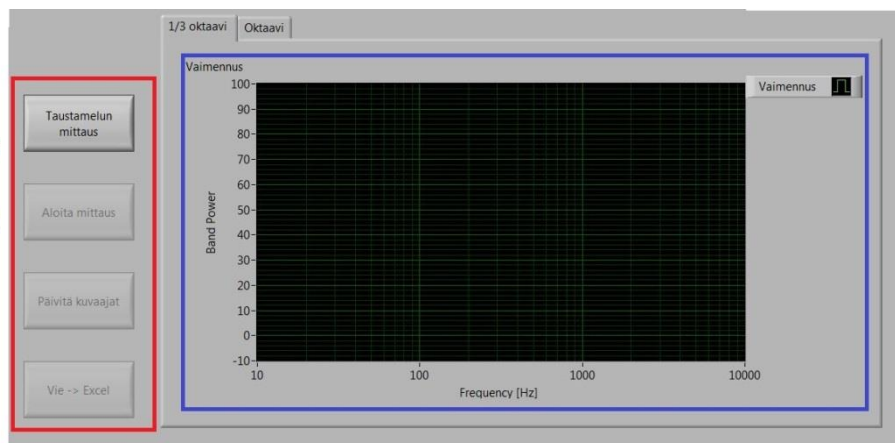
Kuva 6. Oktaavikaistamuunnin VI.

8.2 Front Panel

Front Panel eli etupaneeli on käyttöliittymän kasaamiseen tarkoitettu ikkuna (kuva 7). Etupaneeli koostuu pääasiassa ohjaimista ja indikaattoreista.

Ohjaimilla tarkoitetaan nimensä mukaisesti ohjelman ohjaamiseen eli käyttämiin tarkoitettuja nappeja ja säätimiä.

Indikaattoreilla tarkoitetaan ilmaisimia ja osoittimia, jotka voivat olla esimerkiksi ohjelman tuottaman datan näyttämiseen tarkoitettuja kuvaajia, valoja, numeerisia- ja/tai tekstilaatikoita.



Kuva 7. Front Panel.

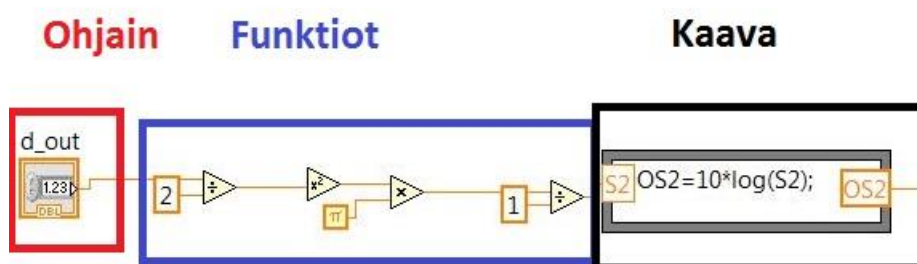
8.3 Block Diagram

Block Diagramissa eli lohkokaaviossa (kuva 9) tapahtuu itse ohjelmointi. Ohjelmointi tapahtuu yhdistelemällä funktioita ja virtual instrumentteja, sekä etupaneeliin asetettuja ohjaimia ja indikaattoreita.

8.3.1 Funktiot

Funktiot ovat graafisen G-ohjelmointikielen perusasioita. Funktioiksi kutsutaan esimerkiksi palikoita, joilla tehdään ohjelmoinnin yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolaskut (kuva 8).

Ohjelmaan voidaan sisällyttää myös perinteisesti kirjoitettuja kaavoja ja lisätä niihin sisääntuloja ja ulostuloja (kuva 8).



Kuva 8. Ohjain, funktiot ja kaava.

8.3.2 Virtual Instrument

Virtual instrumentiksi eli VI:ksi kutsutaan niin pienempiä kuin suurempiakin ohjelmoituja kokonaisuuksia, joita löytyy LV:stä jo valmiina, ja joita voidaan ohjelmoida myös itse. Valmis ohjelma on itse VI, joka yleensä sisältää usean pienemmän VI:n. Valikoista löytyvät valmiit VI:t helpottavat ohjelmointia todella paljon, koska vaativampaa ohjelmaa tehdessä kaikkea ei tarvitse ohjelmoida alusta vaan riittää, kun tietää mitä haluaa ohjelman tekevän ja etsii sopivan VI:n, joka tämän tekee.

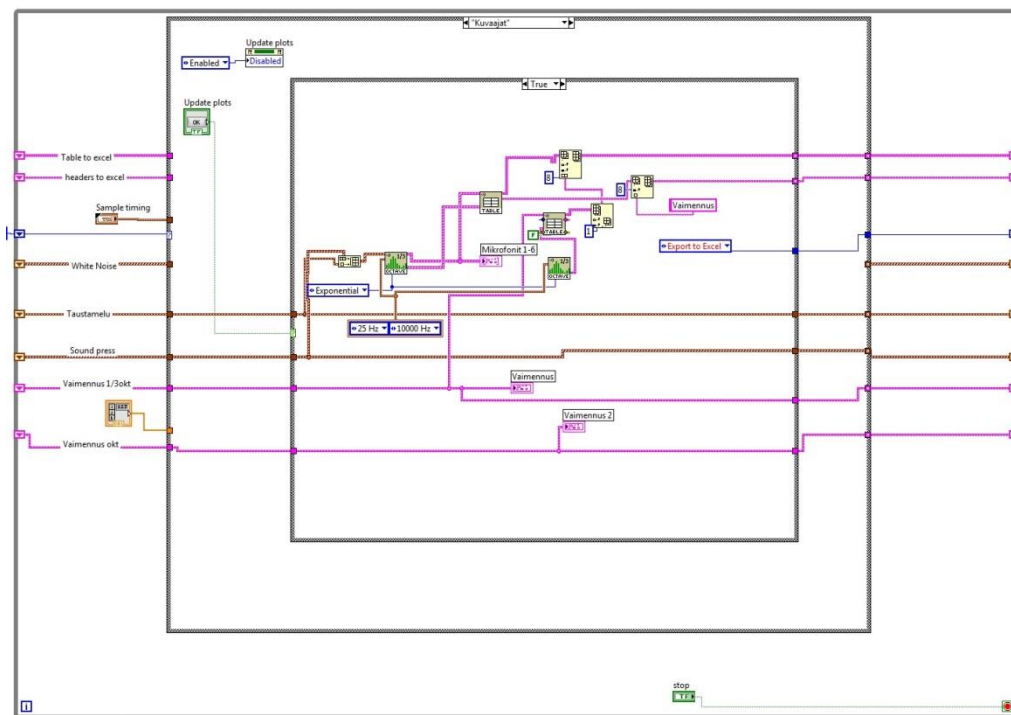
8.3.3 Silmukat

Ohjelmoinnin kannalta tärkeitä ovat myös erilaiset silmukat. Tässä työssä käytössä ovat While Loop ja For Loop. While Loop toistaa silmukkaa niin kauan, kunnes tietty ehto on tosi, kun taas For Loop toistaa silmukkaa niin monta kertaa, kuin ennalta on määrätty. While Loopin sisälle on hyvä alkaa rakentamaan ohjelmaa, näin ohjelma saadaan pyörimään yhtäjaksoisesti niin pitkään, kunnes se pysähtyy ohjelmoidun ehdon täytyessä. While Loop mahdollistaa myös muistipaikkojen käyttämisen, joita kutsutaan LV:ssä Shift Registereiksi.

8.3.4 Muistipaikat

Muistipaikkojen käyttämisen ja niiden tarkoituksen opittuaan ohjelmointi selkeytyi huomattavasti. Välilehtiä voidaan tehdä lohkokaaviossa Case Structuren avulla useita ja siirtää niissä kerätty tai käytetty data muistiin, josta se voidaan hakea seuraavissa välilehdissä. Jakamalla koodi pienempiin osiin omille välilehdilleen saadaan koodi pysymään selkeämpänä ja muistipaikkoja hyödyntämällä, ainakin omasta mielestä, ohjelma tuntui lukevan koodia sulavammin.

Ohjelma hakee automaattisesti muistipaikoista edellisen datan, joka sinne on viimeisimpänä tallennettu. Mikäli datan haluaa säilyvän useamman välilehden ajan muistissa ilman, että sitä halutaan käyttää, on se aina muistettava viedä sinne uudestaan. Kuvassa 9 on esimerkki yhdestä lohkokaaavion välilehdestä, jossa muistipaikat näkyvät uloimpana olevan ”kehyksen” eli While Loopin molemmissa reunoissa. While Loopin sisällä kaksi Case Structurea sisäkkäin.



Kuva 9. Lohkokaavio.

Kaikki muistiin tallennettu data käyttää tietokoneen keskusmuistia, joten käsiteltäessä suurempia datamääriä on hyvä muistaa, ettei muistia käytä kuitenkaan turhaan. Esimerkkinä todettakoon, että tämän työn aiheena olevalla mittausohjelmalla tehty 30 sekunnin mittaus kuudella mikrofonilla käyttää n.500Mt muistia.

9 MITTAUSOHJELMA

9.1 Työn eteneminen

LabVIEW oli ennestään tuntematon ohjelmisto, joten ennen itse ohjelmoinnin aloittamista oli LabVIEW-ohjelmistoon ensin tutustuttava ja opiskeltava ohjelmoinnin perusteet internetistä löytyvien ohjeiden ja videoiden avulla. National Instrumentsin sivuille rekisteröidyttä sai pääsyn online-harjoitteluun, josta oli suuri apu ohjelmoinnin alkuvaiheessa. Ohjelmointi tuntui heti alkuun kuitenkin loogiselta, joten alkuun päästiin hyvin nopeasti. Ohjelmointi tapahtui aluksi pienempinä kokonaisuuksina ja yhdistämällä näitä sitä mukaan suuremmiksi kokonaisuuksiksi, kun toimivuus oli todettu käytännössä.

Ensimmäinen vaihe oli suunnitella yrityksen edustajan kanssa ohjelman ulkoasu eli käyttöliittymä ja listata ohjelman vaatimukset.

9.1.1 Äänisignaalin tuotto

Ohjelmointi alkoi äänen tuottamisesta, jonka haluttiin olevan ”White Noise” -tyyppistä kohinaa kaiuttimista. Äänisignaalin tuotto onnistui nopeasti valmiiksi löytyvän ”Generate White Noise” VI:n ansiosta. LV:n kommunikointi tietokoneen PCI-väylässä olevien mittauskorttien kanssa toimi hyvin, joten myöskään äänen syötössä kaiuttimille ei ollut ongelmia. Äänisignaalin syötön kestoksi määritettiin 40 sekuntia, alkaa viisi sekuntia ennen mittausta ja loppuu viisi sekuntia mittauksen jälkeen.

9.1.2 Mittadatan keräys

Seuraavana ohjelmoitiin kuusi mikrofonia mittaamaan äänenpainetta. Mittauksen aloittamiselle etupaneeliin asetettiin oma nappi, josta painettaessa alkaa äänisignaalin syöttö kaiuttimista ja viiden sekunnin päästä itse mittaus. Mittauksen kestoksi määritettiin 30 sekuntia.

9.1.3 Vaimennuksen laskeminen

Mikrofoneilla mitatut äänenpainearvot tallennetaan tietokoneen muistiin, josta ohjelma hakee kolmen ensimmäisen mikrofonin mittaamat äänenpainearvot ja laskee niistä keskiarvot. Sama tehdään myös kolmelle viimeiselle mikrofonille.

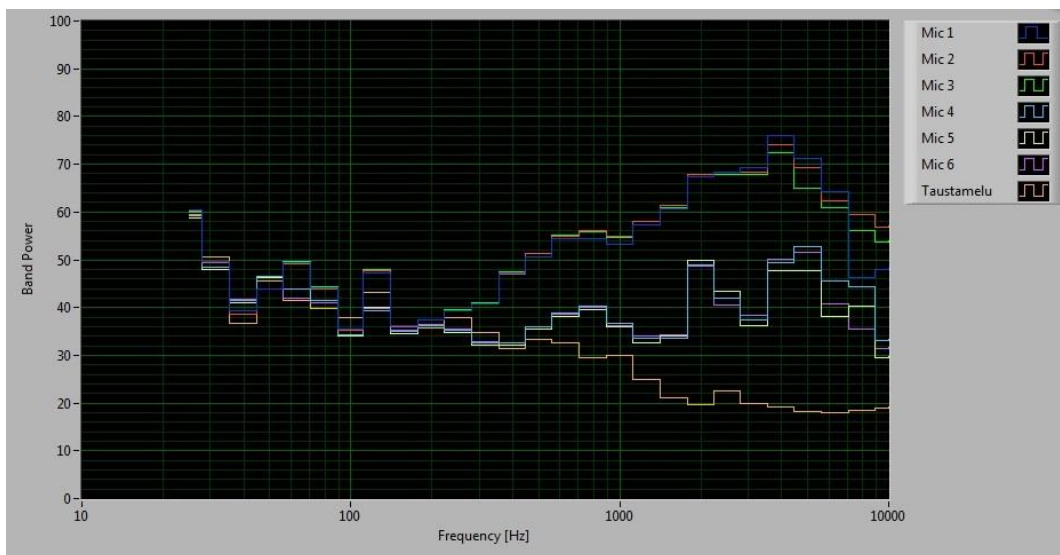
Keskiarvot laskettuaan ohjelma muuttaa keskiarvotetut äänenpainearvot äänenpainetasoiksi, sekä ajaa ne oktaavikaistoiksi ja 1/3-oktaavikaistoiksi. Muunnosten jälkeen äänenpainetasoista lasketaan äänentehotasot.

Tässä vaiheessa kolmen ensimmäisen mikrofonin keskiarvoista lasketuista äänentehotasosta vähennetään kolmen jälkimmäisen mikrofonin keskiarvoista lasketut äänentehotasot, jolloin erotuksena saadaan äänenvaimentimen vaimennus. Vaimennus tallentuu taas muistiin, josta se haetaan seuraavassa vaiheessa kuvaajiin.

9.1.4 Kuvaajien päivitys

Kuvaajien päivitys tapahtuu omasta napistaan, jolloin ohjelma piirtää etupaneelissa näkyviin kuvaajiin vaimennuksen oktaavikaistana ja 1/3-oktaavikaistana.

Etupaneeliin lisättiin myös oma kuvaaja, jossa näkyvät kaikki kuusi mikrofonia (kuva 10). Ohjelma hakee tietokoneen muistiin ennen keskiarvojen laskemista tallennetut ”koskemattomat” äänenpainearvot, muuttaa ne äänenpainetasoiksi ja piirtää ne 1/3-oktaavikaistoina kuvaajaan. Näin voidaan nähdä heti, mikäli joku mikrofoneista on rikki.



Kuva 10. Mikrofonit ja taustamelu 1/3-oktaavikaistakuvaajassa.

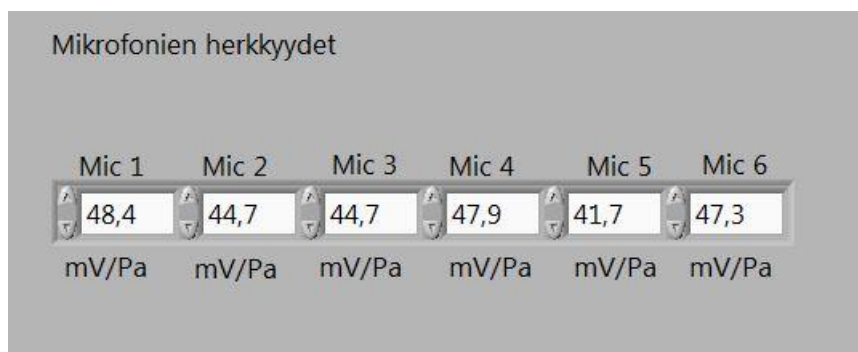
9.1.5 Taustamelun mittaus

Ohjelmaan lisättiin taustamelun mittaus, joka alkaa omasta napista ja tehdään viimeisellä mikrofonilla ennen varsinaista mittausta. Taustamelun mittauksen kesto on 15 sekuntia ja se tulostuu samaan kuvaajaan (kuva 10), jossa näkyvät varsinaisen mittauksen kuuden mikrofonin äänenpainetasot. Näin kuvaajasta nähdään heti, mikäli taustamelu on ollut korkeampi kuin varsinaisen mittauksen vaimentimien jälkeisten kolmen mikrofonin tasot. Taustamelun ollessa korkeampi, mittaus-tulos on epäluotettava, joten tiedetään lisätä vahvistimesta äänenvoimakkuutta ja uusia mittaus.

9.1.6 Mikrofonien kalibrointi

Tämä ohjelma ei sisällä mikrofonien kalibrointia, vaan kalibrointiin käytetään jo aiemminkin käytössä ollutta kalibrointiin tarkoitettua ohjelmaa. Kalibrointi-ohjelmasta siirretään manuaalisesti mikrofonien herkkyysarvot tämän mittausoh-

ohjelman etupaneeliin sijoitettuun ohjaimen (kuva 11). Jokainen mikrofoni kalibroidaan käyttäen Rion NC-74 kalibraattoria.



Kuva 11. Mikrofonien herkkyysohjain.

9.1.7 Tulosten vieminen Exceeliin

Lopuksi ohjelman haluttiin vievän kaikkien mikrofonien äänenpainetasot ja äänentehotasojen erotus eli vaimennus Exceeliin 1/3-oktaavikaistoina. Näistä ohjelma kasaa ensin yhden taulukon, jonka jälkeen etupaneelissa olevaa nappia painettaessa avaa ne Excelissä.

9.2 Ongelmat ja niiden ratkaisut

Ohjelmoinnin aikana tuli vastaan useampi pienempi ongelma, jotka kuitenkin lopulta ratkesivat pääasiassa omin, mutta myös ulkopuolisten avuin. Oikeastaan nämä ei kuitenkaan olleet ongelmia, vaan aloittelijan tietämättömyyttä. Apua ohjelmoinnissa esiintyneisiin ongelmiin kuitenkin löytyi hyvin National Instrumentsin omilta foorumeilta, sekä yhdessä asiassa apua saatiin National Instrumentsin teknisestä tuesta.

Foorumit olivat suuri apu ohjelmoinnin aikana, sillä useimmat ongelmat joihin itse törmäsi, oli jo ratkottu ainakin kertaalleen jollekin toiselle. Tosin näitä ratkaisuja joutui usein soveltamaan omassa työssään ja tekemään pieniä muutoksia, mutta peruseriaatteet toivat mukanaan uusia ideoita omaan ohjelmointiin.

Vaikeimmaksi ja aikaa vievimmäksi ongelmaksi osoittautui mikrofonien keskiarvotus, sekä keskiarvojen erotusten laskeminen. Ohjelma tekee useista arvoista taulukon, joista tarkoitus oli laskea keskiarvot kolmen sarakkeen arvoista, rivi kerrallaan. Neuvoja tähän ongelmaan kysyttiin sähköpostilla NI:n teknisestä tuesta. Tekninen tuki ei ollut kuitenkaan heti apua tarjoamassa. Taisivat säikähtää viestissä mainittua standardia, mutta useiden vaihdettujen sähköpostien jälkeen ongelma ratkesi lopulta heidän tekemän esimerkin perusteella, jossa keskiarvojen laskemiseen käytettiin For Loopia, jonka ominaisuuksiin kuului automaattinen indeksointi. Tämä mahdollisti taulukon arvojen keskiarvottamisen rivi kerrallaan järjestyksessä. Samaan tapaan For Loopin avulla onnistui lopuksi myös näiden keskiarvojen erotuksen laskeminen, jota kuitenkin tekninen tuki ei itse oivaltanut tai halunnut kertoa.

Erotuksen laskeminen toi vielä toisenkin ongelman mukanaan, sillä kahden taulukon arvojen vähentäminen toisistaan vähensi tietysti myös taulukoiden taajuusarvot toisistaan, jotka olivat molemmissa taulukoissa oktaavikaistamuunnoksista johtuen samat. Vähennys tarkoitti siis sitä, että kuvaajan x-akselin arvot olivat kaikki nolla ja kuvaajaan piirtyi ainoastaan y-akselin suuntainen suora. Ongelma kuitenkin ratkesi hyvin nopeasti erottamalla taajuusarvot pois taulukoista ennen vähentämistä ja tuomalla ne takaisin taulukkoon vasta vähennyksen jälkeen.

10 YHTEENVETO JA ARVIOINTI

10.1 Yhteenveto

Opinnäytetyötä aloittaessa ohjelma nimeltä LabVIEW oli opinnäytetyön tekijälle ennen kuulematon, joten työn haasteellisuudesta ei ollut minkäänlaista käsitystä ennakkoon. Internet onneksi mahdollistaa uusien asioiden itseopiskelun, joten työtä ei tarvinnut pitää alkuunkaan millään tavalla mahdottomana.

NI:n paikallisen edustajan opinnäytetyön ajaksi antama määräaikainen lisenssi mahdollisti ohjelmiston käytön myös tekijän henkilökohtaisella tietokoneella. Tämän ansiosta ohjelman kehittäminen onnistui myös kotona. Pääasiassa ohjelmointi tuli kuitenkin suorittaa paikan päällä yrityksen mittaukseen varatulla tietokoneella, jolloin ohjelmalle pystyi suorittamaan koko ajan käytännön testauksia mittalaitteiden kanssa. Erityisesti ohjelmistoon tutustumis- ja harjoitteluvaiheessa omasta lisenssistä oli kuitenkin suuri apu.

Lopuksi oli tarkoitus tehdä mittaukset eräälle imuvaimentimelle neljällä eri menetelmällä. Ensimmäinen mittaus tehtiin aiemmin käytössä olleella mittausohjelmalla. Seuraavaksi mitattiin uudella ohjelmalla kaksi kertaa käyttäen äänen tuottamiseen itse ohjelmoitua äänigeneraattoria, jonka jälkeen mitattiin vielä käyttäen ulkoista äänigeneraattoria. Viimeisenä oli tarkoitus tehdä mittaukset vielä käyttäen Rion -äänitasomittaria, mikä jäi kuitenkin tekemättä kaiuttimen rikkoutumisen vuoksi. Samanlaista vaimenninta oli tällä poisjääneellä menetelmällä onneksi mitattu jo useita kertoja aiemmin, joten vanhoja mittaustuloksia voitiin hyödyntää vertailussa.



Kuva 12. Tulosten vertailu.

Eri menetelmillä mitattuja mittaustuloksia vertailtiin Excelissä tehtyjen kuvaajien avulla (kuva 12), jolloin voitiin havaita, että uudella ohjelmalla tehdyt mittaukset kulkevat Rion -äänitasomittarilla tehtyjen mittausten kanssa melko lähellä toisiinsa. Vaaleansininen käyrä on vanhalla ohjelmalla tehty mittaustulos, joka näkyy kuvaajassa alimmaisena, poiketen huomattavasti muista käyristä.

Tulosten vertailun myötä voitiin todeta tämän opinnäytetyön aiheena olevan mittausohjelman toimivuus ja hyväksyä se käyttöön otettavaksi vanhan ohjelman tilalle.

10.2 Arviointi

Lopputulokseen saa olla erittäin tyytyväinen, sillä ennen työn aloittamista asetetut tavoitteet saavutettiin täysin, eli saatiin toimiva äänenvaimentimien vaimennuksen mittausohjelma.

Tällä hetkellä ohjelma on riittävä ja toiveiden mukaisesti tarpeeksi yksinkertainen. Se on kuitenkin vasta ensimmäinen versio, joten sitä tullaan hyvin todennäköisesti kehittämään vielä tulevaisuudessa, mikäli tarvetta ilmenee. Työn teettäjä eli yri-

tyksen edustaja pidettiin ajan tasalla koko ohjelman kehittämisen ajan, jolloin myös hän pysyi mukana ohjelman toiminnasta ja pääsi myös itse oppimaan ohjelmointia. Näin ollen yritys voi jatkossa itse kehittää ja tehdä muutoksia ohjelmaan ilman alkuperäistä ohjelmoijaa.

LÄHTEET

- /1/ JTK Power Oy. Yritys-Historia. Viitattu 20.4.2016. <http://www.jtk-power.fi/about-us/?lang=fi>
- /2/ JTK Power Oy. Tuotteet. Viitattu 20.4.2016 <http://www.jtk-power.fi/products/?lang=fi>
- /3/ Euroopan yhteisöjen virallinen lehti, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta. Viitattu 17.3.2016 <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:FI:PDF>
- /4/ Wärtsilän raportit. Ympäristölainsäädäntö ja –aloitteet. Viitattu 22.4.2016 <http://www.wartsilareports.com/fi-FI/2012/ar/kestava-kehitys/ymparistovastuu/tavoitteena-entista-kestavammat-ratkaisut/lainsaadanto-ja-aloitteet/>
- /5/ Environmental, Health, and Safety Guidelines, 2008. International Finance Corporation. Viitattu 18.3.2016 <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/06e3b50048865838b4c6f66a6515bb18/1-7%2BNoise.pdf?MOD=AJPERES>
- /6/ Environmental, Health, and Safety Guidelines, 2008. International Finance Corporation. Viitattu 18.3.2016 http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/dfb6a60048855a21852cd76a6515bb18/FINAL_Thermal%2BPower.pdf?MOD=AJPERES&id=1323162579734
- /7/ Bell, L. & Bell, H. 1994. Industrial Noise Control. New York. Marcel Dekker.
- /8/ Akustinen Seura ry. 2011. Akustiikkapäivät 2011 Tampere. Espoo.
- /9/ EN ISO 7235:2003. Acoustics – Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units — Insertion loss, flow noise and total pressure loss. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7235:ed-2:v1:en>
- /10/ EN ISO 11820:1996. Acoustics — Measurements on silencers in situ <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:11820:ed-1:v1:en>
- /11/ National Instruments. Ohjelmistot. Viitattu 25.4.2016. <http://www.ni.com/fi-fi/shop.html#tab1>