

# Forord

---

Denne rapport indeholder dokumentation for projektet *Design af akustiske volumenmålinger af bryster*. Rapporten indeholder kravspecifikation, accepttest, dokumentation af projektets design og implementeringsfase.

Kravspecifikationen er udarbejdet i samarbejde med Pavia Lumholt, speciallæge i plastikkirurgi på OPA Privathospital, Aarhus.

## Læsevejledning

Til hvert kapitel i denne rapport findes en tilhørende indledning med formål samt læsevejledning.

I bilagslisten €€€.....

# Indholdsfortegnelse

---

<b>Kapitel 1</b>	<b>Kravspecifikation</b>	<b>1</b>
1.1	Indledning . . . . .	1
1.1.1	Formål . . . . .	1
1.1.2	Læsevejledning . . . . .	1
1.1.3	Versionshistorik . . . . .	1
1.2	Systembeskrivelse . . . . .	2
1.2.1	Aktørbeskrivelse . . . . .	2
1.3	Funktionelle krav . . . . .	2
1.3.1	Use Case diagram . . . . .	3
1.3.2	Use Case 1 - Udfør brystvolumenmåling . . . . .	4
1.4	Ikke-funktionelle krav . . . . .	5
1.4.1	Usability krav . . . . .	5
1.4.2	Reliability krav . . . . .	5
1.4.3	Performance krav . . . . .	5
1.4.4	Supportability krav . . . . .	6
1.4.5	Design krav . . . . .	6
1.5	Projektafgrænsning . . . . .	6
1.6	Samarbejdspartnere . . . . .	8
<b>Kapitel 2</b>	<b>Dokumentation af accepttest</b>	<b>9</b>
2.1	Indledning . . . . .	9
2.1.1	Formål . . . . .	9
2.1.2	Læsevejledning . . . . .	9
2.1.3	Versionshistorik . . . . .	9
2.2	Accepttest-protokol . . . . .	9
2.2.1	Formål . . . . .	9
2.2.2	Referencer . . . . .	9
2.2.3	Forkortelser . . . . .	9
2.2.4	Ansvar . . . . .	10
2.2.5	Udstyrsbeskrivelse . . . . .	10

2.2.6	Acceptkriterier . . . . .	10
2.2.7	Metode . . . . .	11
2.2.8	Oversigt over testdokumenter . . . . .	12
2.2.9	Forudsætning for udførelse af accepttest . . . . .	12
2.3	Accepttest . . . . .	12
2.3.1	Funktionelle krav . . . . .	12
2.3.2	Ikke-funktionelle krav . . . . .	14
<b>Kapitel 3</b>	<b>Implementering</b>	<b>20</b>
3.1	Indledning . . . . .	20
3.1.1	Formål . . . . .	20
3.1.2	Læsevejledning . . . . .	20
3.1.3	Versionshistorik . . . . .	20
3.2	Enhedstest . . . . .	23
3.2.1	E01-H1 . . . . .	23
3.2.2	E02-M1 . . . . .	25
3.2.3	E03-H2 . . . . .	26
3.2.4	E04-M1 . . . . .	28
3.2.5	E05-M2 . . . . .	29
3.2.6	E06-M3 . . . . .	31
3.2.7	E07-M4 . . . . .	33
3.2.8	E08-M4 . . . . .	35
3.2.9	E09-M4 . . . . .	37
3.2.10	E10-H3 . . . . .	39
3.2.11	E11-VI02G . . . . .	42
3.2.12	E12-VI01Q . . . . .	44
3.2.13	E13-VI02Q . . . . .	45
3.2.14	E14-VI04Q . . . . .	47
3.2.15	E15-VI05Q . . . . .	49
3.2.16	E16-VIHRVFO . . . . .	50
3.2.17	E17-VI07Q . . . . .	52
3.3	Integrationstest . . . . .	54
3.3.1	Bordtest nr. 1 . . . . .	54
3.3.2	Bordtest nr. 2 . . . . .	56
3.3.3	Bordtest nr. 3 . . . . .	58

3.3.4	Bordtest nr. 4 . . . . .	60
3.3.5	Bordtest nr. 5 . . . . .	64
3.3.6	Bordtest nr. 6 - resonansfrekvens i tomt kammer . . . . .	67
3.3.7	Bordtest nr. 6.1 - resonansfrekvens i tomt kammer . . . . .	69
3.3.8	Bordtest 6.2 - test med tre balloner med forskellig volumen .	72
<b>Kapitel 4 Find en plads til det her</b>		<b>74</b>
4.1	Bestemmelse af volumen af resonator . . . . .	74
4.1.1	Bestemmelse af volumen af resonator ekskl. halsvolumen . . .	74
4.2	Udregning af volumen . . . . .	74
Bilag A . . . . .		77
Bilag B . . . . .		78

# Kravspecifikation

# 1

## 1.1 Indledning

Dette kapitel indeholder kravspecifikationen for den akustiske volumenmåler til bryster. Kravspecifikation er udarbejdet i samarbejde med projektets kunde, Pavia Lumholt, speciallæge i plastikkirurgi.

Kravspecifikationen er opbygget om FURPS+-modellen, som er en helhedsbetragtende teknik til definering af krav. FURPS+ er inddelt i funktionelle og ikke-funktionelle krav. F(functionality) definerer de funktionelle krav, og URPS+ (usability, reliability, performance, supportability og +) definerer de ikke-funktionelle krav. I denne kravspecifikation definerer +, designbegrænsninger.

### 1.1.1 Formål

Kravspecifikation definerer de funktionelle og ikke-funktionelle krav, og fungerer som en bindende kontrakt mellem producent og kunde.

### 1.1.2 Læsevejledning

Dokumentet indeholder en systembeskrivelse for den akustiske brystvolumenmåler (omtales herefter BVM). Systembeskrivelsen er en kort beskrivelse af BVM samt en illustration af måleren. De definerede krav er opdelt i funktionelle og ikke-funktionelle krav, og er beskrevet i de navnebeslægtede afsnit. Dokumentet indeholder ydermere en projektafgrænsning i form af MoSCoW-modellen samt et afsnit omhandlende projektets samarbejdspartnere.

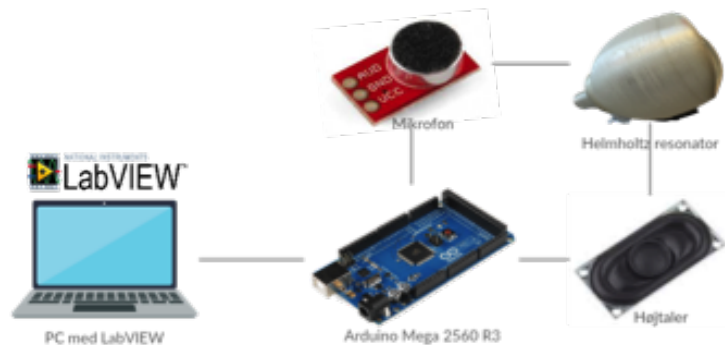
### 1.1.3 Versionshistorik

#	Dato	Initialer	Beskrivelse
0.1	03.10.16	JH & JR	Sendt til review

## 1.2 Systembeskrivelse

### Brystvolumenmålerens opbygning

Den akustiske brystvolumenmåler består af en Helmholtz resonator, hvor der er påmonteret en højttaler og en mikrofon. Højttaleren og mikrofonen er koblet til en Arduino Mega 2560 R3. Arduino'en er koblet til en PC, hvor der skrives til Arduino i LabVIEW.



Figur 1.1: Beskrivelse af systemets komponenter €€€€

### Brystvolumenmåleren funktionalitet

Når en måling intialiseres med BVM'en afsendes en lyd i resonatoren via højttaleren. Mikrofonen på resonatoren opsamler den reflekterede lyd, og udfra den reflekterede lyd, udregner en algoritme størrelsen på brystvolumen.

#### 1.2.1 Aktørbeskrivelse

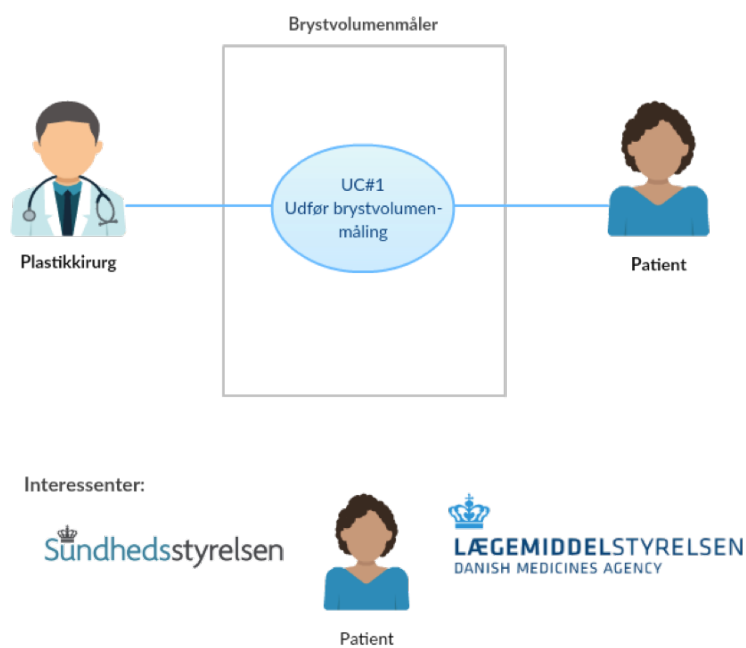
Systemets primære aktør er en plastikkirurg, som bruger BMV'en når han ønsker et objektivt mål på et bryst. Det er udelukkende plastikkirurgen, der betjener BMV'en under en måling. Som sekundær aktør giver patient et input, sit bryst, til systemet.

## 1.3 Funktionelle krav

Dette afsnit beskriver de funktionelle krav, som er udarbejdet i samarbejde med Pavia Lumholt. Disse krav er præsenteret i et Use Case diagram samt i en Fully Dressed Use Case beskrivelse.

### 1.3.1 Use Case diagram

I Use Case diagrammet, figur 1.2, vises en Use Case for brugen af den akustiske brystvolumenmåler. På venstre side af Use Casen ses systemets primære aktør, og på højre side ses systemets sekundære aktør. Endvidere, vises systemets interessenter, nederst i diagrammet.



Figur 1.2: Use Case diagrammet viser et overblik over Use Cases samt involverede aktører.

## 1.3.2 Use Case 1 - Udfør brystvolumenmåling

Use Case 1: Udfør brystvolumenmåling	
Use Case ID	UC #1
Primær aktør	Plastikkirurg (PK)
Sekundær aktør	Patient
Interessenter	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Patient: <i>ønsker et objektivt mål, som bevis på overensstemmelse med købsaftale</i></li> <li>2. Sundhedsstyrelsen: <i>ønsker et objektivt mål til vurdering af berettigelse til brystformindskende operation</i></li> <li>3. Lægemiddelstyrelsen: <i>ønsker, at BVM er i overensstemmelse med EU-lovgivning for medicinsk udstyr</i></li> </ol>	
Startbetingelse	Slutbetingelse
BVM skal være tændt	BVM skal vise et mål for brystvolumen
Normalforløb	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PK kalibrerer BVM i den tilhørende dockingstation</li> <li>2. PK placerer BVM på patients blottede bryst</li> <li>3. PK kontrollerer, at patientens bryst er tætomsluttet af BVM</li> <li>4. PK kontrollerer, at BVM er placeret med et ensartet tryk på patientens bryst</li> <li>5. PK foretager en måling af brystvolumen ved at trykke på den dertilhørende knap</li> <li>6. BVM præsenterer målingen på et display, som PK aflæser</li> <li>7. BVM slukkes og rengøres</li> </ol>	
Alternativt flow	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manglende kalibrering <ol style="list-style-type: none"> <li>(a) PK anbringer BVM i dockingstation</li> <li>(b) PK starter kalibrering ved at trykke på den dertilhørende knap</li> <li>(c) BVM melder klar til brug</li> </ol> </li> </ol>	
Åbne problemstillinger	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvordan ved PK, at BVM mangler at blive kalibreret?</li> <li>• Hvordan ved PK, at han påfører et ensartet tryk?</li> <li>• Hvordan ved PK, at patientens bryst er tætomsluttet af BVM?</li> </ul>	



## 1.4 Ikke-funktionelle krav

### 1.4.1 Usability krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
UK1	Volumen angives i afrundet milliliter [ml]	ml anføres efter talværdi, <i>ex. 300 ml</i>	Standard inden for plastikkirurgi
UK2	Volumenangivelse skal kunne aflæses på en afstand af 50 cm.	Talværdi angives i digital talform med en højde på 1 cm.	Tænkt arbejdssituation
UK3	Det anvendte sprog er engelsk	Der anvendes ikke andet sprog end engelsk	Rammer en bred målgruppe på markedet
UK4	Design er holdt simpelt	Design er intuitivt og uden unødige funktioner	Kundekrav
UK5	Design er i kolde farver	Anvendte farver er fra den kolde farveskala	Repræsenterer et æstetisk, klinisk udtryk som gør patient tryk ved brugsoplevelse

### 1.4.2 Reliability krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
RK1	Volumenangivelse skal have høj nøjagtighed	+/- 10 ml.	Kundekrav
RK2	Volumenangivelse skal have stor præcision	Afvigelse på 1% af $f_b$	Kundekrav
RK3	Hyppighed af fejltilstand	Der må forekomme fejl ved hver 1000. måling	Tænkt arbejdssituation
RK4	Straksafhandling af fejltilstand	Varighed af fejlløsning må være højst 2 minutter	Tænkt arbejdssituation
RK5	Skal kalibreres efter lufttemperatur	Skal kalibreres efter den aktuelle lufttemperatur	Volumenudregning

### 1.4.3 Performance krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
PK1	Måling skal foretages hurtigt	Målingen skal være foretaget inden for 10 sekunder	Kundekrav
PK2	Lydniveau må ikke være skadeligt for aktører	Lydniveau skal være mindre end 75 dB	Anbefaling fra Sundhedsstyrelsen

#### 1.4.4 Supportability krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
SK1	Produktmateriale skal tåle rengøring	Skal tåle rengøring med sprit	Tænkt arbejdssituation
SK2	UI skal tåle rengøring	Skal tåle rengøring med sprit	Tænkt arbejdssituation

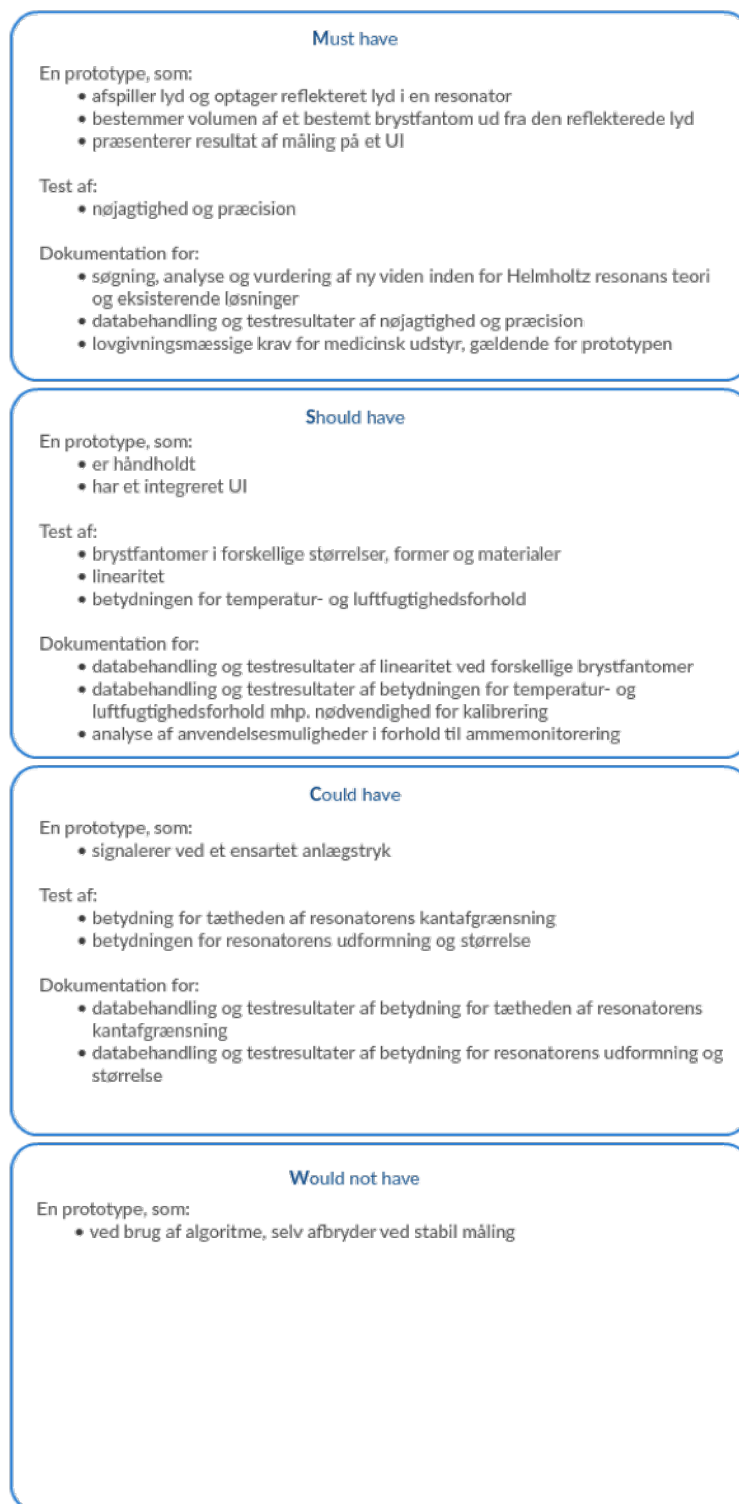
#### 1.4.5 Design krav

Krav nr.	Krav	Kriterie	Baggrund for krav
DK1	Skal være intuitiv at anvende	Funktioner skal være af standardiseret design	Organisatoriske og økonomiske overvejelser
DK2	Skal kunne anvendes på forskellige bryststørrelser og -former	Skal kunne anvendes på 90% af tilfældigt udvalgte kvinder	Tænkt arbejdssituation
DK3	Må ikke give gener under måling	Resonatoråbning skal være anatomisk udformet	Etiske overvejelser
DK4	Må ikke forårsage arbejdsskader	Skal være ergonomisk at anvende	Arbejds miljømæssige overvejelser
DK5	Design skal være trådløst	Ingen eksterne tilkoblinger med kabler	Kundekrav
DK6	Design skal overholde klassificering Im i hht. MDD 93/42/EEC	Dokumentation skal foreligge	Godkendelse af medicinsk udstyr

### 1.5 Projektafgrænsning

MoSCoW-modellen er en prioriteringsmetode, som anvendes til afgrænsning af projektet. Modellen beskriver, hvilke dele og krav i projektet, som skal opfyldes (**M**ust), bør opfyldes (**S**hould), kan opfyldes (**C**ould) og ikke vil opfyldes (**W**ould not have). Således gives en struktureret oversigt over, hvilke krav, der er vigtigst at få opfyldt inden for den givne tidsramme, og endvidere, hvilke krav, som efterfølgende med fordel kan implementeres, hvis tidsramme tillader det. Figur 1.3 viser, hvordan de enkelte dele og krav i projektet prioriteres i henhold til MoSCoW-metoden.

## MoSCoW-model



Figur 1.3: MoSCoW-model, hvor blablabla €€€

## 1.6 Samarbejdspartnere

Kravspecifikationen er udarbejdet gennem et samarbejde med flere parter. Først og fremmest er projektets kravspecifikation til den endelige prototype specificeret i et samarbejde med projektets kunde, speciallæge i plastikkirurgi, Pavia Lumholt. Derudover er projektet tilknyttet en vejleder, lektor Samuel Alberg Thrysøe, med speciale i signalbehandling, som vejleder ved eventuelle problemstillinger. Endvidere indgår eksterne konsulenter, som reviewer's på indholdet af kravspecifikationen.

# Dokumentation af

# accepttest 2

---

## 2.1 Indledning

Dette kapitel indeholder dokumentation for udarbejdelsen af accepttesten, som er et værktøj til at validere de specificerede krav fra €.

### 2.1.1 Formål

### 2.1.2 Læsevejledning

### 2.1.3 Versionshistorik

## 2.2 Accepttest-protokol

Denne protokol beskriver alle de forhold og forudsætninger, som skal være opfyldt for at kunne udføre accepttest af den akustiske brystvolumenmåler.

### 2.2.1 Formål

Formålet med denne protokol er at specificere accepttest-aktiviteterne gældende for brystvolumenmåleren.

### 2.2.2 Referencer

€€ Eksempelvis UC#1

### 2.2.3 Forkortelser

€€

### 2.2.4 Ansvar

*Ved underskrift på protokollen bekræfter:*

Kunde - Projektansvarlig

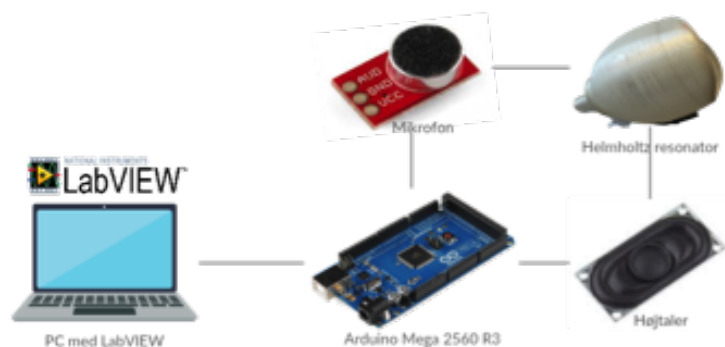
- *at indholdet er komplet og entydigt*
- *at det tekniske indhold og metoder er i orden og dækkende for de planlagte tests*
- *at den projektansvarlige er enig i omfang, metode og acceptkriterier*

Udviklere - Projektansvarlige

- *at det tekniske indhold og metoder er i orden og dækkende for de planlagte tests*

### 2.2.5 Udstyrsbeskrivelse

Den akustiske brystvolumenmåler består af en Helmholtz resonator, hvor der er påmonteret en højttaler og en mikrofon. Højttaleren og mikrofonen er koblet til en Arduino Mega 2560 R3. Arduino'en er koblet til en PC, hvor der skrives til Arduino i LabVIEW. Brystvolumenmåleren benyttes af en plastikkirurg, som bruger BMV'en når han ønsker et objektivt volumenmål på et bryst. Når en måling initialiseres med BVM'en afsendes en lyd i resonatoren via højttaleren. Mikrofonen på resonatoren opsamler den reflekterede lyd, og udfra den reflekterede lyd, udregner en algoritme størrelsen på brystvolumen.



Figur 2.1: Beskrivelse af systemets komponenter €€€€

### 2.2.6 Acceptkriterier

*Acceptkriterierne er afledt af de forhold, der er specificeret i Kravspecifikationen, kapitel 1. Acceptkriterierne er specificeret i de enkelte testskemaer.*

### 2.2.7 Metode

Dette afsnit specificerer de retningslinjer, hvorefter accepttesten skal afvikles.

#### Dokumentsammenhæng

illustreres €€ Indsæt oversigt, med inspiration fra s. 204

#### Generelle krav

Afviklingen af accepttesten skal overholde følgende nøglekrav:

- *Protokollen skal være godkendt, før aktiviteter udføres*
- *Afvielser skal registreres og rettelser udføres*
- *Dataindsamling og registreringer skal udføres i overensstemmelse med »god testpraksis«*
- *Data skal granskes for rigtighed og fuldstændighed*
- *Accepttesten skal udarbejdes og godkendes, som bevis på den gennemførte accepttest*

#### Acceptkriterier

Dette afsnit beskriver, hvordan testskemaerne specifikt skal udfyldes.

- *Alle krav skal opfylde de specificerede acceptkriterier i hvert enkelte testskema.*
- *De aktuelle observationer skal svare til de forventede observationer*
- *I »Godkendt«-kolonnen skrives »Ja«, hvis acceptkriteriet er overholdt.*
- *I »Godkendt«-kolonnen skrives »Nej« samt afvigelsesnummer, hvis acceptkriteriet ikke er overholdt.*

€€€€ Husk an skrive at da vi ikke kører accepttesten, vil der ikke være udarbejdede afvigelsesskemaer

#### Afvielseshåndtering

Afvielser registreres under udførelsen af accepttesten og dokumenteres ved udarbejdelse af afvigelsesbilag, hvor følgende punkter opfyldes:

- Afvigelse og årsag til afvigelsen beskrives*
- Aktion for opfyldelse af acceptkriterier angives*
- Resultat af gennemført aktion dokumenteres*

### Afslutning af accepttest-aktiviteter

Ved afslutningen af accepttest-aktiviteterne, udarbejdes en accepttest-rapport. Denne rapport lukker accepttest-aktiviteterne, og fungerer som bevis for, at den gennemførte test af brystvolumenmåleren, er afsluttet med et tilfredsstillende resultat.

Accepttest-rapporten omhandler følgende punkter:

- *Konklusion på den gennemførte accepttest*
- *Kopi af godkendt protokol*
- *Afvigelsesblad med korrektive aktioner*
- *Udfyldte testskemaer*

### 2.2.8 Oversigt over testdokumenter

€€ Her angives de specifikke testdokumenter i en tabel. Obs, på eventuelle referencer til kravspec.

### 2.2.9 Forudsætning for udførelse af accepttest

€€ Hvad forudsætter afgørelsen for igangsættelse af accepttest / når det og det er opfyldt, startes accepttest

## 2.3 Accepttest

### 2.3.1 Funktionelle krav

Use Case 1

Test Case: normalforløb

Testforberedelse: BVM skal være tændt.

Krav nr.	UC1.1
Acceptkriterie	BVM er kalibreret
Testmetode	Der trykkes på <i>Kalibrér</i> og UI viser <i>Kalibrering ok</i>
Observation	
Godkendt [Ja/Nej]	
Init./Dato	



<b>Krav nr.</b>	UC1.2-3
<b>Acceptkriterie</b>	Patientens bryst er omsluttet af BVM
<b>Testmetode</b>	Der observeres efter luftlommer mellem BVM og hud
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.4
<b>Acceptkriterie</b>	BVM er placeret med et ensartet tryk
<b>Testmetode</b>	UI viser <i>Tryk OK</i>
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.5-6
<b>Acceptkriterie</b>	Der er foretaget en måling
<b>Testmetode</b>	Der trykkes på <i>M</i> og UI angiver måling
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UC1.7
<b>Acceptkriterie</b>	BVM slukkes
<b>Testmetode</b>	Der trykkes på <i>O/I</i>
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

**Test Case:** alternativ flow

**Testforberedelse:** BVM skal være tændt

<b>Krav nr.</b>	UC1.A1
<b>Scenarie</b>	BVM melder fejl
<b>Acceptkriterie</b>	BVM melder klar til måling
<b>Testmetode</b>	Kalibrering af BVM
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

### 2.3.2 Ikke-funktionelle krav

**Test af usability krav**

<b>Krav nr.</b>	UK1
<b>Acceptkriterie</b>	ml. anføres efter talværdi
<b>Testmetode</b>	UC1.5-6 følges. Det aflæses på UI om talværdi er angivet i ml.
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UK2
<b>Acceptkriterie</b>	Talværdi angives i digital talform med en højde på 1 cm.
<b>Testmetode</b>	UC1.5-6 følges. Det observeres på UI om talværdi er angivet i digital form og skriftstørrelse måles
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UK3
<b>Acceptkriterie</b>	Der anvendes ikke andet sprog end engelsk
<b>Testmetode</b>	UC1 inkl. alternativ flow gennemføres og kontrollerer at sproget er engelsk
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UK4
<b>Acceptkriterie</b>	Design er intuitivt og uden unødige funktioner
<b>Testmetode</b>	Der foretages en måling ud fra læsning i simpel bruger-manual
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	UK5
<b>Acceptkriterie</b>	Anvendte farver er fra den kolde farveskala
<b>Testmetode</b>	Den kolde farveskala holdes op imod BVM
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

#### Test af reliability krav

<b>Krav nr.</b>	RK1
<b>Acceptkriterie</b>	Nøjagtighed på +/- 10 ml.
<b>Testmetode</b>	En testserie på 1000 volumenmålinger genereres hvorpå nøjagtighed udregnes
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK2
<b>Acceptkriterie</b>	Afvigelse af præcision på højst 1% af $f_b$
<b>Testmetode</b>	En testserie på 1000 målinger af $f_b$ genereres hvorpå præcision udregnes
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK3
<b>Acceptkriterie</b>	Der må forekomme fejl ved hver 1000. måling
<b>Testmetode</b>	En testserie på 1000 volumenmålinger generes hvorpå eventuelle fejl registreres
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK4
<b>Acceptkriterie</b>	Varighed af fejlløsning må være højst 2 minutter
<b>Testmetode</b>	UC1.A1 følges og varighed registreres
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	RK5
<b>Acceptkriterie</b>	Kalibrering efter aktuel lufttemperatur
<b>Testmetode</b>	UC1.1 følges og temperatur aflæses på UI og sammenholdes med målt temperatur i rummet
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

**Test af performance krav**

<b>Krav nr.</b>	PK1
<b>Acceptkriterie</b>	Måling skal være foretaget inden for 10 sekunder
<b>Testmetode</b>	UC1 følges og varighed registreres
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	PK2
<b>Acceptkriterie</b>	Lydniveau ved måling skal være mindre end 75 dB
<b>Testmetode</b>	UC1 følges og lydniveau registreres med lydmåler
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

**Test af supportability krav**

<b>Krav nr.</b>	SK1
<b>Acceptkriterie</b>	Produktmateriale skal tåle rengøring med sprit
<b>Testmetode</b>	Materiale rengøres med sprit og kontrolleres for skader
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	SK2
<b>Acceptkriterie</b>	UI skal tåle rengøring med sprit
<b>Testmetode</b>	UI rengøres med sprit og kontrolleres for skader
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

## Test af design krav

<b>Krav nr.</b>	DK1
<b>Acceptkriterie</b>	Funktioner skal være af standardiseret design
<b>Testmetode</b>	En person skal, uden kendskab til brugermanual, intuitivt anvende BVM
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK2
<b>Acceptkriterie</b>	Anvendes på 90% af tilfældigt udvalgte kvinder
<b>Testmetode</b>	Ud af en testpopulation på 100 kvinder, må der findes 10 kvinder som BVM ikke kan anvendes på
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK3
<b>Acceptkriterie</b>	Resonatoråbning skal være anatomisk udformet
<b>Testmetode</b>	Ergoterapeut godkender udformning
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK4
<b>Acceptkriterie</b>	Arbejdsstilling skal være ergonomisk korrekt
<b>Testmetode</b>	Ergoterapeut godkender arbejdsstilling
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK5
<b>Acceptkriterie</b>	Ingen eksterne tilkoblinger med kabler
<b>Testmetode</b>	Det kontrolleres, at der ikke er monteret kabler fra eksterne enheder
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

<b>Krav nr.</b>	DK6
<b>Acceptkriterie</b>	Dokumentation for overensstemmelse med klassificering Im i hht. MDD 93/42/EEC
<b>Testmetode</b>	CE-certificering er underskrevet af bemyndiget organ
<b>Observation</b>	
<b>Godkendt [Ja/Nej]</b>	
<b>Init./Dato</b>	

# Implementering 3

---

## 3.1 Indledning

Dette kapitel indeholder enhedstest, integrationstest samt €€€€€€€€€€accept-test. Alle udførte tests er reproducerbare, hvilket afspejles i den høje detaljegrad som testene er beskrevet i. For at kunne reproducere beskrevne tests, forventes et kendskab til Labview, herunder LINX [LabVIEW MakerHub].

### 3.1.1 Formål

### 3.1.2 Læsevejledning

€ Her indsættes beskrivelse samt oversigt at navngivning til tests (i en smuk tabel)

### 3.1.3 Versionshistorik



Tabel 3.1: Tabeloversigt over udførte enhedstests

Test-ID	Emne	ID: navn
E01-H1	Højttaler	H1: ABS-224-RC
E02-M1	Mikrofon	M1: Minijack PC Mikrofon
E03-H2	Højttaler	H2: Wide Band 2,5" SB65WBAC25-4
E04-M1	Mikrofon	M1: Minijack PC Mikrofon (udvidet test)
E05-M2	Mikrofon	M2: Logitech HD WEBCAM C270
E06-M3	Mikrofon	M3: Electret Microphone BOB12758
E07-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466
E08-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466
E09-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466
E10-H3	Højttaler	H3: Multimedia USB Speaker HP-1800
E11-VI02G	Software	VI02G: LabVIEW VI: genererfrekvenssignal01
E12-VI01Q	Software	VI01Q: LabVIEW VI: optagefrekvenssignal01
E13-VI02Q	Software	VI02Q: LabVIEW VI: optagefrekvenssignal02
E14-VI05Q	Software	VI05Q: LabVIEW VI: optagefrekvenssignal05
E15-VI06Q	Software	VI06Q: LabVIEW VI: optagefrekvenssignal06
E16-VI08Q	Software	VI08Q: LabVIEW VI: optagefrekvenssignal08

Tabel 3.2: Tabeloversigt over udførte enhedstests 2

Test-ID	Emne	ID: navn
E01-H1	Højtaler	H1: ABS-224-RC
E02-M1	Mikrofon	M1: Minijack PC Mikrofon
E03-H2	Højtaler	H2: Wide Band 2,5" SB65WBAC25-4
E04-M1	Mikrofon	M1: Minijack PC Mikrofon (udvidet test)
E05-M2	Mikrofon	M2: Logitech HD WEBCAM C270
E06-M3	Mikrofon	M3: Electret Microphone BOB12758
E07-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466 (2.5 V strømforsyning)
E08-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466 (5 V strømforsyning)
E09-M4	Mikrofon	M4: Electret Microphone Amplifier MAX4466 (frekvensbånd)
E10-H3	Højtaler	H3: Multimedia USB Speaker HP-1800
E11-VI02G	LabVIEW VI	VI02G: LabVIEW VI: genererfrekvenssignal01
E12-VI01Q	LabVIEW VI	VI01Q: optagefrekvenssignal01.vi
E13-VI02Q	LabVIEW VI	VI02Q: optagefrekvenssignal02.vi
E14-VI05Q	LabVIEW VI	VI05Q: optagefrekvenssignal05.vi
E15-VI06Q	LabVIEW VI	VI06Q: optagefrekvenssignal06.vi
E16-VI08Q	LabVIEW VI	VI08Q: optagefrekvenssignal08.vi

## 3.2 Enhedstest

Dette afsnit beskriver de indledende funktionstests, hvor hver enkelte selvstændige funktion i systemet afprøves.

### 3.2.1 E01-H1

#### Testhypotese

Der kan genereres en lyd gennem højttaleren ABS-224-RC ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

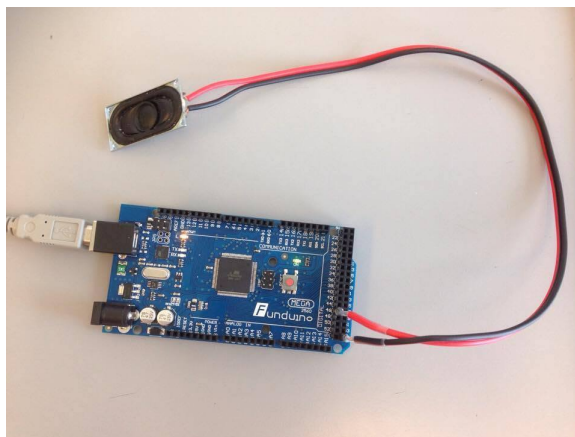
VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

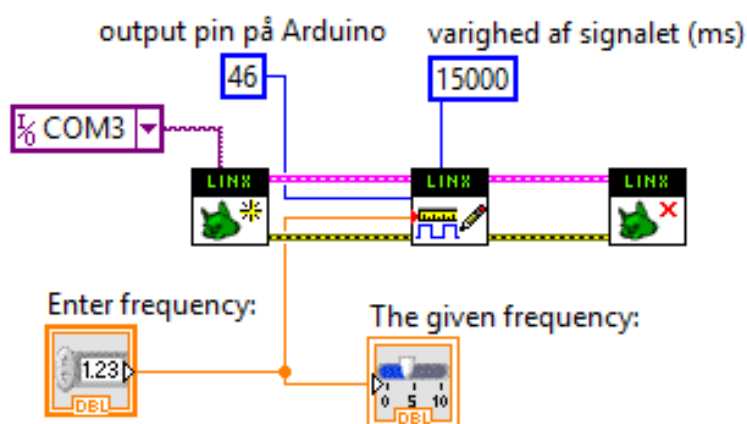
#### Opstilling og opsætning

Højttaleren er loddet til højttalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Delopstillingen er vist i figur 3.1.

På PC'en er `genererfrekvenssignal02.vi` åbnet i LabVIEW. *Serial port*, *Channel* og *Duration* er sat op, som givet i blokdiagrammet, vist i figur 3.2.



Figur 3.1: Delopstilling af 3.2.1 E01-H1, hvor højttaler er tilkoblet Arduino.



Figur 3.2: I blokdiagrammet `genererfrekvenssignal02.vi` er der anvendt følgende LINX-VI'er; Initialize, Digital Write Square Wave samt Close.

### Udførsel

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i `genererfrekvenssignal02.vi`, indtastes 500.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højttaleren.

### Resultater

Der høres en lyd fra højttaleren.

### Diskussion

-

## Konklusion

Hypotesen er accepteret idet der kan genereres en lyd gennem højttaleren ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

## Aktion

-

### 3.2.2 E02-M1

## Testhypotese

Der kan gennem Minijack PC Mikrofonopfanges en lyd.

## Produktspecifikationer

### Hardware:

Minijack PC Mikrofon

PC

### Software:

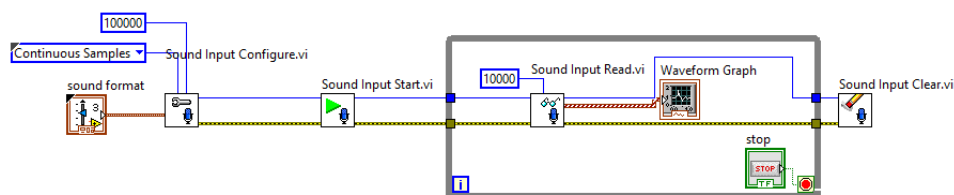
NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

## Opstilling og opsætning

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik.

På PC'en er `optagefrekvenssignal01.vi` åbnet i LabVIEW. VI'et er opbygget af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivende værdier er vist i blokdiagrammet, i figur 3.3.



Figur 3.3: I blokdiagrammet `optagefrekvenssignal01.vi` opsamles lydsignalet, som vises i en graf på frontpanelet.

`www.onlinetonegenerator.com` er åbnet i en browser på PC'en.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal01.vi`, trykkes på *Run*.
  - a) Der genereres en hørbar lyd til mikrofonen fra `onlinetonegenerator.com`.
  - b) På frontpanelet i VI'et observeres om mikrofonen opfanger en lyd, ved at grafen viser amplitudeudsving.
2. I VI'et `optagefrekvenssignal01.vi`, trykkes på *Run*.
  - a) Mikrofonen dækkes nu med en hånd mhp. at mikrofonen ikke opfanger en lyd.
  - b) Der genereres en hørbar lyd til mikrofonen fra `onlinetonegenerator.com`.
  - c) På frontpanelet i VI'et observeres om mikrofonen opfanger en lyd, ved at grafen viser amplitudeudsving.

### Resultater

Ad1. Der er observeret et amplitudeudsving på grafen. Mikrofonen har opfanget en lyd.

Ad2. Der er ikke observeret et amplitudeudsving på grafen. Mikrofonen har ikke opfanget en lyd.

### Diskussion

-

### Konklusion

Idet der ikke opfanges en hørbar lyd i Ad2., konkluderes det, at den hørbare lyd, opfanges gennem Ad1. Hypotesen accepteres idet mikrofonen opfanger en lyd.

### Aktion

-

### 3.2.3 E03-H2

#### Testhypotese

Der kan genereres en lyd gennem højttaleren ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

## Produktspecifikationer

### *Hardware:*

Højttaler: Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4

Højtalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

### *Software:*

NI LabVIEW 2014

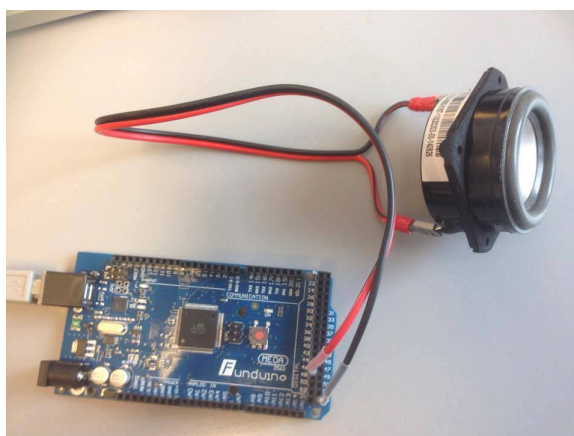
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

## Opstilling og opsætning

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højttaleren. Til kablets anden ende er pin headere loddet fast. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Delopstillingen er vist i figur 3.4.



Figur 3.4: Delopstilling af 3.2.3 E03-H2, hvor højttaler er tilkoblet Arduino.

På PC'en er *genererfrekvenssignal02.vi* åbnet i LabVIEW. *Serial port*, *Channel* og *Duration* er sat op, som givet i blokdiagrammet, vist i figur 3.2.

**Udførsel**

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i `genererfrekvenssignal02.vi`, indtastes 500.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højttaleren.

**Resultater**

Der høres en lyd fra højttaleren.

**Diskussion**

-

**Konklusion**

Hypotesen er accepteret idet der kan genereres en lyd gennem højttaleren ved brug af Arduino Mega 2560 R3 og NI LabVIEW 2014.

**Aktion**

-

**3.2.4 E04-M1****Testhypotese**

Der kan gennem Minijack PC Mikrofon opfanges en lyd.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Minijack PC Mikrofon (med 2 meter ledning)

PC

Smartphone

*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)



### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er med en ledning tilsluttet PC'ens minijack-stik. PC'en er placeret i et rum, og mikrofonen med ledningen gennem den lukkede dør, er placeret i et andet rum. I en browser på smartphonen åbnes onlinetonegenerator.com. Smartphonen placeres ca. 2 cm fra mikrofonen.

På PC'en er `optagefrekvenssignal01.vi` åbnet i LabVIEW. VI'et er opbygget af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivende værdier er vist i blokdiagrammet, i figur 3.3.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal01.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes en lyd i onlinetonegenerator.com til mikrofonen.
3. På frontpanelet i VI'et observeres amplitudeudsving på grafen.

### Resultater

Der blev ikke observeret et amplitudeudsving på grafen.

### Diskussion

-

### Konklusion

Mikrofonen har ikke opfanget en lyd, og hypotesen forkastes.

### Aktion

Det undersøges, hvilke årsager der er skyld i, at mikrofonen ikke opfanger et frekvenssignal.

### 3.2.5 E05-M2

#### Testhypotese

Der kan gennem Logitech HD WEBCAM C270 opfanges en lyd.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Logitech HD WEBCAM C270 (med 1,5 meter ledning)

PC

Smartphone

*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

**Opstilling og opsætning**

Webkameraet er tilsluttet PC'ens USB-port. PC'en er placeret i et rum, og webkameraet med ledningen gennem den lukkede dør, er placeret i et andet rum. I en browser på smartphonen åbnes [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com). Smartphonen placeres ca. 2 cm fra mikrofonen.

På PC'en er `optagefrekvenssignal01.vi` åbnet i LabVIEW. VI'et er opbygget af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivende værdier er vist i blokdiagrammet, i figur 3.3.

**Udførsel**

1. I VI'et `optagefrekvenssignal01.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes en lyd i [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) til mikrofonen.
3. På frontpanelet i VI'et observeres amplitudeudsving på grafen.

**Resultater**

Der blev observeret et amplitudeudsving på grafen.

**Diskussion**

-

**Konklusion**

Mikrofonen har opfanget en lyd, og hypotesen accepteres.

**Aktion**

Denne mikrofon er ikke hensigtsmæssig til brug i den videre test, da den er for stor til at kunne påsættes resonatoren. Næste skridt er at finde en mindre mikrofon med USB-stik.

**3.2.6 E06-M3****Testhypotese**

Der kan gennem Electret Microphone Breakout BOB 12758 opfanges lydssignaler i frekvensbåndet i intervallet 20 Hz - 10 kHz.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Electret Microphone Breakout BOB 12758

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

*Software:*

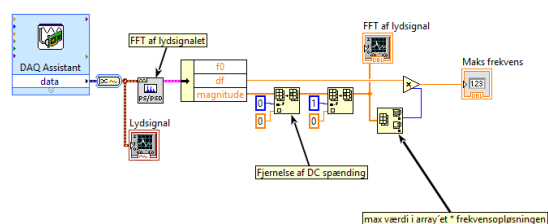
NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

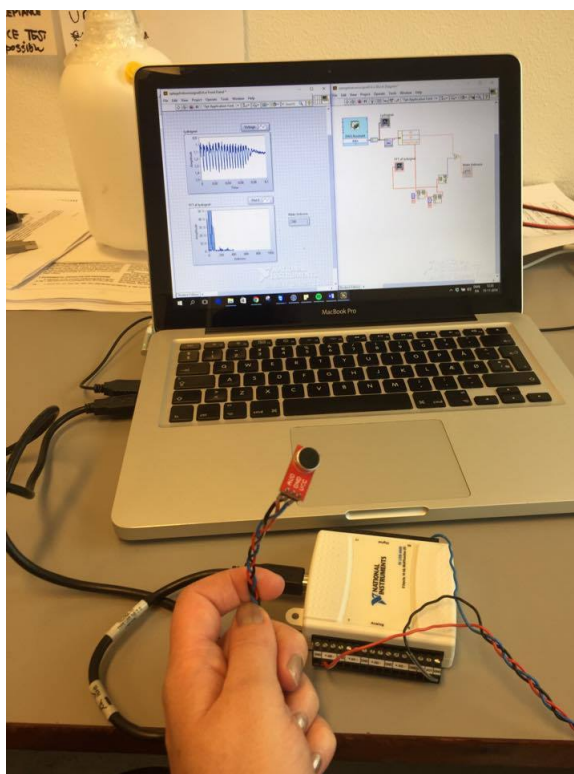
**Opstilling og opsætning**

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.



Figur 3.5: Blokdiagram for VI'et optagefrekvenssignal04.vi.

Testopstillingen er vist i figur 3.6.



Figur 3.6: Testopstilling for 3.2.6 E06-M3

### Udførsel

1. I VI'et optagefrekvenssignal04.vi, trykkes på *Run*.
2. Der genereres et signal med følgende frekvens: 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz og 10 KHz fra onlinetonegenerator.com
3. På frontpanelet i VI'et observeres amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen foretages to gange for hver frekvens.

## Resultater

Resultaterne vises i tabel 3.3

Tabel 3.3: Tabel over resultater af 3.2.6 E06-M3.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
100	20	40
500	500	500
1000	1000	1000
5000	3000	3000
10000	20	50

## Diskussion

Skyldes de unøjagtige resultater ved 100 Hz, 500 Hz og 10000 Hz, at PC højtalers frekvensbånd ikke er bredt nok til at udsende disse signaler?

## Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 100 Hz, 5 kHz og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen eller PC'ens højtalere. Hypotesen må derfor forkastes.

## Aktion

Det undersøges, hvilke årsager der er skyld i, at der opnås unøjagtige resultater.

### 3.2.7 E07-M4

#### Testhypotese

Der kan gennem Electret Microphone Amplifier - MAX4466 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 20 Hz - 10 kHz med 2.5 V strømforsyning.

#### Produktspecifikationer

*Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "+2.5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz og 10 KHz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
3. På frontpanelet i VI'et observeres efter amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen foretages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 3.4.

### Diskussion

I beskrivelsen af mikrofonens specifikationer anbefales det at bruge 2.5 V, som er den mest støjsvage forsyning. ~~☹☹☹~~ <https://www.adafruit.com/products/1063> Skyldes de

Tabel 3.4: Tabel over resultater af 3.2.7 E07-M4.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	96	96
50	22	15
100	95	95
1000	1000	1000
10000	4	15

afvigende resultater, at der kun bruges 2.5 V strømforsyning til at opsamle lyden?

### Konklusion

Ved et signal med en frekvens på hhv. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen, et begrænset frekvensbånd på PC'ens højttaler eller en for lav strømforsyning til mikrofonen. Hypotesen må derfor forkastes.

### Aktion

Der foretages en ny enhedstest af Electret Microphone Amplifier - MAX4466 med en strømforsyning på 5 V.

### 3.2.8 E08-M4

#### Testhypotese

Der kan gennem Electret Microphone Amplifier - MAX4466 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 20 Hz - 10 kHz med 5 V strømforsyning.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

www.onlinetonegenerator.com

**Opstilling og opsætning**

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.5. I en browser på PC'en er `onlinetonegenerator.com` åbnet.

**Udførsel**

1. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der genereres et signal med følgende frekvens: 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz og 10 KHz fra `onlinetonegenerator.com`.
3. På frontpanelet i VI'et observeres efter amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen foretages to gange for hver frekvens.

**Resultater**

Resultaterne vises i tabel 3.5.

Tabel 3.5: Tabel over resultater af 3.2.8 E08-M4.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	20	40
50	80	100
100	20	700
1000	1000	1000
10000	40	20



**Diskussion**

Strømforsyningen på 5 V gjorde ikke afvigelserne i resultaterne mindre. Kan det være frekvensbåndet i PC'ens højtalere som ikke er bredt nok til at afspille det ønskede frekvensbånd?

**Konklusion**

Ved et signal med en frekvens på hhv. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, og 10 kHz er resultaterne ikke tilnærmelsesvis de udsendte frekvenser. Det kan ikke konkluderes, hvorvidt det skyldes mikrofonen eller et begrænset frekvensbånd på PC'ens højttaler. Hypotesen må derfor forkastes.

**Aktion**

Frekvensbåndet mellem 100 - 1000 Hz ønskes testet, da det muligvis kan være tilstrækkeligt til det videre testforløb.

**3.2.9 E09-M4****Testhypotese**

Der kan gennem Electret Microphone Amplifier - MAX4466 opfanges lydsignaler i frekvensbåndet i intervallet 100 Hz - 1 kHz med 5 V strømforsyning.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.5. I en browser på PC'en er [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com) åbnet.

### Udførsel

1. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run*.
2. Der generes et signal med følgende frekvens: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz og 1 kHz fra [onlinetonegenerator.com](http://onlinetonegenerator.com).
3. På frontpanelet i VI'et observeres efter amplitudeudsving på grafen.
4. Resultatet aflæses i *Maks. frekvens* på VI'ets frontpanel.

Testen foretages to gange for hver frekvens.

### Resultater

Resultaterne vises i tabel 3.6.

### Diskussion

Resultaterne af det udsendte frekvenssignal på 100 Hz er afvigende. Det kan muligvis skyldes et begrænset frekvensbånd i PC-højttaleren.

### Konklusion

Mikrofonen kan ikke opfange et frekvenssignal på 100 Hz. Hypotesen må derfor forkastes.

Tabel 3.6: Tabel over resultater af 3.2.9 E09-M4.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
100	20	80
150	150	150
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000

**Aktion**

Da mikrofonen kan opfange et frekvensbånd fra 150 Hz - 1 kHz med en nøjagtighed på 100 pct., besluttes det at anvende mikrofonen i det videre testforløb.

**3.2.10 E10-H3****Testhypotese**

Højttaleren Multimedia USB Speaker HP-1800 kan generere signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1500 Hz.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

3 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Mikrofonkabler: Rød/Sort/Blå

Krympeflex 2:1

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

USB kabel: National Instruments USB A/B 2.0 Cable (1 Meter)

Multimedia USB Speaker HP-1800

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

www.onlinetonegenerator.com

**Opstilling og opsætning****Opstilling og opsætning**

På kablerne er pins fastloddet, som igen er loddet fast til mikrofonprintet. Det røde kabel forbinder mikrofonprintets "AUD" til "+AI0"-indgangen på DAQ'en. Det sorte kabel forbinder mikrofonprintets "GND" til "GND"-indgangen på DAQ'en. Det blå kabel forbinder mikrofonprintets "VCC" til "5V" på DAQ'en. DAQ'en er med USB-kablet tilkoblet PC'en, hvorpå `optagefrekvenssignal04.vi` er åbnet i LabVIEW. Blockdiagrammet for VI'et er vist i figur 3.5. Højtaleren er tilsluttet PC'ens USB-port og minijack-stik, og er placeret ca. 2 cm. fra mikrofonen. I en browser på PC'en er onlinetonegenerator.com åbnet.

**Udførsel**

1. Der generes et signal med henholdsvis følgende frekvens: 20 Hz, 75 Hz, 80 Hz, 90 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700 Hz, 800 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz, 1300 Hz, 1400 Hz og 1500 Hz fra onlinetonegenerator.com.
2. I VI'et `optagefrekvenssignal04.vi`, trykkes på *Run* efter hvert genereret frekvens.
3. På frontpanelet i VI'et aflæses frekvensen i *Maks. frekvens* for hvert genereret frekvens.

Testen foretages to gange for hver frekvens.

**Resultater**

Resultaterne vises i tabel 3.7.

Tabel 3.7: Tabel over resultater af 3.2.10 E10-H3.

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
20	20	50
75	70	80
80	90	80
90	90	90
100	100	100
150	150	150
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000
1100	1100	1100
1200	1200	1200
1300	1200	1200
1400	1100	1100
1500	1000	1000

### Diskussion

Frekvenser op til 90 Hz og frekvenser fra 1300 Hz til 1500 Hz afviger fra de udsendte frekvenser. Kan det muligvis skyldes mikrofonen ikke kan optage disse signaler, eller skyldes det højttaleren ikke kan generere frekvenserne?

### Konklusion

Hypotesen forkastes da højttaleren Multimedia USB Speaker HP-1800 ikke kan generere signaler med frekvenser i intervallet 20 Hz - 1500 Hz.

**Aktion**

Da højttaleren kan levere frekvenser fra 90 - 1200 Hz, besluttes det at anvende denne højttaler til det videre testforløb, hvor resonansfrekvens i et tomt kammer måles.

**3.2.11 E11-VI02G****Testhypotese**

Der kan igennem LINX LabVIEW Makerhub oprettes en forbindelse til Arduino Mega 2560 r3.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

*Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

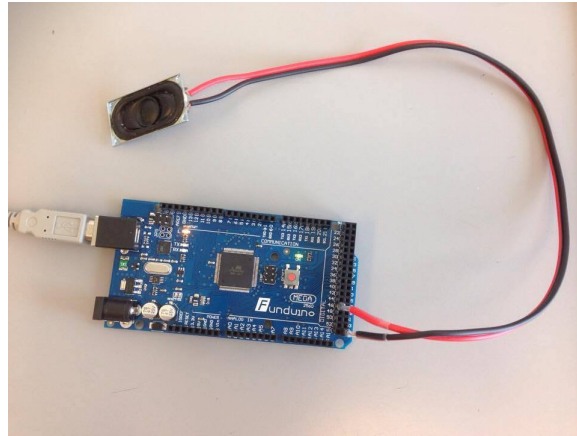
VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

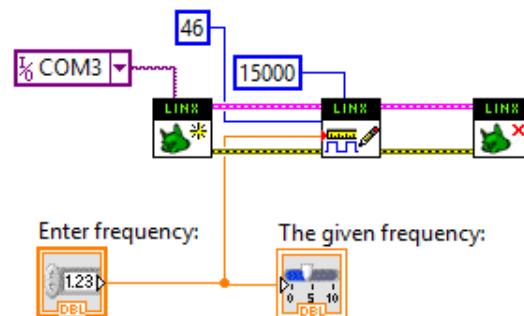
**Opstilling og opsætning**

Højttaleren er loddet til højttalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Testopstillingen er vist i figur 3.7.

I LabVIEW er det opbygget et VI *genererfrekvenssignal.VI* af LINX MakerHub komponenterne *Initialize.VI*, *Write square signal.VI* og *Close.VI*. I blokdiagrammet angives *serial port,Channel* og *Duration*. Blokdiagrammet ses i figur 3.8



Figur 3.7: Arduino med tilkoblet højttaler

Figur 3.8: Blokdiagram for *genererfrekvnessignal02.vi*

### Udførsel

1. I *Enter Frequency* på frontpanelet i *genererfrekvnessignal02.vi*, indtastes en selvvalgt frekvens.
2. Der trykkes på *Run*.
3. Der lyttes efter lydsignal fra højttaleren.

### Resultat

Der observeres en lyd ud fra højttaleren

### Diskusion

-

### Konklusion

Det konkluderes at det har været muligt at skabe en forbindelse igennem LINX LabVIEW Makerhub til Arduino Mega 2560 r3.

**Aktion**

-

**3.2.12 E12-VI01O****Testhypotese**

Det er muligt at opfange en lyd ved brug af LabVIEWs *Graphics and sound* VI'er.

**Produktspecifikationer**

*Hardware:*

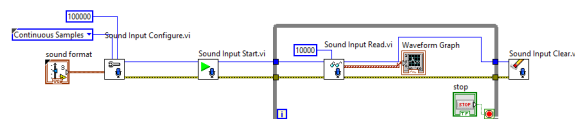
PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

**Opstilling og opsætning**

I LabVIEW er det opbygget et VI *optagefrekvenssignal01.VI* af *Graphics and sound* komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivende værdier er vist i figur 3.9



Figur 3.9: Blokdigram for *optagefrekvenssignal01.VI*

**Udførsel**

1. Der trykkes på *Run*.
2. Det snakkes ind i PC mikrofonen.
3. Der observeres efter udsving af amplituden i grafen på frontpanelet.

**Resultat**

I grafen på frontpanelet ses der udsving på amplituden når der snakkes til PC mikrofonen.



**Diskusion**

-

**Konklusion**

Hypotesen accepteres. Det har været muligt at opfange en lyd ved brug af LabVIEWs *Graphics and sound* VI'er.

**Aktion**

-

**3.2.13 E13-VI02O****Testhypotese**

Det er muligt at lave en FFT på et lydsignal og detektere maks. frekvensen.

**Produktspecifikationer**

*Hardware:*

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

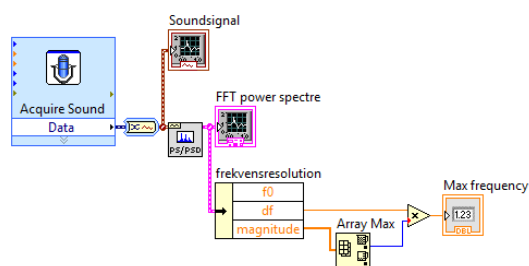
**Opstilling og opsætning**

I LabVIEW er det opbygget et VI *optagefrekvenssignal02.VI* af *Graphics and sound* og *TextitWaveforms Measurements*-komponenter. Komponenterne, forbindelserne og de angivende værdier er vist i figur 3.10

I onlinetonegeneratoren åbnes DMTF generatoren som er vist i figur 3.13

**Udførsel**

1. En DTMF tone 1 vælges i tonegeneratoren. Den højste frekvens i DTMF tonen noteres.

Figur 3.10: Blokdiagram for *optagefrekvenssignal02.VI*

2. Tonen afspilles og der trykkes på run i VI'et som nu optager tonen.
3. Maksfrekvensen aflæses på frontpanlet i *Maks frekvens* og sammenholdes med den tidligere noteret maksfrekvens. Disse skulle gerne stemme overens.

Denne udførsel gentages med tone 5, 9 samt D fra DTMF generatoren.

## Resultat

Tabel 3.8: Tabel over resultater

DTMF tone	Højeste frekvens	Resultat
1	1209	1209
5	1336	1336
9	1477	1477
D	1633	1633

## Diskusion

-

## Konklusion

Resultaterne er lig med de afsendte frekvenser. Testhypotesen er godkendt.

## Aktion

-

### 3.2.14 E14-VI04O

#### Testhypotese

Det er muligt at lave en FFT på et lydsignal og detektere maks. frekvensen med lydsignal fra DAQ.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

PC

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

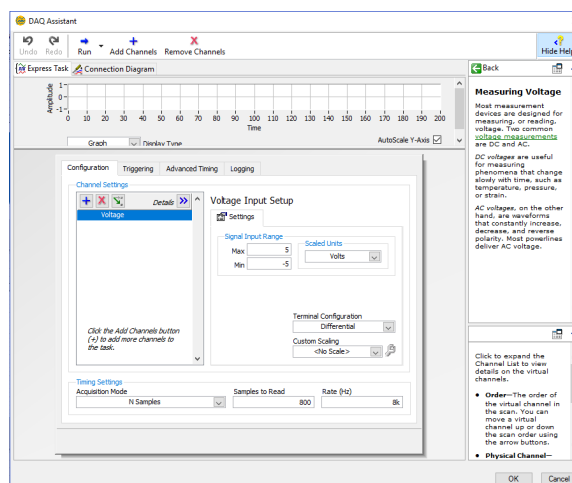
#### Opstilling og opsætning

*optagefrekvenssignal0.4.vi* er åbnet og onlinetonegeneratoren er åbnet i browseren på PC'en. Blokdiagrammet er vist i figur 3.17. I blokdiagrammet i *optagefrekvenssignal0.4.vi* åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 3.11. I onlinetonegeneratoren åbnes DMTF generatoren som er vist i figur 3.13

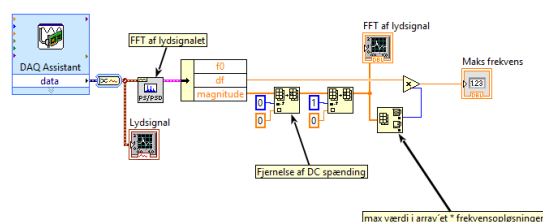
#### Udførsel

1. En DTMF tone 1 vælges i tonegeneratoren. Den højste frekvens i DTMF tonen noteres.
2. Tonen afspilles og der trykkes på run i VI'et som nu optager tonen.
3. Maksfrekvensen aflæses på frontpanlet i *Maks frekvens* og sammenholdes med den tidligere noteret maksfrekvens. Disse skulle gerne stemme overens.

Denne udførsel gentages med tone 5, 9 samt D fra DTMF generatoren.



Figur 3.11: DAQ assistant modulet med korrekt indtastet værdier



Figur 3.12: Blokdiagram for VI'et optagefrekvenssignal0.4.vi.

### Online Tone Generator

DTMF Dial Tones

The Online Tone Generator can be used to create Dual Tone Multi Frequency (DTMF) signals commonly heard on telephone dial pads. Each tone is simply the sum of two sine waves. Click and hold the dial pad buttons to hear each tone.



Figur 3.13: DTMF generatoren

## Resultater

## Diskussion

-

## Konklusion

Resultaterne af testen ligger acceptabelt tæt på de afsendte frekvenser. Hypotesen er godkendt.

Tabel 3.9: Tabel over resultater

DTMF tone	Højeste frekvens	Resultat
1	1209	1209,6
5	1336	1332,16
9	1477	1475,84
D	1633	1633,4

**Aktion**

Det besluttes at koden bruges i det videre udviklingsforløb.

**3.2.15 E15-VI05Q****Testhypotese**

Det er muligt at foretager n antal målinger i samme runtime og gemme disse i en .CSV fil hvor signalet er opsamlet med DAQ'en.

**Produktspecifikationer***Hardware:*

PC

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

*Software:*

NI LabVIEW 2014

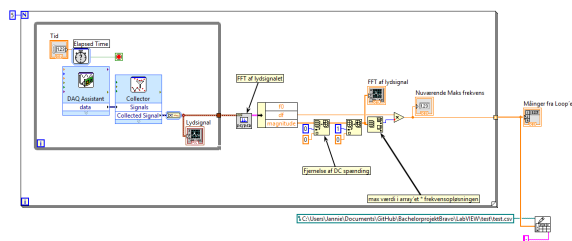
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

**Opstilling og opsætning**

*optagefrekvenssignal0.5.vi* er åbnet. Blokdiagrammet er vist i figur 3.17. I blokdiagrammet i *optagefrekvenssignal0.5.vi* åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 3.11.



Figur 3.14: Blokdiagram for VI'et optagefrekvenssignal0.5.vi.

## Udførsel

1. I blokdiagrammet indtastes 5 i *Loop Count* og den ønskede sti til den gemte .CSV fil angives i *file path* i *Write To Spreadsheet File.VI*’et
2. På frontpanelet indtastes 4 sekunder i *Tid*
3. Der trykkes på run i VI’et som nu optager lyd igennem DAQ’en.
4. VI’et optager omkringværende lyd
5. På frontpanelet aflæses om der ligger 5 målinger i array’et
6. I den førangivet sti kontrolleres om der er dannet en .CSV fil med de 5 målinger

## Resultat

På frontpanlet i VI'et ser der 5 målinger og der er ligger i array'et. I den valgt sti ligger der ligeledes en .CSV fil med de 5 målinger.

## Diskusion

—

## Konklusion

Da resultatet er fuldt tilfredsstillende, godkendes testhypotesen.

## Aktion

—

### 3.2.16 E16-VIHRVFO

### Testhypothese

Helmholtzresonansformel i LabVIEW udregner korrekt volumen ud fra kendte givet værdier.

## Produktspecifikationer

*Hardware:*

PC

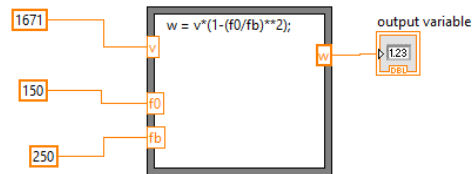
Texas Instruments TI-89

*Software:*

NI LabVIEW 2014

## Opstilling og opsætning

*HRVF.vi* er åbnet. Blokdiagrammet for VI'et ses i figur 3.15



Figur 3.15: Blokdiagram for VI'et *HRVF*.

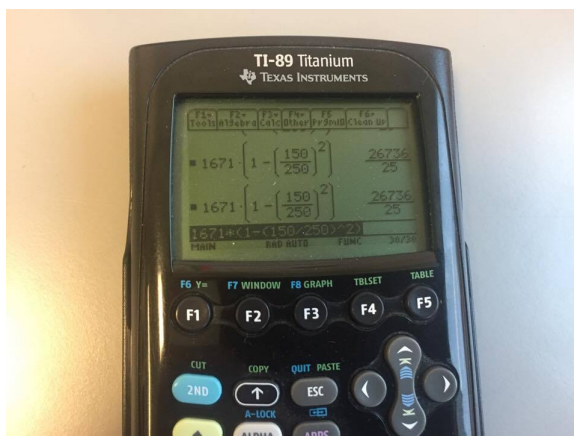
På TI-89'eren indtastes formelen for udregningen af volumen ud fra helmholtzresonansen. Formel defineres således

$$W = V \left( 1 - \left( \frac{f_0}{f_b} \right)^2 \right) \quad (3.1)$$

Indtastningen op TI-89'eren ses på figur 3.16, hvor værdierne er angivet således at  $v = 1671$ ,  $f_0 = 150$  og  $f_b = 250$ . Resultatet af indtastning giver volumet  $W = 1069.44$

## Udførsel

1. De overnævnte værdier indtastes i blokdiagrammet på de korrekte pladser.
2. Der trykkes på *Run*
3. Resultat af udregningen aflæses på frontpanelet i feltet *Resultat*.
4. Resultatet fra TI-89 og VI'et sammenlignes.



Figur 3.16: Indtastning af formel på TI-89

### Resultat

Volumet, regnet på TI-89'erne, angav at  $W = 1069.44$ . Volumet, regnet i VI'et, angav at  $W = 1069.44$ .

### Diskussion

-

### Konklusion

Da resultatet af udregningen er ens for begge metoder, godkendes testenhypotesen.

### Aktion

Det besluttes at den kodede formel fra VI'et kan bruges i det videre udviklingsforløb i LabVIEW.

#### 3.2.17 E17-VI07O

### Testhypotest

Det er muligt at foretage n antal målinger i samme runtime og gemme disse i en .CSV fil hvor signalet er opsamlet med DAQ'en.

### Produktspecifikationer

*Hardware:*

PC



## Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

*Software:*

NI LabVIEW 2014

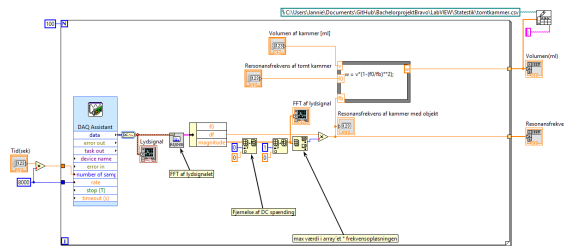
NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

**Opstilling og opsætning**

*optagefrekvenssignal0.7.vi* er åbnet. Blokdiagrammet er vist i figur 3.17. I blokdiagrammet i *optagefrekvenssignal0.7.vi* åbnes DAQ assistant modulet og i *Samples to read* indtastes 800 og i *Rate(Hz)* indtastes 8000. Dette vises i figur 3.11.



Figur 3.17: Blokdiagram for VI'et *optagefrekvenssignal0.7.vi*.

**Udførsel**

1. I blokdiagrammet indtastes 5 i *Loop Count* og den ønskede sti til den gemte .CSV fil angives i *file path* i *Write To Spreadsheet File.VI* 'et
2. På frontpanelet indtastes 4 sekunder i *Tid*
3. Der trykkes på run i VI'et som nu optager lyd igennem DAQ'en.
4. VI'et optager omkringværende lyd
5. På frontpanelet aflæses om der ligger 5 målinger i array'et
6. I den førangivet sti kontrolleres om der er dannet en .CSV fil med de 5 målinger

**Resultat**

På frontpanelet i VI'et ser der 5 målinger og der er ligger i array'et. I den valgt sti ligger der ligeledes en .CSV fil med de 5 målinger.

**Diskusion**

-

**Konklusion**

Da resultatet er fuldt tilfredsstillende, godkendes testhypotesen.

**Aktion**

Det besluttet at dette *optagefrekvenssignal 0.7.vi* bruges i det videre udviklingsforløb

**3.3 Integrationstest**

Tabel 3.10: Tabeloversigt over udførte integrationstests

Test-ID	Indgående enheder	Testformål
I01	H1/M1/VI02G/VI01 <u>Q</u>	Generere og opfange lydssignal
I02	M1/VI02G	Optage lydssignal gennem M1
I03	H1/M1/VI02G/VI02 <u>Q</u>	Sammenligning af frekvenssignaler
I04	H2/M1/VI02G/VI02 <u>Q</u>	Dæmpning af overtoner
I05	H2/M1/VI02G/VI02 <u>Q</u>	Test af resonansfrekvens ved højfrekvenser
I06	H3/M4/VI05 <u>Q</u>	Resonansfrekvens i tom resonator
I07	H3/M4/VI05 <u>Q</u>	Resonansfrekvens i tom resonator med højttalerholder
I08	H3/M4/VI06 <u>Q</u>	Volumenmåling af ballon
I09	H3/M4/VI08 <u>Q</u>	Volumenmåling med højttalerholder af balloner
I10	H3/M4/VI08 <u>Q</u>	Volumenmåling uden højttalerholder af balloner

**3.3.1 Bordtest nr. 1****Testformål**

Det afprøves, at generere et frekvenssignal som udsendes gennem højttaleren, og derefter opfanges af mikrofonen, hvor den højst målte frekvens til sidst angives.

**Produktspecifikationer**

*Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Arduino Mega 2560 R3

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

*Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

#### *1. delopstilling:*

Højttaleren er loddet til højttalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. På PC'en er VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur ??, og blokdiagrammet er vist i figur 3.2.

#### *2. delopstilling:*

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur ??, og blokdiagrammet er vist i figur 3.3.

### Udførsel

1. Højttaleren holdes manuelt således membranen står i lodret position.
2. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod højttaleren, i en afstand på 5 cm.
3. I VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Kodens eksekveres ved at trykke på *Run*.
4. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Punkt 1-4 gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz og 700 Hz.

### **Resultater**

Den maksimale optagede frekvens var ikke tilnærmelsesvis frekvensen på den udsendte tone.

### **Diskussion**

Det ønskede resultat er frekvensen på den udsendte tone, hvilket ikke var tilfældet i denne test. Hvor er fejlen opstået; er der fejl i LabVIEW-kode eller hardware?

### **Konklusion**

Det er nødvendigt at undersøge om fejlen opstår i vores hardware eller software.

### **Aktion**

Det skal med en online tonegenerator undersøges, hvor fejlen er opstået.

## **3.3.2 Bordtest nr. 2**

### **Testformål**

Det afprøves, at generere et frekvenssignal fra en online tonegenerator, som udsendes gennem PC'ens højttaler, og derefter opfanges af mikrofonen, hvor den højst målte frekvens til sidst angives.

### **Produktspecifikationer**

#### *Hardware:*

Minijack PC Mikrofon

PC

#### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

## ARDUINO 1.6.12

`onlinetonegenerator.com`

### Opstilling og opsætning

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur ??, og blokdiagrammet er vist i figur 3.3.

I en internetbrowser er hjemmesiden `www.onlinetonegenerator.com` åbnet, og PC'ens højtalere er slået til.

### Udførsel

1. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod PC'ens højtaler, i en afstand på 5 cm.
2. I `onlinetonegenerator.com` genereres et signal med den ønskede frekvens.
3. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.

a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Punkt 1-4 gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz og 700 Hz.

### Resultater

Den optagede frekvens var den generede udsendte frekvens ( $\pm 0.5$  Hz).

### Diskussion

Der opnås nu pæne resultater, og der reflekteres over om resultaterne i 3.3.1 skyldes fejl i højtaler eller fejl i VI'et `genererfrekvenssignal02.vi`.

### Konklusion

Det konkluderes, at der ikke er fejl i VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi`.

### Aktion

Det skal undersøges, hvilken forskel der er på frekvenssignalet fra `onlinetonegenerator.com` og det generede frekvenssignal udsendt fra højtalkeren ABS-224-RC.

### 3.3.3 Bordtest nr. 3

#### Testformål

Det undersøges, hvilken forskel der er på frekvenssignalet fra onlinegenerator.com og det genererede frekvenssignal udsendt fra højttaleren ABS-224-RC.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Højttaler: ABS-224-RC

Højttalerkabel: Rød/Sort

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1 Arduino Mega 2560 R3

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B  
PC

Minijack PC Mikrofon

##### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

onlinetonegenerator.com

#### Opstilling og opsætning

##### *1. delopstilling:*

Højttaleren er loddet til højttalerkablets ene ende, og pin headerne er loddet til kablets anden ende. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. På PC'en er VI'et **genererfrekvenssignal02.vi** åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur ??, og blokdiagrammet er vist i figur 3.2.

##### *2. delopstilling:*

Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik. På PC'en er VI'et **optagefrekvenssignal0.1.vi** åbnet i LabVIEW. Testopstillingen for denne del er vist i figur ??, og blokdiagram-

met er vist i figur 3.3.

### *3. delopstilling:*

I en internetbrowser er hjemmesiden `www.onlinetonegenerator.com` åbnet, og PC'ens højtalere er slået til.

## **Udførsel**

### *1. deltest*

1. Højtaleren holdes manuelt således membranen står i lodret position.
2. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod højtaleren, i en afstand på 5 cm.
3. I VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
4. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

### *2. deltest*

1. Mikrofonen holdes manuelt, vendt mod PC'ens højtaler, i en afstand på 5 cm.
2. I `onlinetonegenerator.com` genereres et signal med den ønskede frekvens.
3. I VI'et `optagefrekvenssignal0.1.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Deltestene gentages med frekvenser på: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, 700, 1000 og 1200 Hz, og resultaterne sammenholdes.

## **Resultater**

Det blev observeret, at resultaterne fra det generede frekvenssignal i VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` var grundtonens harmoniske overtoner, idet frekvensen udsendes som et firkantsignal. Kun ved højfrekvente signaler ( $< 1$  kHz), blev grundtonen opfanget. Ved at benytte `onlinetonegenerator.com`, kunne der udsendes et sinussignal med en given frekvens, som blev korrekt opfanget ( $\pm 0.5$  Hz).

### Diskussion

Der opnås pæne resultater ved at bruge et sinussignal, men der er desværre meget kompliceret at generere sinussignaler til en Arduino.

### Konklusion

Det konkluderes, at der ikke er fejl i software og hardware, og de unøjagtige resultater skyldes firkantssignalets harmoniske overtoner.

### Aktion

Det skal undersøges, om det er muligt at filtrere firkantssignalets harmoniske overtoner fra, således firkantssignalet kan benyttes.

#### 3.3.4 Bordtest nr. 4

##### Testformål

Det undersøges, om en resonatorlignende beholder kan dæmpe de harmoniske overtoner fra firkantssignalet.

##### Produktspecifikationer

###### *Hardware:*

Højttaler: Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4

Højttalerkabel: Rød/Sort

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1

Arduino Mega 2560 R3

Minijack PC Mikrofon

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (resonator)

Lineal

###### *Software:*

NI LabVIEW 2014



NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højtaleren. Til kablets anden ende er pin headerne loddet fast og forsejlet med krympeflex. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik og er ført ned i resonatoren hvor den ligger i bunden. Højtaleren placeres i en afstand på en halv diameter af højtalere ns membran, ovenfor resonatore ns hals.

På PC'en er VI'erne **genererrefrekvenssignal02.vi** og **optagefrekvenssignal02.vi** åbnet i LabVIEW og blokdiagrammerne er vist i figur 3.2 og 3.3

Testopstillingen kan ses på figur 3.18.



Figur 3.18: Testopstilling for bordtest 4

### Udførsel

1. Tryksprøjtedelen afmonteres beholderen og fungerer nu som resonator. Resonatoren stilles på et bord med halsen pegende opad.
2. Mikrofonen føres ned i resonatoren og ligger i resonatorens bund.
3. Linealen påsættes resonatorens hals så den fungerer som afstandsmåler fra halsåbningen.
4. Højtaleren holdes manuelt over resonatorhalsen i en afstand på en halv diameter af højtalarmembranen. Ved anvendelse af den specificerede højtaler er afstanden to centimeter.
5. I VI'et **genererfrekvenssignal02.vi** indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
6. I VI'et **optagefrekvenssignal02.vi** trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Testen udføres med en frekvens på 200 Hz, 500 Hz, 1000 Hz og 1200 Hz. Der afprøves to gange med hvert frekvens

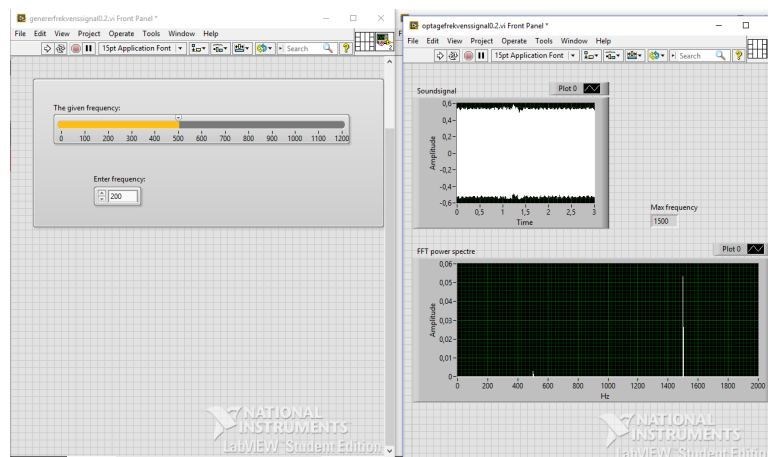
### Resultater

Det blev observeret ved begge forsøg, at resultatet fra det generede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvenssignal02.vi** på 500 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 1500 Hz. Dette ses i figur 3.19.

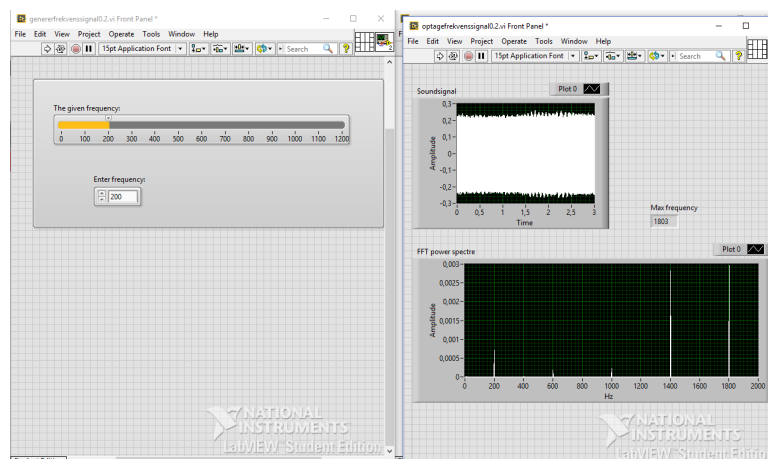
Det blev observeret i første forsøg, at resultatet fra det generede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvenssignal02.vi** på 200 Hz var en af grundtonens harmoniske overtone på 1803 Hz og i andet forsøg observeres en harmonisk overtone 1402,33 Hz. Resultatet fra første forsøg vises i figur 3.20.

Det blev observeret i første forsøg, at resultatet fra det generede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvenssignal02.vi** på 1000 Hz var en af grundtonens harmoniske overtoner på 3000,33 Hz i. Dette ses i figur 3.21. I det andet forsøg observeres det at resultatet stemmer overens med den afspillede grundtone. Dette ses på figur 3.22.

Det blev observeret, at resultatet fra den generede frekvenssignal i VI'et **genererfrekvenssignal02.vi** på 1200 Hz stemmer overens med den afspillede grundtone. Dette ses på figur 3.23.



Figur 3.19: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 500 Hz



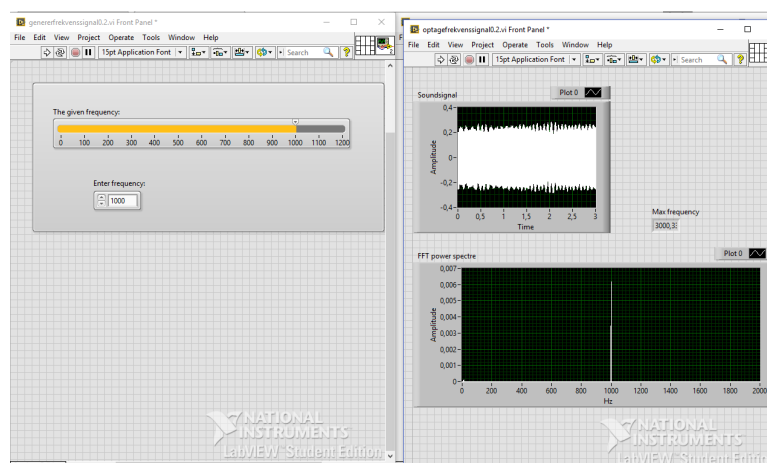
Figur 3.20: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 200 Hz

## Diskussion

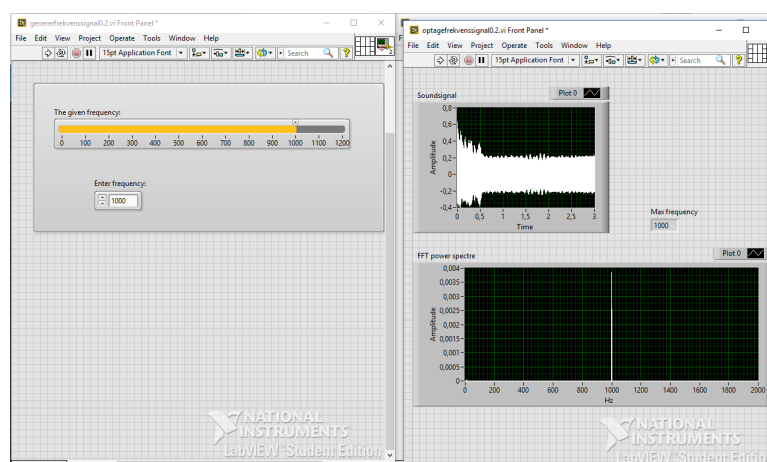
Ved forsøget med 1000 Hz observeres, at de to resultater ikke er tilnærmelsesvis ens. I første forsøg blev en harmonisk overtone opfanget, som den maksimale frekvens, hvor der i andet forsøg blev opfanget grundtonen på den genererede frekvens. Disse to resultater skal være ens og derfor er de ikke tilfredsstillende.

## Konklusion

Ved generering af frekvenser lavere end 1000 Hz opfanges harmoniske overtoner, i stedet for grundtonen, som er det ønskede resultat. Ved generering af frekvenser lig 1000 Hz opfanges ustabile resultater. Ved generering af frekvenser højere end 1000 Hz, opnås pæne resultater, hvor den genererede frekvens er lig den opfangede frekvens. Dermed konkluderes, at resonatoren i dette tilfælde ikke virker dæmpende på harmoniske overtoner på frekvenser lavere end 1000 Hz.



Figur 3.21: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 1000 Hz



Figur 3.22: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 1000 Hz

## Aktion

Det skal undersøges, om målinger genereret med en frekvens lig eller højere end 1000 Hz er stabile.

### 3.3.5 Bordtest nr. 5

#### Testformål

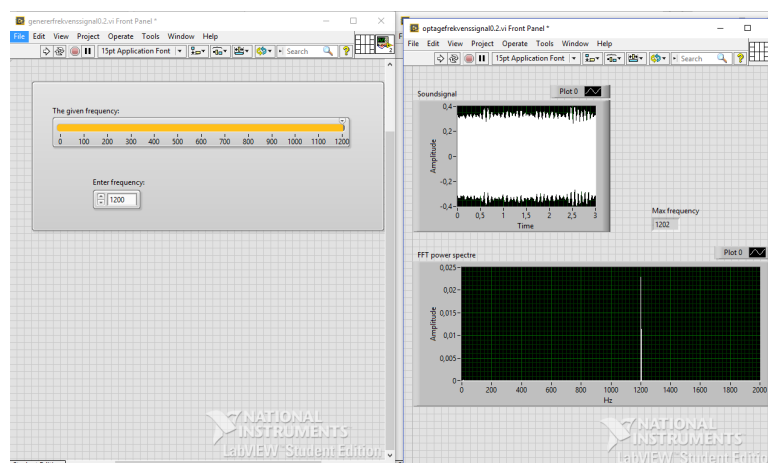
Det undersøges, om firkantsignaler genereret med frekvenser lig eller højere end 1000 Hz er stabile og hvilken effekt helmHoltz resonatoren har på signalerne.

#### Produktspecifikationer

##### Hardware:

Højttaler: Wide Band 2.5" SB65WBAC25-4

Højttalerkabel: Rød/Sort



Figur 3.23: Resultat for for bordtest 4 ved anvendelse af 1200 Hz

Kabelsko: Rød fladstik hun, str. 0.25-1.65 mm<sup>2</sup>, 6.6 mm bred fladstik

2 stk. Male Single Row Pin Header Strip 2.54 mm.

Krympeflex 2:1

Arduino Mega 2560 R3

Minijack PC Mikrofon

PC

USB kabel Hi-speed 2.0 shield 28AWG/2C+24AWG/2C Han USB A - Han USB B

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun (resonator)

Lineal

#### *Software:*

NI LabVIEW 2014

NI VISA 15.0.1

VI Package Manager

ARDUINO 1.6.12

### Opstilling og opsætning

Højtalerkablets ene ende er påsat kabelsko, som er påsat højttaleren. Til kablets anden ende er pin headerne loddet fast og forsejlet med krympeflex. Pin headerne er isat Arduino'en i pin 46 (PL3(OC5A)), som et er digitalt PWM output, og til ground (GND). Arduino'en er med et USB kabel koblet til PC'en. Mikrofonen er sat i PC'ens minijack-stik og er ført ned i resonatoren hvor den ligger i bunden. Højttaleren placeres i en afstand på en halv diameter af højttalerens membran, ovenfor resonatorens hals.

På PC'en er VI'erne `genererfrekvenssignal02.vi` og `optagefrekvenssignal02.vi` åbnet i LabVIEW og blokdiagrammerne er vist i figur 3.2 og 3.3

Testopstillingen er den samme som i bordtest 4, og vises i figur 3.18.

### Udførsel

1. Tryksprøjtetdelen afmonteres af beholderen og fungere nu som resonator.  
Resonatoren stilles på et bord med halsen pegende opad.
2. Mikrofonen føres ned i resonatoren og ligger i resonatorens bund.
3. Linealen påsættes resonatorens hals så den fungere som afstandsmåler fra halsåbningen.
4. Højtaleren holdes manuelt over resonatorhalsen i en afstand på en halv diameter af højtalermembranen. Ved anvendelse af den specificerede højtaler er afstanden to centimeter.
5. I VI'et `genererfrekvenssignal02.vi` indtastes den ønskede frekvens i den numeriske kontrol *Enter Frequency*.
  - a) Koden eksekveres ved at trykke på *Run*.
6. I VI'et `optagefrekvenssignal02.vi` trykkes på *Run*.
  - a) Den maksimale optagede frekvens aflæses i *Max Frequency*.

Testen udføres med en frekvens på 950 Hz, 1000 Hz, 1100 Hz, 1200 Hz og 1300 Hz. Testen fortages to gange med hver frekvens.

### Resultater

Ud fra tabellen ses at de opfangede signaler er stabile ved alle udsendte frekvenser. Det ses ydermere at de afsendte signaler ikke ser ud til at være påvirket af Helmholtzresonatoren

Tabel 3.11: Tabel over resultater

Udsendt frekvens [Hz]	1. resultat	2. resultat
950	954.33	954.33
1000	1000.00	1000.00
1100	1101.33	1101.33
1200	1202.00	1202.00
1300	1302.00	1302.00

### Diskussion

De opfangede frekvensers variation er tilfredsstillende til brug i det videre udviklingsforløb. De optagede frekvenser afviger ikke fra de udsendte frekvenser selvom de udsendte frekvenser er opfanget i resonatoren. Det er Helmholtz resonansen som ønskes opfanget og den formodes at afvige fra den udssendte frekvens. Dette er dog ikke tilfældet i denne tests resultater. Det undres over de optagede frekvenser ikke er påvirkede af resonatoren og der sås nu tvivl minijack mikrofonen opfanger signalerne eller om det er PC mikrofonen som opfanger signalerne

### Konklusion

Frekvenser over 950 Hz kan opfanges som grundtonen og det opfangede signal er ikke forstyrret af de harmoniske overtoner. Det ser ikke ud til at de opfangede frekvenser ikke er påvirket af resonatoren, hvilket vil være forventeligt. Det konkluderes at det det er nødvendigt at undersøge om minijack mikrofonen opfanger de afsendte signaler.

### Aktion

Der udføres en ny enhedstest af minijack mikrofonen for at klarlægge om mikrofonen opfanger signalerne.

### 3.3.6 Bordtest nr. 6 - resonansfrekvens i tomt kammer

#### Testformål

Det ønskes, at finde resonansfrekvensen  $f_0$  i den tomme resonator, således denne kan verificeres i forhold til resonatorens kendte volumen.

#### Produktspecifikationer

##### *Hardware:*

Multimedia USB Speaker HP-1800

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun

Danalim klæbemasse 312

Lineal

MY DOUGH modellervoks

Etronit MBM PhenolicMelamine plade

PC

*Software:*

NI LabVIEW 2014

LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Flasken er skruet af tryksprøjten, og bunden er savet af i et lige snit. Denne flaske har funktionen som resonator i testen. Resonatoren vises i figur 3.24. Resonatoren er placeret på pladen, og er tætnet med modellervoks i kanten mellem resonator og plade. Trykventilen på flasken er også tætnet med modellervoks. En lineal er påsat flaskehalsen, og benyttes til afstandsmåling. Mikrofonen er monteret på resonatorens inderside med klæbemasse. Mikrofonen placeres mindre end resonatorhalsens længde fra resonatorhalsens indre åbning. Mikrofonen er endvidere tilkoblet DAQ'en, som er tilsluttet PC'en. På PC'en er LabVIEW VI'et *optagefrekvenssignal05.vi* åbnet. Blokdiagrammet vises i figur 3.25. Højttaleren er tilsluttet PC'en, og [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com) er åbnet i en browser, hvor pink noise genereres. Højttaleren holdes i en afstand på en halv diameter af halsåbningen fra halsens indgangen.

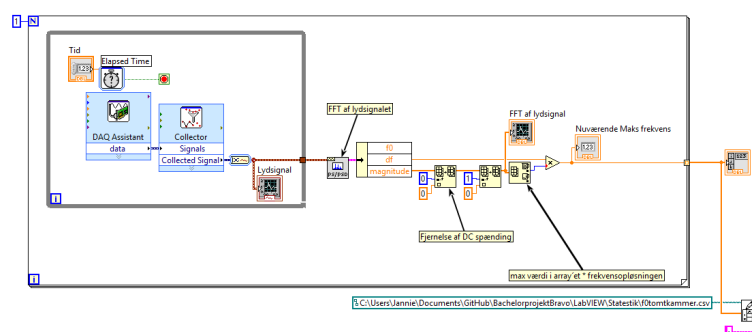
### Udførsel

1. Pink noise genereres fra [www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)ud gennem højttaleren.
2. Gentagelse af antal loops i blokdiagrammet sættes til 10, og der optages 4 sekunder af gangen.
3. Der trykkes *Run* i VI'et.
4. Resonansfrekvens  $f_0$  aflæses i *Resonansfrekvens af kammer med objekt*.





Figur 3.24: Resonator fremstillet af Tryksprøjte NSG 150 - Neptun.



Figur 3.25: Blokdiagram for LabVIEW VI'et optagefrekvenssignal05.vi.

## Resultater

### 3.3.7 Bordtest nr. 6.1 - resonansfrekvens i tomt kammer

#### Testformål

Det ønskes, at finde resonansfrekvensen  $f_0$  i den tomme resonator, således denne kan verificeres i forhold til resonatorens kendte volumen.

#### Produktspecifikationer

##### Hardware:

Multimedia USB Speaker HP-1800

Tabel 3.12: Tabel over resultater

#	$f_0$ [Hz]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Electret Microphone Amplifier - MAX4466

Multifunction Data Acquisition (DAQ) USB-6009

Tryksprøjte NSG 150 - Neptun

Danalim klæbemasse 312

3D-printet holder til Multimedia USB Speaker HP-1800

MY DOUGH modellervoks

Etronit MBM PhenolicMelamine plade

PC

Termometer

*Software:*

NI LabVIEW 2014

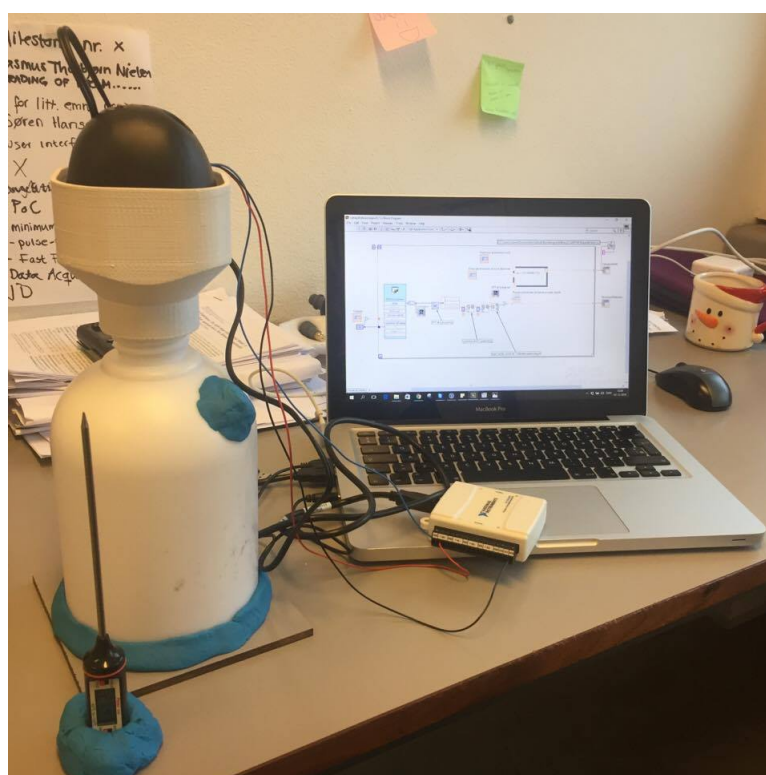
LabVIEW2014-NI-DAQmx-14

[www.onlinetonegenerator.com](http://www.onlinetonegenerator.com)

### Opstilling og opsætning

Flasken er skruet af tryksprøjten, og bunden er savet af i et lige snit. Denne flaske har funktionen som resonator i testen. Resonatoren vises i figur 3.24. Resonatoren er placeret på pladen, og er tætnet med modellervoks i kanten mellem resonator og plade. Trykventilen på flasken er også tætnet med modellervoks. Mikrofonen er

monteret på resonatorens inderside med klæbemasse. Mikrofonen placeres mindre end resonatorhalsens længde fra resonatorhalsens indre åbning. Mikrofonen er endvidere tilkoblet DAQ'en, som er tilsluttet PC'en. På PC'en er LabVIEW VI'et `optagefrekvenssignal05.vi` åbnet. Blokdiagrammet vises i figur 3.25. En 3D-printet holder er skruet på flaskens gevind. Holderen sikrer, at højttaleren holdes i en afstand på  $\geq$  en diameter af halsåbningen fra halsens indgangen. Højttaleren er tilsluttet PC'en, og `www.onlinetonegenerator.com` åbnet i en browser, hvor pink noise genereres. Et termometer sættes til at måle rumtemperaturen, imens testen udføres.



Figur 3.26: Opstillingen for testen fremgår af denne figur

### Udførsel

1. Pink noise genereres fra `www.onlinetonegenerator.com`ud gennem højttaleren.
2. Gentagelse af antal loops i blokdiagrammet sættes til 100, og der optages 4 sekunder af gangen.
3. Der trykkes *Run* i VI'et.
4. Resonansfrekvens  $f_0$  aflæses i *Resonansfrekvens af kammer med objekt*.

**Resultater**

Rumtemperatur: 23.7°C

$f_0$  udregnet ud fra Helmholtz resonans ligningen:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (3.2)$$

,

hvor  $c$  er givet ved:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (3.3)$$

, og  $T$  er bestemt ved.:

$$T_K = t_C + 273,15 \text{ K} \quad (3.4)$$

Tværsnitsarealet  $S_p$  er bestemt ved

$$S_p = r^2 \pi \quad (3.5)$$

Endvidere er  $\Delta l$  bestemt ved:

$$\Delta l = 0,6 \cdot r + \frac{8}{3\pi} \cdot r \quad (3.6)$$

$$S_p = r^2 \pi \quad (3.7)$$

**3.3.8 Bordtest 6.2 - test med tre balloner med forskellig volumen****Testformål**

Gul ballon: 216 g. svarende til et volumen på: 0,000216 m<sup>3</sup>

Blå ballon: 383 g. svarende til et volumen på: 0,000383 m<sup>3</sup>

Grøn ballon: 516 g. svarende til et volumen på: 0,000516 m<sup>3</sup>

Rumtemperatur: 23,2°C

$f_0$  ved 23.2°C: 96.4 s

Gul ballon:  $f_b$  burde dermed være: 103.3 s (var 150 s) Blå ballon:  $f_b$  burde dermed være: 109.8 s (var 152 s) Grøn ballon:  $f_b$  burde dermed være: 115.9 s (var 159 s)

Tabel 3.13: Tabel over resultater

#	$f_0$ [Hz]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

# Find en plads til det her 4

---

## 4.1 Bestemmelse af volumen af resonator

Volumen af resonatoren skal kendes for at bestemme resonansfrekvensen i det tomme kammer. Volumen er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kunne volumen gives.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.1)$$

$$V_{\text{resonator}} = \frac{1698 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} \quad (4.2)$$

$$V_{\text{resonator}} = 1,698 \text{ m}^3 = 1,698 \text{ L} \quad (4.3)$$

### 4.1.1 Bestemmelse af volumen af resonator ekskl. halsvolumen

Volumen af resonatoren ekskl. halsvolumen er udregnet på samme fremgangsmåde ved brug af ligning 4.11.

$$V_{\text{resonator}} = \frac{1671 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3}{1000 \text{ kg}/\text{m}^3} = 1,671 \text{ m}^3 = 1,671 \text{ L} \quad (4.4)$$

## 4.2 Udregning af volumen

Helmholtz resonansen i en tom resonator er givet ved følgende formel:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (4.5)$$

hvor

$f_0$ : resonansfrekvens i en tom resonator  $[Hz]$ ,

$c$ : lydens hastighed i luft  $[m/s]$ ,

$S_p$ : tværsnitsareal af port  $[m^2]$ ,

$V$ : statisk volumen af resonator  $[m^3]$ ,

$l_p$ : længde af port  $[m]$ ,

$\Delta l$ : endekorrektion  $[m]$

Lydens hastighed i luft  $c$  er givet ved formelen:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{T_K}{273,15 \text{ K}}} \quad (4.6)$$

hvor  $T_K$  er givet ved

$$T_K = t_C + 273,15 \text{ K} \quad (4.7)$$

. Derved kan lydens hastighed i luft ved en temperatur på  $23^\circ\text{C}$  bestemmes:

$$c = 331,5 \text{ m/s} \cdot \sqrt{\frac{296,15 \text{ K}}{273,15 \text{ K}}} = 345,175 \text{ m/s} \quad (4.8)$$

Tværsnitsarealet  $S_p$  af porten bestemmes ved:

$$S_p = r^2 \pi \quad (4.9)$$

hvor  $r$  er radius af porten. Derved bliver  $S_p$  ved en radius på  $1,75 \text{ cm}$ :

$$S_p = (0,0175 \text{ m})^2 \pi = 0,000962 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$

Volumen af resonatoren  $V$  er ekskl. port/ hals. Volumen er udregnet ved at hælde vand i resonatoren, og derefter måle vandets vægt. Ud fra vandets vægt kan volumen gives vha. følgende formel:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (4.11)$$

↓

$$V_{\text{resonator}} = \frac{1,671 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,001671 \text{ m}^3 \quad (4.12)$$

Endekorrektionen  $\Delta l$  er en værdi som tillægges, som korrektion for den medsvingende luft, der i resonatoren fungerer som masse.

$\Delta l$  gives ved:

$$\Delta l = 0,6 \cdot r + \frac{8}{3\pi} \cdot r \quad (4.13)$$

$\Downarrow$

$$\Delta l = 0,6 \cdot 0,0175 \text{ m} + \frac{8}{3\pi} \cdot 0,0175 \text{ m} = 0,157 108 \text{ m} \quad (4.14)$$

Resonansfrekvens  $f_0$  i en tom resonator ved en lufttemperatur på  $23^\circ\text{C}$  er altså:

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V(l_p + \Delta l)}} \quad (4.15)$$

$\Downarrow$

$$f_0 = \frac{345,175 \text{ m/s}}{2\pi} \sqrt{\frac{0,000 962 \text{ m}^2}{0,001 671 \text{ m}^3(0,034 \text{ m} + 0,157 108 \text{ m})}} \quad (4.16)$$

$\Downarrow$

$$f_0 = 95,3497 \text{ s}^{-1} \cong 95,4 \text{ Hz} \quad (4.17)$$



## **Bilag A**

Her er bilag A's indhold

TADAAAAAA :D

## Bilag B

Og her kommer bilag B's indhold