



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Edvinas Deksnys**

**SKYSČIO TŪRIO TALPOJE ĮVERTINIMAS NAUDOJANT  
AKUSTINĮ REZONANSĄ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Andrius Chaziachmetovas

**KAUNAS, 2018**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTRONIKOS KATEDRA**

**SKYSČIO TŪRIO TALPOJE ĮVERTINIMAS NAUDOJANT  
AKUSTINĮ REZONANSĄ TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Elektronikos inžinerija (621H61002)

**Vadovas**

( ) Doc. dr. Andrius Chaziachmetovas  
( )

**Recenzentas**

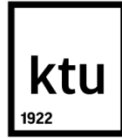
( ) Prof. Vytautas Markevičius  
( )

**Projektą atliko**

( ) Edvinas Deksnys  
( )

**KAUNAS, 2018**





KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir Elektronikos

(Fakultetas)

Edvinas Deksnys

(Studento vardas, pavardė)

Elektronikos inžinerija (621H61002)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Skysčio tūrio talpoje įvertinimas naudojant akustinį rezonansą tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA**

20 18 m. Gegužė 29 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Edvino Deksnio** baigiamasis projektas tema „**Skysčio tūrio talpoje įvertinimas naudojant akustinį rezonansą tyrimas.**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Deksnys, Edvinas. Skysčio tūrio talpoje įvertinimas naudojant akustinį rezonansą tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Andrius Chaziachmetovas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektronikos inžinerijos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: rezonansas, tūris, akustinės bangos, Helmholco rezonatorius

Kaunas, 2018. 54 p.

## **SANTRAUKA**

Darbe yra apžvelgiami skirtingi tūrio matavimo metodai. Invaziniai, kurie yra paremti skirtingais principais dirbančių daviklių sąlyčiu su skysčiu. Ir neinvaziniai, kurie paremti ore sklindančių, akustinių, optinių bangų, principu. Tolimesniems tūrio talpoje matavimo tyrimams buvo pasirinktas metodas, kuris pagrįstas Helmholco rezonatoriaus principu. Jis pasirinktas dėl to, kad nereikia jokių sudėtingų ir brangių prietaisų, bei gaunamas pakankamas tikslumas. Vykdamas eksperimentą buvo panaudotas nešiojamas skaitmeninis duomenų surinkimo įrenginys, kuriame yra signalo generavimo išėjimas. Naudojant „Matlab“ programinę įrangą buvo suprogramuota matavimo procedūra ir duomenų apdorojimas. Darbe pasiūlyta matavimo metodika. Atliekant eksperimentinius matavimus su paprastos formos talpomis, buvo gauti tikslūs (paklaida neviršijo 2%) rezultatai, tačiau didėjant tiriamojo objekto tūriui ir esant sudėtingos geometrinės formos talpai eksperimentų rezultatų nuokrypiai nuo teorinės vertės gavosi žymūs. Matavimai buvo atlikti su 0,75 ir 3-jų litrų stikliniais buteliais ir su 4,3, 19, 55-ių litrų plastikinėmis talpomis.

Deksnys, Edvinas. Research of Liquid Volume Estimation in Tank Using Acoustic Resonance. *Master's thesis in Electronics Engineering / supervisor doc. Dr. Andrius Chaziachmetovas. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electronics Engineering*

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: resonance, volume, acoustic wave, Helmholtz resonator

Kaunas, 2018. 54 p.

## **SUMMARY**

Different volumetric methods are reviewed in the thesis. Invasive, which is based on the presence of liquid sensors operating on different principles. And non-invasive, based on the principles of airborne, acoustic, optical waves. For a further volume measurement, the method was chosen based on the Helmholtz resonator principle. It is chosen due to the fact that no complex and expensive devices are needed and sufficient accuracy is obtained. The experiment included

the portable digital data capture device, which includes signal generation output. Matlab software programmed the measurement procedure and data processing using the Matlab. The work proposes the measurement methodology. Experimental measurements with simple reservoirs yielded precise results (the error did not exceed 2%), but with increasing volumes of the object under investigation and in the case of complex geometric reservoirs, the experimental results deviations from the theoretical value were significant. Measurements were made with 0.75 and 3 liters of glass bottles and with 4.3, 19, 55 liters of plastic containers.

# Turinys

ĮVADAS .....	8
1 TŪRIO MATAVIMO METODAI.....	9
1.1 Invaziniai skysčio matavimo būdai.....	9
1.1.1 Plūduriuojantys matuokliai.....	9
1.1.2 Hidrostatinio slėgio metodas .....	9
1.1.3 Talpinis metodas .....	10
1.1.4 Laidumo matavimo metodas.....	10
1.1.5 Boilio dėsnio paremtas tūrio įvertinimo metodas.....	11
1.2 Neinvaziniai skysčio tūrio nustatymo būdai .....	12
1.2.1 Ultragarsinis metodas .....	12
1.2.2 Helmholco rezonatoriaus metodas.....	13
2 AKUSTINIŲ BANGŲ METODAS .....	15
2.1 Helmholco rezonatoriaus metodas.....	15
2.2 Akustinių bangų metodo tyrimo įranga .....	17
2.3 Eksperimentinės įrangos dažninė charakteristika .....	19
2.4 Signalų apdorojimo metodai.....	28
2.5 Tyrimų metodika.....	28
3 TŪRIO NUSTATYMO EKSPERIMENTAI.....	31
3.1 750 ml talpos tyrimo rezultatai .....	31
3.2 3 l talpos indo tyrimo rezultatai .....	37
3.3 Sudėtingos formos talpos tyrimo rezultatai .....	39
3.4 Sudėtingos formos 19 litrų talpos tyrimo rezultatai .....	44
3.5 55 litrų talpos tyrimo rezultatai.....	51
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI .....	53
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	54
PRIEDAS .....	55
Priedas 1. 55-ių litrų tiriamojo objekto rezultatų lentelė .....	55
Priedas 2. Signalo generavimo ir priėmimo kodas .....	56

## ĮVADAS

Nuo seno žmonės įvairiose talpose, statinėse laikė įvairius skysčius, vandenį. Sukauptas geriamasis vanduo žmonėms būdavo labai svarbus, todėl norint stebėti likusį kiekį vandens, buvo sugalvoti įvairūs skysčių lygio stebėjimo būdai.

Šiais laikais skysčio lygiai matuojami dėl kelių priežasčių. Viena iš priežasčių yra tiesioginis vandens tiekimas žmonėms. Reikia stebėti vandens bokštų užpildymo lygį, kad vartotojams būtų pastoviai tiekiamas vanduo. Kita priežastis yra susijusi su brangiais skysčiais ir jų naudojimu. Vienas iš tokių skysčių yra transporto priemonių kuras.

Dažnai pasitaiko, kad autobusų ar tolimųjų reisų vairuotojai, norėdami papildomai užsidirbti, pardavinėja iš bako nusipiltą kurą, o tokie veiksmai tampa nuostoliais įmonei. Norint sumažinti kuro vagystes, įmonėse pradėta stebėti sunaudojamo ir likusio kuro lygį. Naudojant įprastas invazines tūrio matavimo priemones ir daviklius, yra sunku išmatuoti kuro lygį bake, o perpilant kurą į kitą talpyklą darbas yra neefektyvus ir užtrunka daug laiko. Šiuo atveju skysčio tūriui nustatyti padėtų neinvaziniai metodai.

Šio darbo tikslas yra ištirti ir pasiūlyti neinvazinį skysčio kiekio nustatymo talpykloje būdą. Keliami darbo uždaviniai:

- Išnagrinėti ir palyginti skysčio tūrio nustatymo metodus.
- Pasiūlyti tūrio nustatymo metodą ir parengti jo analitinį modelį
- Atlikti eksperimentus ir įvertinti pasirinkto metodo tikslumą



# 1 TŪRIO MATAVIMO METODAI

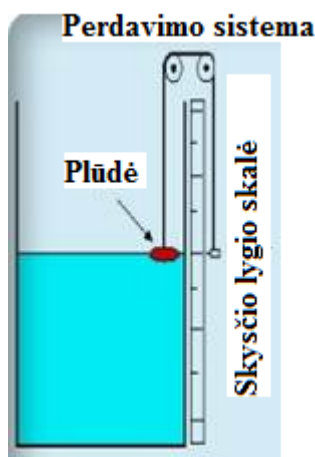
Šioje dalyje aptarsiu tūrio matavimo būdus. Jie yra suskirstyti į dvi pagrindines grupes priklausomai, nuo būdo, kaip tūris yra matuojamas

## 1.1 Invaziniai skysčio matavimo būdai

Dauguma skysčio lygio matavimo būdų ir jais paremti davikliai yra invazinio pobūdžio. Tokie davikliai yra paprastesni, pigesni, dažniausiai naudojami paprastų geometrinės formos talpų užpildymo lygiui įvertinti. Žemiau pateikiama keletas invazinio tipo skysčių lygio įvertinimo metodų.

### 1.1.1 Plūduriuojantys matuokliai

Tradiciniai plūduriuojantys matuokliai yra labiausiai paplitę, kaip skysčio lygio indikatoriai. Šis metodas dažniausiai naudojamas transporto priemonėse nustatyti kuro lygiui bake. Veikimo principas paremtas tuo, kad plūduriuojantis kūnas nustato skysčio, kuris yra talpoje, paviršiaus lygį. Tai reiškia, kad kūno tankis turi būti mažesnis nei skysčio, kuriame jis yra patalpintas, kad galėtų plūduriuoti tam tikro skysčio paviršiuje arba jo paviršiaus plotas turi būti atitinkamo dydžio. Plūduriuojantys lygio matuokliai turi būti suderinti su skysčio cheminėmis savybėmis, kad nebūtų deformuoti ar nereaguotu su skysčiu. Plūduriuojančio skysčio lygio matuoklio pavyzdys pateiktas žemiau esančiame 1.1 paveiksle [1].



1.1 pav. Plūduriuojančio matuoklio veikimo principas [1].

Plūduriuojančių lygio matuoklių paklaidai turi įtakos temperatūros svyravimai, skysčio klampumo pakitimai, tačiau šis metodas yra paprastas ir pigus lyginant su kitais skysčio tūrio matavimo būdais.

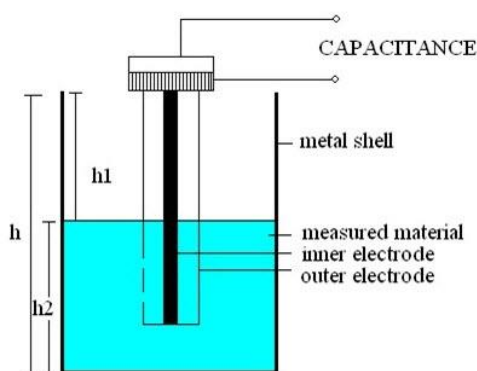
### 1.1.2 Hidrostatinio slėgio metodas

Šis skysčio tūrio nustatymo metodas paremtas skysčio tankiu. Kadangi kiekvienas skystis turi savo tankį, patalpinus slėgio sensorių talpykloje, kurioje laikomas skystis, dugne ir užpildžius

talpyklą, susidaro tam tikras spaudimas/slėgis. Žinant, kokia jėga skystis slėgs talpyklos dugną ir skysčio tankį, galima lengvai suskaičiuoti skysčio užimamą tūrį talpoje.

### 1.1.3 Talpinis metodas

Talpinis metodas yra tikslus metodas išmatuoti skysčio užpildymo lygį talpyklos viduje. Išmatavus talpą tarp dviejų elektrodų, ar tarp indo sienos ir elektrodo, patalpintų į skystį galima sužinoti skysčio užimamą tūrį talpykloje. Kai tarp kondensatoriaus plokštelių atsiranda dielektrinės savybes turintis skystis, kondensatoriaus talpa pakinta. Kuo daugiau skysčio yra tarp elektrodų, tuo kondensatoriaus talpa didesnė. Toks būdas veikia kaip paprastas orinis kondensatorius. Supaprastintas tūrio matavimo talpinio metodu veikimo principas pavaizduotas žemiau esančiame 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Talpinio metodo veikimo principas[2]

Iš antro paveikslo matome, kad prijungus elektrodus prie kintamos srovės šaltinio, kuomet daugiau elektros energijos prateka pro kondensatorių, tuo jo talpa yra didesnė, tai reiškia, kad ir skysčio, kuris yra kaip dielektrikas, yra daugiau. Toks būdas gali būti naudojamas įvairių skysčių lygiui nustatyti, pavyzdžiui įvairioms alyvoms, biokurui, dyzeliniam kurui ir kitiems.

Toks skysčio lygio nustatymo metodas turi pranašumą, kadangi jame nėra jokių mechanškai judančių dalių, todėl matavimo sistemos poveikis terpėje minimalus ir taip padidinamas tikslumas. Pagrindinis trūkumas tas, kad skysčio dielektrinės savybės gali kisti dėl tam tikrų priežasčių ir gauta informacija apie esamą skysčio lygį gali būti iškraipyta [2], [3].

### 1.1.4 Laidumo matavimo metodas

Elektros srovei laidžių skysčių lygis talpoje gali būti išmatuotas pasinaudojant skysčio laidumu. Leidžiant žemos įtampos signalą, per skystį tekės mažos srovės, todėl galima išmatuoti skysčio varžą. Esant skirtingiems indo užpildymo lygiams skirsis ir skysčio laidumas, taigi, tuo naudojantis labai paprastai ir pigiai galima nustatyti skysčio lygį inde, tačiau šis metodas tinkamas tik tuomet, kai skystis yra laidus elektros srovei.

### 1.1.5 Boilio dėsnio paremtas tūrio įvertinimo metodas

Boilio dėsnio paremtas tūrio matavimo metodas susijęs su talpoje esančių dujų pokyčiais. Nusistovėjusios pusiausvyros sutrikdymai, kurie gali būti sukelti staigaus tūrio pokyčio, slėgio ar temperatūros pasikeitimo. Tai sukelia trumpalaikius dujų slėgio ar temperatūros pokyčius talpoje. Naudojant izoterminį suspaudimą, galima išmatuoti dujų tūrį talpoje. Bet koks izoterminis (pastovios temperatūros) pasikeitimas talpos tūryje sukelia slėgio pokytį. Pasinaudojus idealių dujų dėsniu, kuris aprašomas žemiau esančia formule, galima apskaičiuoti indo tūrį.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Dujos yra spūdzios, todėl jas galima lengvai suspausti net ir paprastomis sąlygomis, todėl indo, kuriame yra dujos, tūrį galima išmatuoti su stūmokliu suspaudžiant dujas. Kadangi, panaudojus nedaug jėgos, dujos susispaus, išmatavus stūmoklio pasislinkimą galima išmatuoti, kokią dalį inde sudaro dujos ir kokia indo dalis yra užpildyta.

Didžiausias tokio principo trūkumas tas, kad jei talpoje yra ventiliacijos angos, kurios bus atviros, spaudžiant dujas jos bus išstumtos, todėl nesusidarys slėgis ir neišmatuosime indo talpos [4]-[7].

Šiais laikais yra daug įvairių sprendimų, kaip išmatuoti skysčio ar kitos medžiagos tūrį talpoje, tačiau vis dar yra tam tikrų iššūkių tiksliam lygio nustatymui. Vienas iš tokių pavyzdžių – netaisyklingų, kompleksišku geometrinį formų talpyklos. Didžioji dalis jutiklių, sensorių nustato ribą tarp oro ir medžiagos, tad norint sužinoti užpildymo lygį, reikalinga tiksliai žinoti talpos geometrinę formą. Be to, atsiranda dar viena problema, kadangi dažniausiai medžiagos paviršiaus lygis yra matuojamas vienoje padėtyje, taške. Tai sąlygoja matavimo paklaidas, ypač, jei skystis talpykloje yra nusistovėjęs nelygiai, tai yra, talpykla yra pasvirusi kampu. Taip pat, dauguma sensorių turi būti patalpinti viduje talpos su skysčiu. Daugelį iš aukščiau paminėtų problemų galima išvengti naudojant neinvazinio metodo būdus.

## 1.2 Neinvaziniai skysčio tūrio nustatymo būdai

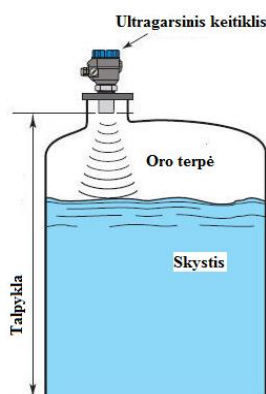
Dažnai reikia išmatuoti skysčio lygį talpoje, kuri yra sandariai uždaryta, ar priėjimas prie ventiliacijos angų yra nepatogus. Naudojant invazines metodus paprastas skysčio lygio išmatavimo darbas gali pasidaryti sudėtingas, užtrukti daug laiko ar tapti išvis neįgyvendinamu. Įvairūs cheminiai, biologiniai, aplinkai pavojingi ar radioaktyvūs skysčiai yra laikomi specialiose, sandariose talpose. Laikui bėgant, reikia įvertinti viduje esančio skysčio lygį, kad būtų žinoma, ar talpa vis dar yra sandari ir ar laikomo skysčio lygis nepakitęs. Taikant neinvazines skysčio tūrio nustatymo būdus, yra įmanoma išmatuoti skysčio lygį net ir sandariai uždarytose talpose, taip pat, matavimas žymiai pagreitėja ir palengvėja. Dažniausiai, neinvaziniai tūrio nustatymo metodai yra paremti ore ar per medžiagas sklindančiomis akustinėmis bangomis. Žemiau pateikti neinvaziniai skysčio tūrio nustatymo būdai.

### 1.2.1 Ultragarso metodas

Vienas iš metodų, kuriuo galima įvertinti skysčio lygį yra pasinaudojant ultragarsiniais keitikliais.

Ultragarso – tai bangos, kurių dažnių diapazonas yra nuo 20kHz iki 10GHz, todėl tokios bangos lengvai gali pereiti per įvairias medžiagas ir atsispindėti, jei staigiai pasikeičia medžiagų savybės: medžiagų tankis  $\rho$  –  $\text{kg/m}^3$ , temperatūrų skirtumai. Šis metodas naudojamas nustatant talpoje esančios medžiagos užimamą turį, tiek medžiagai esant skystai, tiek kietai.

Išsiuntus ultragarso signalą iš keitiklio, laukiamas atspindys nuo medžiagos paviršiaus. Priėmus atsispindėjusį signalą su tuo pačiu ar kitu keitikliu, randamas laiko skirtumas tarp išsiųsto ir atsispindėjusio signalo ir apskaičiuojamas akustinių bangų nueitas kelias, taip nustatant talpos užpildymo lygį. Įprastinis matavimo būdas, naudojant ultragarsinius keitiklius, pavaizduotas 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Lygio nustatymo būdas naudojant ultragarsinius keitiklius [7]

Ultragarso lygio nustatymo metodas pasižymi tuo, kad keitiklius galima įtaisyti tiesiai į talpyklą. Sandariose talpyklose skysčio lygiui nustatyti naudojami paviršiniai ultragarsiniai

keitikliai. Skenuojant per talpos paviršių su tokiais keitikliais galima aptikti viduje esančio skysčio lygį.



1.3 pav. Paviršinis skysčio lygio nustatymas [9]

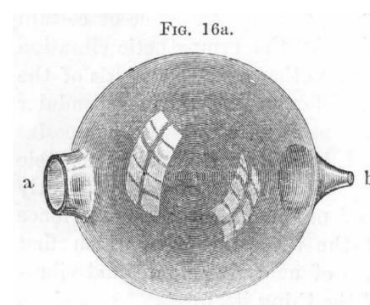
Taikant įvairius signalo generavimo apdorojimo algoritmus ar skirtingas signalo moduliacijas, ultragarsiniais keitikliais galima tiksliai išmatuoti talpoje esančios medžiagos ar skysčio lygį [7]-[10].

Pagrindinis trūkumai tai, kad akustinių bangų greitis sklindant ore priklauso nuo temperatūros, todėl reikia papildomai matuoti oro temperatūrą talpykloje, kurioje yra ultragarsinis keitiklis. Nustatyti medžiagos lygį, kuri slopina garsą ar sugeria įvairias vibracijas, yra pakankamai sunku, nes tik maža signalo dalis atsispindi nuo jos paviršiaus. Įvairios dulkės, putos, smėlio dalelės ar garai gali atspindėti išsiųstą signalą, todėl bus priimti klaidingi duomenys.

### 1.2.2 Helmholco rezonatoriaus metodas

Buityje, kasdiniame gyvenime visi esame susidūrę su Helmholco rezonatoriais. Įvairi garso technika, garso kolonėlės, muzikos instrumentai ar architektūros akustikos subtilybės veikia, kaip Helmholco rezonatoriai. Jie padeda sustiprinti tam tikro dažnio garso dedamąsias, ar atvirkščiai padeda nuslopinti nereikalingus dažnius.

Helmholco rezonansas – tai yra oro dujų rezonanso reiškinys, kurio metu yra naudojamas tam tikros formos indas. Generuojamo signalo stipris, amplitudė yra didžiausia rezonansinio dažnio metu. Rezonansinis dažnis Helmholco generatoriaus yra nusakomas pagal indo talpos tūrį ir kaklelio parametrus. Helmholco rezonatoriaus/generatoriaus pavyzdys pateiktas 1.4 paveiksle.



1.4 pav. Helmholco rezonatoriai [16]

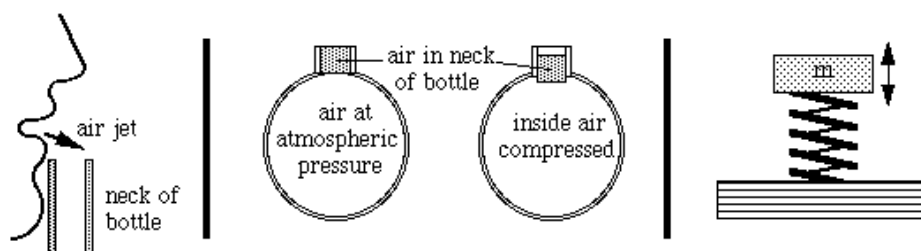
Iš paveikslo matome, kad Helmholco rezonatorius yra apskritimo formos indas su siaurėjančiu kakleliu viename gale ir platesniu kaklu kitame gale.

Nebūtinai Helmholco rezonatorius turi būti toks, kaip aukščiau pavaizduotame paveiksle. visiems gerai žinomas Helmholco generatoriaus konfigūracija yra tuomet, kai oras pučiamas per tuščio butelio viršų ir taip sukuriamas tam tikro dažnio muzikos tonas.

Helmholco rezonatoriaus veikimas yra ganėtinai paprastas. Kaip pavyzdį imkime tuščią butelį. Pučiant orą per butelio viršų, dalis oro patenka į butelio vidų. Patekęs oras viduje esančias dujas (orą) pradeda spausti tol, kol viduje susidaro slėgis, didesnis už įeinančio oro. Kai butelio viduje slėgis padidėja, dalis oro dujų išsiveržia laukan per kaklelį ir viduje slėgis sumažėja. Dėl slėgio pakitimų, oro srautas tai patenka, tai išsiveržia iš butelio taip sukeldamas savuosius virpesius, kurie pasireiškia girdimu tonu. Helmholco rezonatoriaus/generatoriaus veikimą galima apibūdinti, kaip svarelį ir spyruoklės sistemą, kurio vibravimo dažnis aprašomas tokia matematine išraiška:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (2)$$

čia  $k$  – spyruoklės standumas,  $m$  – svarelį masė,  $f$  – virpėjimo dažnis. Helmholco rezonatoriuje spyruoklės standumas yra prilyginamas indo tūriui, o svarelį masė yra indo kaklelio ilgis ir plotis.



1.5 pav. Helmholco rezonatoriaus veikimo principas [16]

Helmholco rezonatoriumi paremtos sistemos dažniausiai naudojamos slopinti tam tikro dažnio dedamąsias ar praleisti tik tam tikrą dažnį. Tokios sistemos veikia kaip įvairūs akustiniai filtrai, kurie naudojami tiek pramonėje, tiek transporto priemonės, tiek garso kolonėlėse ar įvairiuose akustiniuose instrumentuose [11],[12].

Naudojantis Helmholco rezonatoriaus principu, galima įvertinti ir talpos tūrį. Kaip pavyzdį imsime tuščią butelį. Pučiant orą per butelio kaklelio paviršių, gaunamas oro virpėjimas, kuris pasireiškia girdimu garsu. Keičiant butelio tūrį, pripilant vandens, keičiasi ir oro virpėjimo dažnis. Matuojant oro virpėjimo dažnį ir remiantis Helmholco rezonatoriaus principu, galima išmatuoti talpoje esančios medžiagos ar skysčio užimamą tūrį. Vienas pagrindinių trūkumų, kad virpėdamas oras skatina ir indo sienelių virpėjimą, todėl dalis signalo energijos yra prarandama ir rezonansinis dažnis gali būti nustatytas klaidingai, taip sukuriant klaidingus tūrio matavimo rezultatus [4],[13]-[16].

## 2 AKUSTINIŲ BANGŲ METODAS

Akustines bangas sukuria dalelės, svyruojančios išilgai bangų sklidimo krypties ir sudarančios didelio (sutankėjimai) bei mažo slėgio (praretėjimai) sritis. Jos sklinda įvairiomis terpėmis: kietais kūnais, skysčiais ir dujomis, todėl akustinių bangų panaudojimas yra pakankamai platus. Vienas iš panaudojimo būdų yra įvertinant talpos tūrį. Tiksliau, tai yra tūrio įvertinimo metodas, kuris paremtas akustinių bangų rezonansu. Helmholco rezonatorius – akustinių bangų rezonatorius. Apie šį akustinių bangų rezonatorių toliau kalbėsiu savo darbe.

### 2.1 Helmholco rezonatoriaus metodas

Helmholco rezonansui pasireikšti reikia kelių indo savybių, tai yra, indas turi turėti pakankamo ilgio ir skersmens kaklelį. Įprastiniai stikliai vyno buteliai idealiai tinka sukuriant Helmholco rezonansui. Kadangi šis akustinių bangų rezonanso metodas yra fizikinis reiškiny, tai tiek sugeneruotą dažnį, tiek pagrindinius indo parametrus galima aprašyti matematinėmis formulėmis. Indo generuojamo rezonanso dažnis yra proporcingas garso greičiui ir kvadratinei šakniai iš indo kaklelio skerspjūvio ploto, padalinto iš viso indo tūrio ir kaklelio ilgio. Rezonansinio dažnio formulė (3) pateikiama žemiau.

$$f_{res} = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{s_p}{V_c \cdot l_p}}, \quad (3)$$

čia:  $c$  – akustinių bangų greitis ore,  $s_p$  – indo kaklelio skerspjūvio plotas,  $V_c$  – indo tūris,  $l_p$  – indo kaklelio ilgis.

Indo kaklelio skerspjūvio plotas randamas pagal formulę:

$$s_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (4)$$

čia:  $d$  – tai indo kaklelio vidinis skersmuo.

Realybėje indo sukurtas rezonansas pasireiškia tam tikru atstumu nuo indo kaklelio, todėl, remiantis šaltiniais [13] ir [15], įvedama indo kaklelio ilgio korekcija, kuri leidžia padidinti matavimų tikslumą.

Kaklelio ilgio korekcija pateikta (5) formulėje:

$$l'_p = l_p + 0.6 \cdot \frac{d}{2} + \frac{8}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{d}{2}. \quad (5)$$

Įpylus į indą skysčio ar kito medžiagos, jo tūris pasikeičia, todėl ir rezonansinis dažnis pasislenka į aukštesnius dažnius. Eksperimentiniais būdais nustatčius  $f_{res}$  dažnį ir pasinaudodami

tiek (3) tiek (5) formule galime rasti indo ir inde esančios medžiagos užimamą tūrį. Indo savitąjį tūrį apskaičiuojame pagal formulę (6). Skysčio ar kitos medžiagos inde užimamas tūris randamas pagal formulę (7),

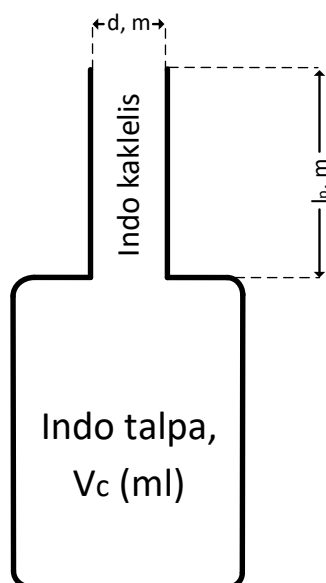
$$V_c = \frac{s_p}{l_p' \cdot \left(\frac{2\pi \cdot f_{res}}{c}\right)^2}, \quad (6)$$

čia:  $V_c$  – apskaičiuotas indo/talpos tūris.

$$V_p = V_c - \frac{s_p}{l_p' \cdot \left(\frac{2\pi \cdot f_{res}}{c}\right)^2}, \quad (7)$$

čia:  $V_p$  – apskaičiuotas medžiagos užimamas tūris inde.

Pateikiamame 2.1 paveiksle schematiškai pavaizduota talpykla ir fiziniai dydžiai kurie reikalingi rezonansiniam dažniui apskaičiuoti, ar sukurti.



**2.1 pav.** Formulėms naudojami indo/talpyklos geometriniai parametrai

Iš formulės (3) matome, kad gaunamas rezonanso dažnis priklauso nuo trijų talpyklos ir vieno aplinkos parametru.

Dažnio priklausomybė nuo indo/talpyklos parametru:

- savitojo tūrio,
- talpos kaklelio ilgio,
- kaklelio vidinio diametro.

Ilginant talpyklos kaklelio ilgį rezonansinis dažnis žemėja, taip pat kaip parenkant didesnio tūrio talpyklą. Didinant talpyklos kaklelio vidinį diametru gauname, kad rezonansas slenka į



aukštesnius dažnius, todėl derinant kaklelio ilgį ir vidinį skersmenį galime bet kokio tūrio talpyklai padaryti rezonansinį dažnį mums norimame dažnių ruože, tiek nuleidžiant rezonansą į žemus dažnius, tiek jį pakeliant į aukštus dažnius.

Didinant išmatuotos medžiagos/skysčio užimamą tūrį talpoje reikia įvertinti tai, kad akustinių bangų greitis priklauso nuo aplinkos temperatūros. Garso bangų greitis ore 20° C laipsnių temperatūroje yra 343 metrai per sekundę. Norint gauti tikslesnius duomenis, ore sklindančių bangų greičiui apskaičiuoti reikia taikyti tokia formulę:

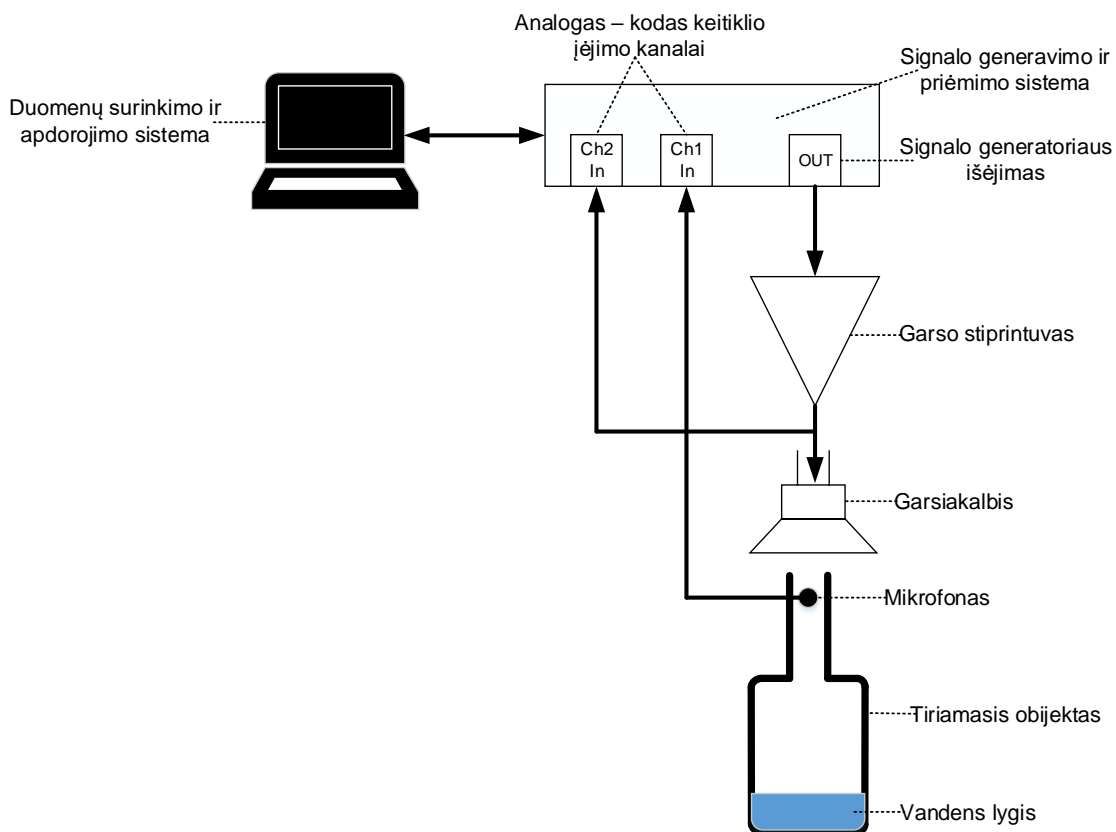
$$c = 331.6 + 0.606 \cdot \Theta, \quad (8)$$

čia,  $\Theta$  - tai oro temperatūra Celsijaus laipsniais.

Žinodami, kokių geometrinių savybių turi būti talpykla/indas, kad būtų gaunamas akustinis rezonansas, ir, kaip apskaičiuoti talpyklos tūrį ir jame esančios medžiagos/skysčio užimamą talpą žinant rezonansinį dažnį ir pagrindinius talpyklos parametrus, galime atlikti eksperimentus.

## 2.2 Akustinių bangų metodo tyrimo įranga

Tyrimams atlikti ir duomenims surinkti buvo naudojamas „Handyscope HS3“ kuris buvo valdomas naudojant „MATLAB“ programinės įrangos paketu, todėl surinkti duomenys buvo iš karto apdorojami ir rezultatai, grafikai pateikiami į kompiuterio ekraną. Handyscope HS3 buvo pasirinktas, nes turėjo išėjimo kanalą – generatorių ir du įėjimo kanalus. Pirmiems eksperimentams naudojau tik vieną įėjimo kanalą, vėlesniems tyrimams reikės dviejų kanalų. Akustinėms bangoms kurti naudojamas žemų – vidutinių dažnių garsiakalbis, todėl generatoriaus sukurtas signalas buvo sustiprintas panaudojant garso stiprintuvą. Išskirtiniai parametrai stiprintuvui nebuvo keliami, tačiau norint visą talpos nustatymo įrangą pritaikyti naudoti automobilių pramonėje reikia, kad sistema veiktų nuo 12V ar 24V įtampos šaltinio. Toliau pateikiama eksperimentinės įrangos struktūrinė schema.



2.2 pav. Eksperimento atlikimo struktūrinė sistema

Signalų generavimo ir informacinių duomenų sistemai, kaip ir minėta, naudota „Handyscope HS3“ įrenginį. Šio įrenginio savybės:

- 12 bitų analogas – kodas keitiklis (AKK/ADC),
- 12 bitų kodas – analogas keitiklis (KAK/DAC),
- 2 AKK įėjimo kanalai,
- Galimybė valdyti naudojant „MATLAB“ programinį paketą.

Kadangi šį įrenginį galima valdyti naudojant kompiuterį ir „MATLAB“ programinį paketą, tai duomenų surinkimas ir jų apdorojimas paprastėja ir galima suprogramuoti įrenginį taip, kaip norime, kad jis dirbtų. Išnaudojami abu AKK kanalai, vienas kanalas skirtas atraminiam signalui gauti, jis paimamas garso stiprintuvo išėjime. Antrasis kanalas skirtas priimti tiriamojo objekto skleidžiamą rezonansinį dažnį, tai padaroma panaudojant mikrofoną.

Šiame etape nebuvo keliami specialūs reikalavimai tiek duomenų surinkimo sistemai, tiek garso stiprintuvui, todėl dėl paprastumo ir patikimumo buvo pasirinkta naudoti garso stiprintuvo modulį – „TDA7294“. Pagrindinės šio stiprintuvo savybės:

- Maži netiesiniai iškraipymai (THD),
- Maži triukšmai,
- Trumpo jungimo apsauga,
- Galimybė jungti tiek  $4\Omega$ , tiek  $8\Omega$  garsiakalbius,

- Platus maitinimo įtampos diapazonas nuo  $\pm 10V$  iki  $\pm 40V$ .

Tyrimo sistemoje mikrofonas yra talpinamas į tiriamojo objekto vidų, todėl vienas iš pagrindinių mikrofono parametrų buvo jo dydis. Atsižvelgiant į dydį buvo parinktas mini – elektrinis mikrofonas, kurio parametrai:

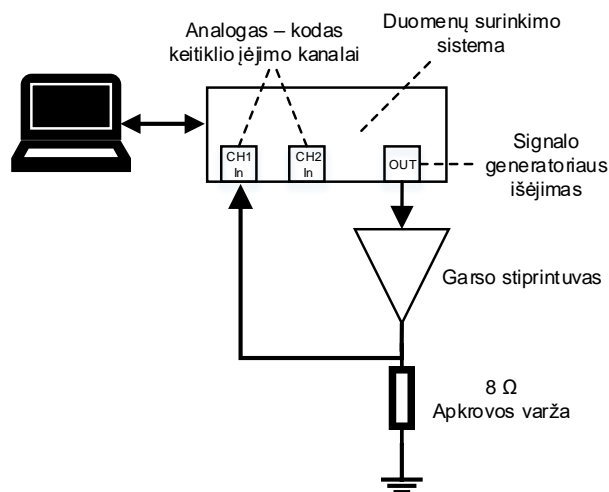
- Santykis signalas/triukšmas 60 dB,
- Jautrumas -52 dB,
- Maitinimo įtampa iki 2V,
- Dažnių juosta 50 – 16kHz.

Kadangi mikrofonas maitinamas 2 V įtampa, sustiprinto signalo lygis stiprintuvo išėjime neturi viršyti 2 V. Jei išėjimo signalo įtampa bus artima 2 V, naudodami mikrofoną neatskirsim kur yra rezonansas, signalas bus apribotas įtampos atžvilgiu.

### 2.3 Eksperimentinės įrangos dažninė charakteristika

Prieš atliekant tūrio matavimo eksperimentus buvo ištirta eksperimentinė sistema: garso stiprintuvas, garsiakalbis ir mikrofonas. Tariant sistemą buvo nuspręsta, kad būtų panaikintos įvairios paklaidos, padidintas tikslumas ir išsiaiškinti ar neatsiranda pasikartojančių klaidų, tokių, kaip klaidingas išstatytas generatoriaus dažnis.

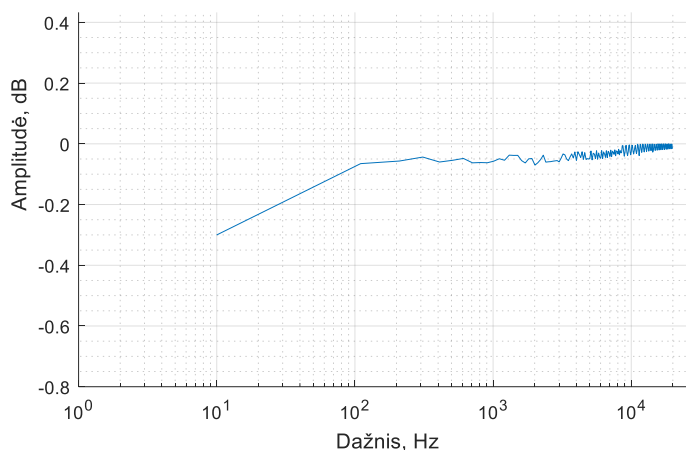
Tariant eksperimentinę sistemą, pirmiausiai buvo ištirta stiprintuvo dažninė charakteristika ir išėjime sustiprintas signalas. Stiprintuvo tyrimo struktūrinė schema pavaizduota 2.3paveiksle.



2.3 pav. Signalo stiprintuvo testavimo struktūrinė schema

Iš paveikslo matome, kad stiprintuvo tyrimo schema yra paprasta, ją sudaro signalo generatorius, tiriamasis objektas, tai yra garso stiprintuvas, rezistyvinė apkrovos varža, kuri yra lygi  $8 \Omega$ , ir duomenų priėmimo sistema. Stiprintuvo dažninė charakteristika buvo tiriama nuo 10 Hz iki 1 kHz. Žemesnio dažnio, nei 10 Hz nustatyti negalėjau, nes naudojamas maitinimo

šaltinis pradeda riboti įtampą, kai norime stiprinti žemus dažnius, kitaip tariant, sustiprinant žemus dažnius stiprintuvui reikia daug srovės, maitinimo šaltinis tokios srovės palaikyti negali, todėl yra žeminama maitinimo įtampa, kad būtų atiduotas reikiamas kiekis vartojamos srovės. Maksimalus tyrimo dažnis buvo nustatytas 20 kHz, gauta stiprintuvo dažninė charakteristika, pavaizduota 2.4 paveiksle.

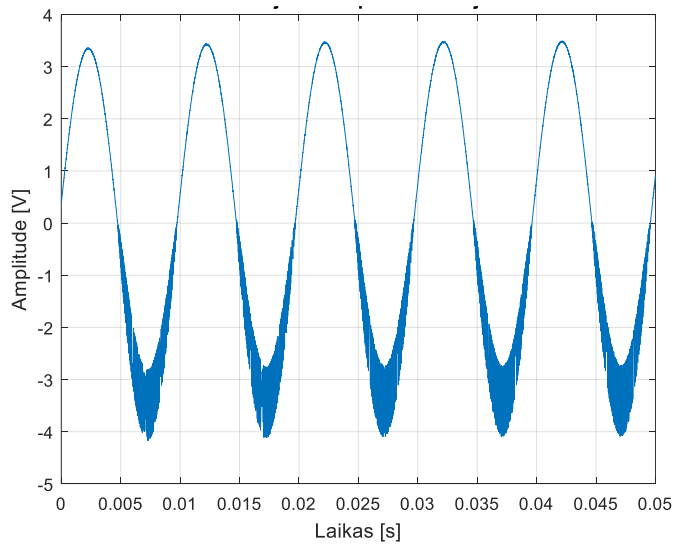


**2.4 pav.** Stiprintuvo dažninė charakteristika nuo 10 Hz iki 20 kHz.

Iš 3.4 paveikslo matome, kad stiprintuvo dažninė charakteristika yra beveik plokščia. Pagal visus reikalavimus stiprintuvo atkuriamų dažnių juosta yra dažnių ribose, kai minimalaus ir maksimalaus dažnio amplitudė nenukrenta žemiau -3 dB nuo maksimalios reikšmės. Iš paveikslo matome, kad matuojamas dažnių diapazonas maksimaliai nukrenta tik apie -0,3 dB nuo maksimalios reikšmės. Tolimesniems eksperimentams reikalingas dažnių diapazonas pagal teorinius skaičiavimus turėtų tilpti į daug siauresnį diapazoną nei išmatavau stiprintuvo dažninėje charakteristikoje.

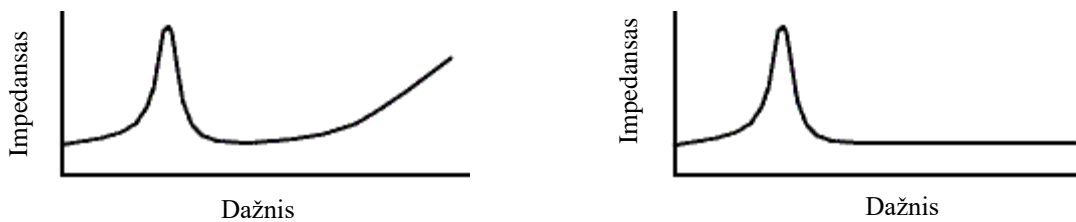
Dėl nedidelių stiprintuvo amplitudės svyravimų dažnių juostoje, tolimesniems eksperimentams stiprintuvo dažninė charakteristika nedarys įtakos, nes matuojamuose žemuose dažniuose amplitudė nenukrenta tiek, kad reiktų įvertinti stiprintuvo įnešamą netiesiškumą. Stiprintuvo dažninę charakteristiką iširti reikėjo, nes buvo norima nustatyti, ar jis sugeba atkurti ir sustiprinti žemus dažnius.

Prijungus garsiakalbį prie garso stiprintuvo išėjimo buvo pastebėta, kad išėjime harmoninis signalas yra nešvarus, turi aukšto dažnio dedamųjų. Gautas triukšmaujantis harmoninis signalas pavaizduotas 2.5 paveiksle.



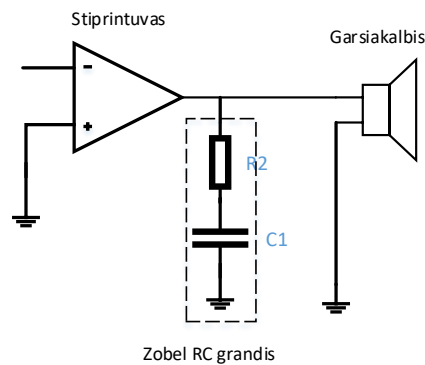
**2.5 pav.** Generuojantis garso stiprintuvo signalas

Priežastis, dėl kurios atsirado aukšto dažnio triukšmai yra ta, kad prijungus garsiakalbį prie stiprintuvo išėjimo, garsiakalbio ritė sistemai įneša induktyvumo poveikį. Garso stiprintuvai stabiliausiai dirba, kai apkrova yra rezistyvinė, pakitus apkrovos pobūdžiui stiprintuvai pasidaro nebestabilūs ir nesusidoroja su induktyvumo keliamais iškreipymais dažnių juostoje. Paversti garsiakalbio induktyvinę apkrovą rezistyvine yra naudojama Zobel grandis [17].



**2.6 pav.** Garsiakalbio impedansas be ir su Zobel grandimi [17]

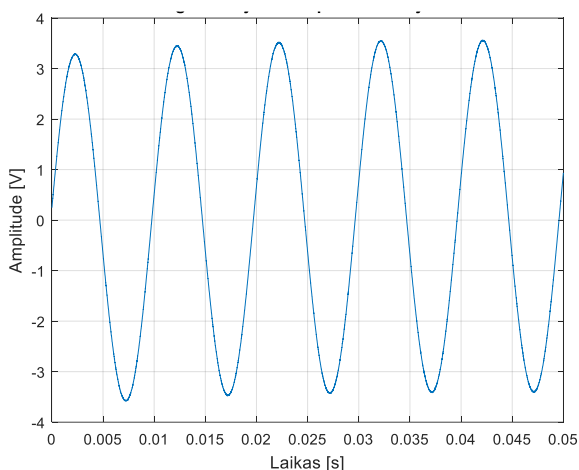
Ši grandis susideda iš varžos ir kondensatoriaus (RC) ir yra jungiama lygiagrečiai su garso garsiakalbiu, kad būtų sumažinamas ritės induktyvinis poveikis. RC Zobel grandis pavaizduota 2.7 paveiksle.



**2.7 pav.** Zobel RC grandis ir jungimas

Prijungus RC grandį lygiagrečiai garsiakalbiui gauname, kad stiprintuvas garsiakalbį mato kaip rezistyvine apkrovą visame dažnių diapazone ir taip padidinamas garso stiprintuvo

stabilumas. Panaudojus Zobel grandį gauname švarų harmoninį signalą, kuris pavaizduotas toliau esančiame paveiksle.



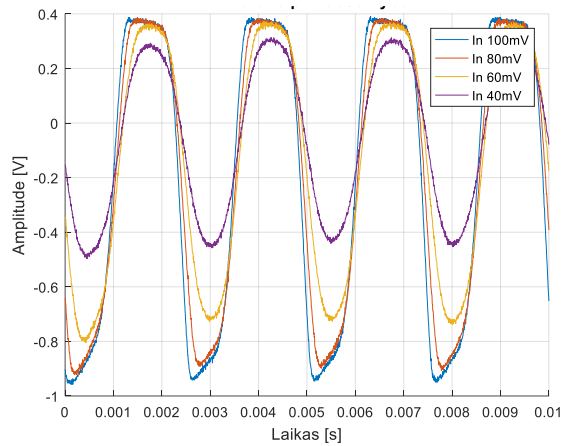
**2.8 pav.** Švarus harmoninis signalas

Iš 2.8 paveikslo matome, kad lygiagrečiai prijungus RC grandį generuojamas harmoninis signalas neturi aukšto dažnio triukšmų, kurie yra sukeliami garsiakalbio ritės induktyvumo.

Ištyrus stiprintuvo dažninę charakteristiką ir prijungus lygiagrečiai garsiakalbiui RC grandį, toliau buvo tiriama garsiakalbio ir mikrofono dažninė charakteristika. Prieš atliekant tyrimą buvo nuspręstos dažnių diapazono ribos, kurios buvo nuo 10 Hz iki 1 kHz. Tokios ribos parinktos todėl, nes atlikus teorinius skaičiavimus nustatyta, kad didesnių talpų rezonansiniai dažniai telpa į užsibrėžtą dažnio diapazoną. Buvo atlikti dveji matavimai, vienas skirtas garsiakalbio dažninei charakteristikai nustatyti, kitas matavimas nustatyti dažninę charakteristiką sistemos, kuri susideda iš garsiakalbio ir mikrofono.

Prieš atliekant matavimą pirmiausiai reikia išsiaiškinti, kokią maksimalią signalo amplitudę gali generuoti generatorius, kad sustiprinus signalą stiprintuvu ir prijungus garsiakalbį su mikrofonu, mikrofono priimtas signalas nebūtu amplitudės atžvilgiu užribotas.

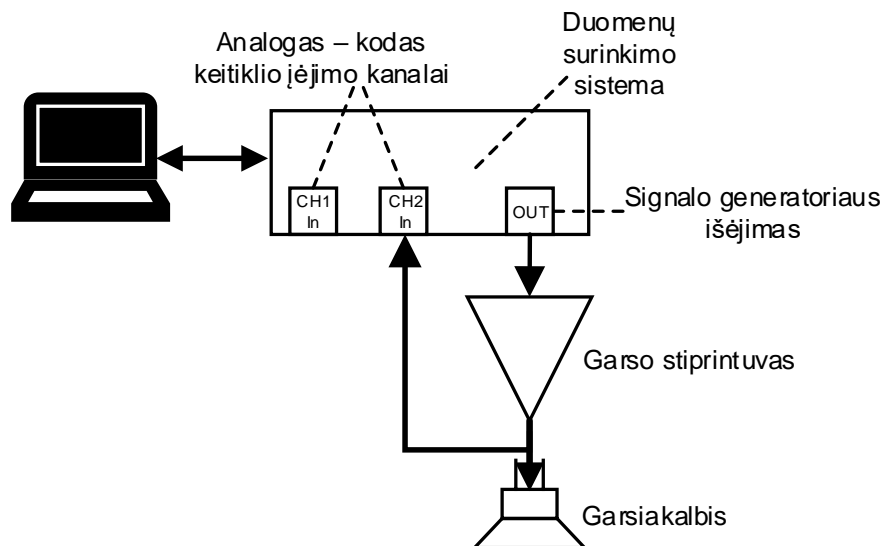
Mikrofonas yra laikomas 2 centimetrų atstumu nuo garsiakalbio membranos. Dažnis parinktas 100 Hz. Gauti rezultatai pateikiami 2.9 paveiksle.



**2.9 pav.** Mikrofono priimamo signalo priklausomybė, nuo įėjimo signalo, kai  $f=100$  Hz

Iš atlikto eksperimento matome, kad priimamas mikrofono signalas amplitudės atžvilgiu nėra išsikraipęs, kai į garso stiprintuvą paduodame 40 mV įėjimo signalą. Realiai, ir 60 mV įėjimo signalas tiktų, nes jis minimaliai užribojęs amplitudės atžvilgiu, tačiau rezonanso atveju, rezonansinio dažnio generuojama amplitudė gali viršyti mikrofono priimamo signalo amplitudę ir signalas bus užribotas amplitudės atžvilgiu. Taip pat matome, kad mikrofonu priimtas signalas turi neigiamą nuolatinę dedamąją, tai yra signalas yra pasislinkęs į neigiamą amplitudės sritį.

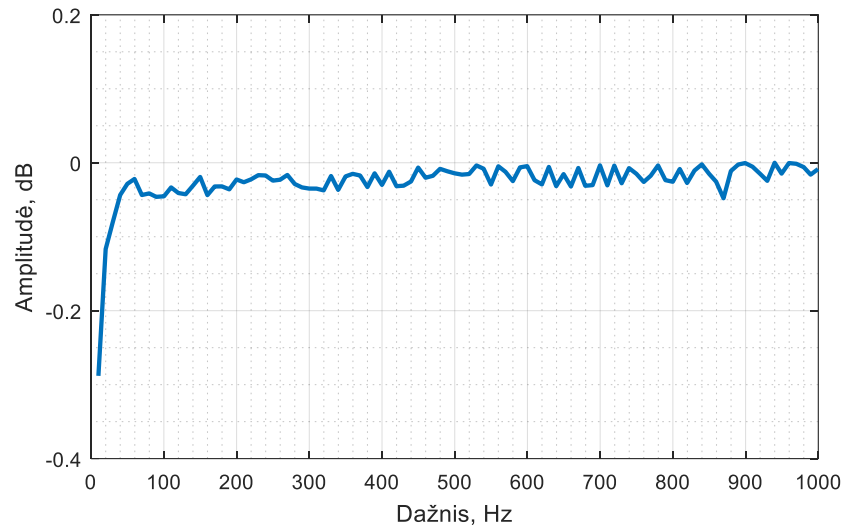
Išsiaiškinus, kokios amplitudės signalą reikia generuoti, buvo atliekami tolimesnis eksperimentinės įrangos testavimas. Abiejų matavimų (vieno garsiakalbio ir garsiakalbio su mikrofonu) buvo naudojamas tas pats stiprintuvas, įėjimo signalas 40 mV ir dažnių diapazonas nuo 10 Hz iki 1 kHz. Pirmojo matavimo struktūrinė schema pateikiama 2.10 paveiksle.



**2.10 pav.** Garsiakalbio tyrimo struktūrinė schema

Pirmuoju matavimu signalas buvo paimamas nuo garsiakalbio membranos kontaktų išvadų. Taip buvo norima iširti tik garsiakalbio dažninę charakteristiką. Taip pat šis matavimas buvo susijęs su tuo, kad matuojant tūrį inde rezonanso metu turėtų pakisti ir signalo amplitudė ant

garsiakalbio išvadų, nes rezonanso metu inde virpantis oras virpina ir garsiakalbį, taip padidinant garsiakalbio membranos virpėjimo amplitudę ir signalas garsiakalbio atvaduose turėtų pakisti. Garsiakalbio dažninė charakteristika, išmatuota nuo membranos kontaktų išvadų, pavaizduota toliau esančiame paveiksle.

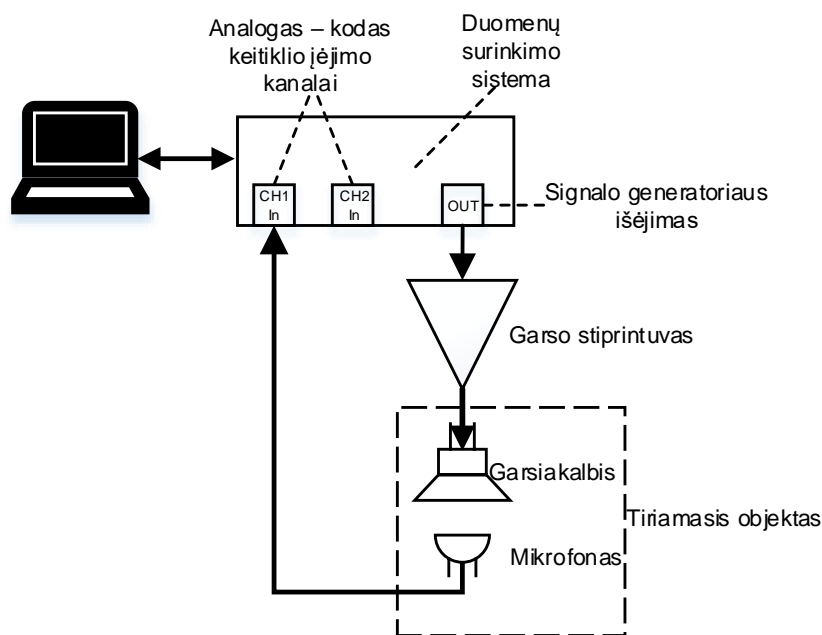


**2.11 pav.** Garsiakalbio dažninė charakteristika

Išmatavus amplitudę ant garsiakalbio išvadų, pastebėjau, kad dažninė charakteristika yra beveik tokia pati, kaip ir stiprintuvo dažninė charakteristika. Iš paveikslo 2.11 matome, kad ties 10 Hz dažniu, amplitudę gauname apie 0,3 dB mažesnę, nei maksimali amplitudės vertė visame matavimo diapazone, tai yra nuo 10 Hz iki 1 kHz. Gautoji kreivė bus kaip kompensuojamoji kreivė, kai bus norima rasti rezonansinį dažnį naudojant tik garsiakalbį.

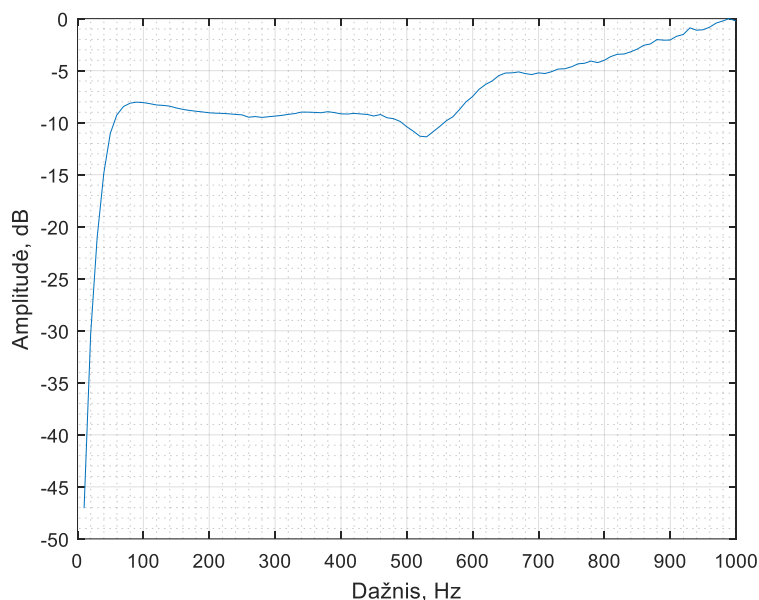
Antruoju atveju buvo tiriama ne tik garsiakalbio dažninė charakteristika, bet ir mikrofono ir tai sudarė, kaip vieną sistemą. Struktūrinė schema pavaizduota žemiau esančiame paveiksle.





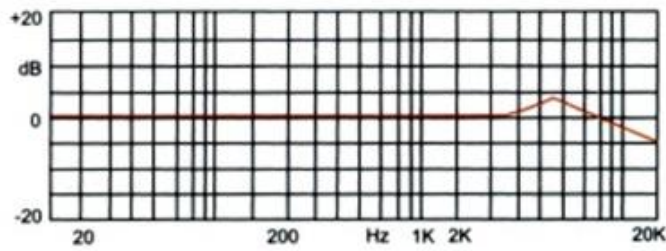
2.12 pav. Struktūrinė garsiakalbio ir mikrofono tyrimo schema

Blokinę schemą sudaro signalo generatorius, garso stiprintuvas, tiriamasis objektas, tai yra garsiakalbis ir mikrofonas, ir duomenų surinkimo sistema. Kaip ir anksčiau atliktame garsiakalbio dažninės charakteristikos tyrime, buvo nustatomi tokie patys parametrai, tai dažnių ruožas nuo 10 Hz iki 1 kHz ir generatoriaus signalo amplitudė 40 mV. Gauti rezultatai pavaizduoti žemiau esančiame paveiksle.



2.13 pav. Garsiakalbio su mikrofonu dažninė charakteristika

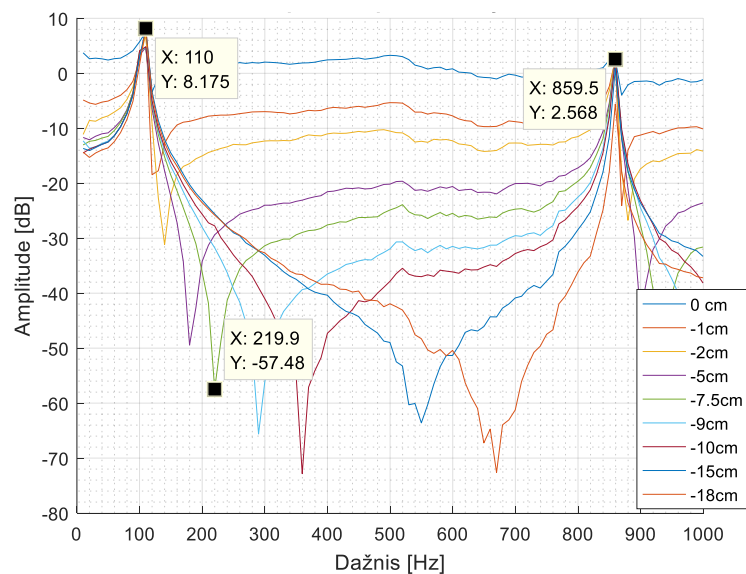
Ištyrus garsiakalbio su mikrofonu dažninę charakteristiką gavome grafiką, kuris atitinka realią situaciją, tai yra žemuose dažniuose turime stiprų slopinimą, didėjant dažniui amplitudė didėja. Žemiau pavaizduojama mikrofono dažninė charakteristika, kuri yra pateikiama gamintojų.



2.14 pav. Mikrofono dažninė charakteristika [18]

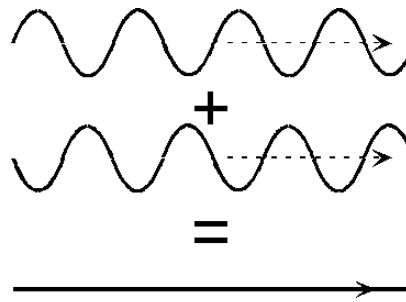
Iš anksčiau buvusio paveikslo matome, kad mikrofono dažninė charakteristika dažnių diapazone nuo 10 Hz iki 1 kHz yra tiesi. Taigi galime daryti išvadą, kad eksperimentams skirtoje sistemoje daugiausiai iškraipymų bus dėl garsiakalbio negalėjimo atkurti žemų dažnių ir jo kreivos dažninės charakteristikos. Norint sužinoti, ar tikrai mikrofono dažninė charakteristika yra tokia tiesi, kaip pateikiama gamintojų grafike, reikia patiems tai išsitiirti.

Prieš atliekant eksperimentus buvo iširta rezonanso priklausomybė nuo to, kurioje vietoje yra patalpintas mikrofonas. Eksperimentas atliktas taip: nustatomas norimas dažnių diapazonas, šiuo atveju nuo 10 Hz iki 1 kHz, ir pradedamas matavimas. Baigus matavimą mikrofonas yra nuleidžiamas gilyn į tiriamąjį objektą ir per naujo atliekamas matavimas. Tiriamasis objektas buvo paprastas stiklinis butelis, kuris yra pavaizduotas „Eksperimentų“ skyriuje. Gauti rezultatai yra pavaizduoti 2.15 paveiksle.



2.15 pav. Matavimų rezultatai

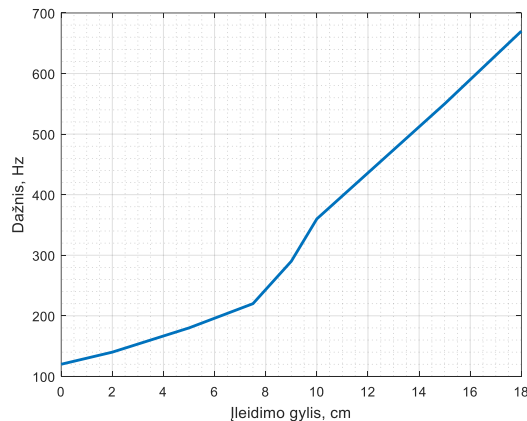
Matavimai buvo atliekami su tuščiu buteliu, kurio rezonansinis dažnis yra apie 107 Hz, iš gautųjų rezultatų matome, kad šiuo atveju rezonansinis dažnis yra 110 Hz. Taip pat galime pamatyti, kad gauname antirezonansą, kai tam tikro dažnio signalas yra smarkiai slopinamas. Antirezonansas yra sukuriamas, kai skleidžiamas ir atsispindėjęs signalas yra skirtingų fazių ir signalai vienas kitą kompensuoja, tokia situacija pavaizduota žemiau esančiame paveiksle.



**2.16 pav.** Destruktyvi interferencija [19]

Tokia signalų interferencija, kai signalai vienas kitą panaikina, vadinama destruktiviąja interferencija. Kadangi jos maksimumas, tai yra signalo maksimalus nuslopinimas, yra tam tikrame dažnyje, tai galime panaudoti tūrio vertinimo eksperimentuose.

Dar vienas pastebėjimas, kad signalų interferencijos dažnis priklauso nuo mikrofono patalpavimo vietos, ku mikrofonas yra giliau įleistas į tiriamąjį objektą, tuo dažnis yra didesnis.



**2.17 pav.** Anti rezonansinio dažnio priklausomybė nuo įleidimo gylio

Aukščiau yra pateikiamas grafikas, kuris parodo priklausomybę, kaip anti rezonansinis dažnis priklauso nuo įleidimo gylio. Kuo giliau yra įleistas mikrofonas, tuo anti rezonansinis dažnis didėja. Įleidus mikrofoną apie 7,5 cm į tiriamąjį objektą, antirezonansas gaunasi 220 Hz, o tai yra antrosios rezonansinio dažnio harmonikos dažnis. Iš 2.17 grafiko matome, kad ties dažniu 860 Hz gaunamas dar vienas rezonansas. Gautas rezonansas yra 8 harmonikos ribose. Taip pat matome, kad pagrindinis rezonansinis dažnis nepriklauso nuo mikrofono padėties tiriamajame objekte.

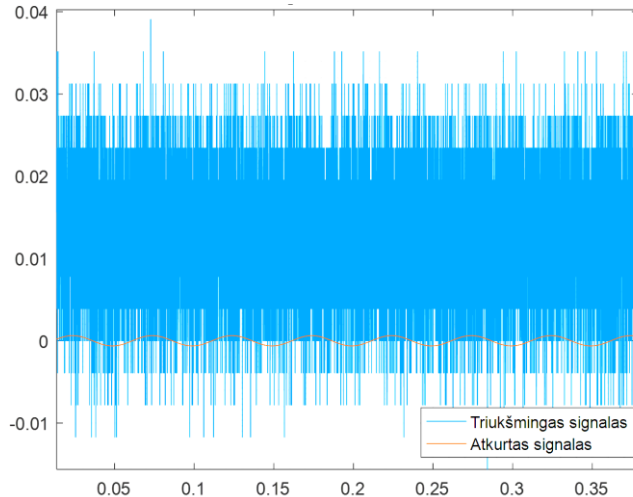
Ištyrus eksperimentams naudojamą garso stiprintuvo, garsiakalbio ir mikrofono dažnines charakteristikas ir išsiaiškinus signalo iškraipymo priežastis galima atlikti tūrio matavimo akustinėmis bangomis eksperimentus.

## 2.4 Signalų apdorojimo metodai

Talpos tūrio įvertinimo eksperimentai buvo atliekami dviem skirtingais signalų apdorojimo metodais.

Pirmas apdorojimo metodas. Kiekvienas sugeneruotas ir mikrofonu priimtas dažnis buvo įrašomas ir atskirai kiekvienas įrašas analizuojamas, tai yra skaičiuojamas signalo spektras, pasinaudojant „MATLAB“ funkcija/algorithmu „*fft - fast Fourier transform*“. Taip apdorojus kiekvieną įrašą, signalai buvo nubraižomi viename grafike ir pasinaudojus funkcija „*peak*“ kiekvienai kreivei randamas didžiausios amplitudės reikšmė. Sudėjus visas didžiausios amplitudės reikšmes gaunamas grafikas, kuris primena signalo gaubtinę ir iš jo randamas rezonansinis dažnis – dažnis su didžiausia amplitude. Šis metodas pasižymi paprastumu, lengva matavimo ir signalo apdorojimo sistema, tačiau matuojant didesnės talpos ar sudėtingos formos talpyklos tūrį gaunamos didelės paklaidos dėl daugybinių rezonansų ir matavimo rezultatai tampa klaidingi ir nenaudingi.

Antrasis signalų apdorojimo metodas paremtas signalų koreliacija. Signalų koreliacija - tai būdas dviejų signalų panašumui įvertinti, taip pat, jei signalas yra paskendęs triukšme ir vizualiai jo nematome, panaudojus signalo koreliaciją, galima triukšme paskendusį signalą išfiltruoti ir naudoti reikiamuose skaičiavimuose.



2.18 pav. Signalų atkūrimas naudojant signalų koreliaciją

Iš pateikto 2.18 paveikslo matome, kaip iš visiškai triukšme paskendusio signalo, naudojant signalų koreliaciją galima išfiltruoti naudingą informaciją, naudingą signalą.

## 2.5 Tyrimų metodika

Naudojantis „MATLAB“ programine įranga, buvo parašyta programa, kuri valdo signalo generatorių ir duomenų surinkimo sistemą. Signalų generatorius generuoja tam tikro dažnio harmoninį signalą. Praėjus užbrėžtam laikui tarpui harmoninio signalo dažnis yra pakeliamas

nustatyta reikšme. Dažnis keliamas iki nustatytos ribos. Programoje yra keturi kintamieji, kurie valdo signalo generatoriaus darbą ir apsprendžia matavimo trukmę ir tikslumą. Žemiau pateikiama generatoriaus paleidimo ir valdymo funkcija.

```
frequency = startFrequency:žingsnis:stopFrequency;  
outSignal = HS3_FuncGen(Const.lstSine, 0.02, 0, frequency(index), 1);
```

**2.19 pav.** Generatoriaus paleidimo funkcija su pagrindiniais kintamaisiais.

- Pradinis dažnis (*angl. - Start frequency*) – tai yra pradžios taškas, nuo kurio pradedami matavimai. Nežinant rezonansinio dažnio, pradinį dažnį patartina nustatyti kuo mažesnę, kad nebūtų peršoktas rezonansas, tačiau reikia įvertinti ir garsiakalbio galimybes. Nustačius per žemą dažnį garsiakalbis nesugebės atkurti norimo signalo ir garso stiprintuvo išėjimas bus šuntuojamas/„trumpinamas“ į nulinių potencialą, tai gali sugadinti tiek garso stiprintuvą, tiek garsiakalbį.
- Pabaigos dažnis (*angl. - Stop frequency*) – pabaigos taškas. Pasiėkus šį dažnį matavimai yra stabdomi ir pradedamos vykdyti duomenų apdorojimo funkcijos.
- Dažnio kitimo žingsnis – jis nustato, koku dažniu padidės generuojamas harmoninis signalas. Nustačius mažą žingsnį, rezonansinį dažnį gausime itin tikslų, tačiau jei dažnių diapazonas tarp pradinio ir pabaigos dažnių yra didelis, matavimai ilgai užtruks. Norint gauti greitai ir tiksliai duomenis dažnio kitimo žingsnį reikia parinkti optimalų.
- Signalų amplitudė – nustato generuojamo harmoninio signalo amplitudę įtampos matavimo vienetais – voltais. Nustačius harmoninio signalo amplitudę generatoriaus išėjime 0,05 V, garso stiprintuvo išėjime gausime 1,5 V harmoninio signalo amplitudę. Rezonanso atveju mes turime dar pakankamą rezervą, kad signalas nebūtų užsiribojęs įtampos atžvilgiu.
- Eksperimentai atlikti dvejais būdais. Vienas būdas yra pateiktas 3.12 paveiksle, naudojant garsiakalbį ir garso stiprintuvą. Antrasis pasiūlytas būdas buvo pasyvinis – tai reiškia, kad nebuvo naudojamas signalo šaltinis, garsiakalbis, garso stiprintuvas ir harmoninio signalo generatorius. Naudojantis 3 formule, teoriškai randamas rezonansinis dažnis. Radus teorinius rezonansinius dažnius tuščiam ir beveik pilnam tiriamajam objektui, parenkamas 0,5 – 1 Hz dažnio žingsnis.
- Naudojant „MATLAB“ programine įranga buvo surinkti ir apdoroti duomenys. Kiekvieno dažnio priimtą signalą atvaizduojame jo spektru. Taip galime pamatyti priimto signalo dažnį ir jo amplitudę. Artėjant rezonansiniam dažniui signalo amplitudė auga, todėl lengviau atskirti kada gaunamas rezonansas. Pasinaudojus

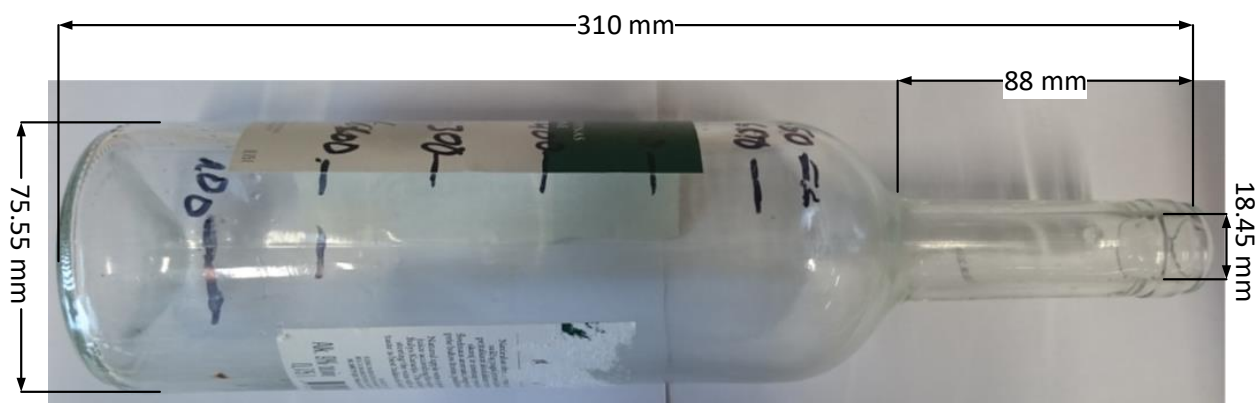
funkcija „*peak*“ iš priimto signalo spektro gauname maksimalią jo reikšmę, taip iš sukauptų duomenų nubraižoma visų matavimo signalų gaubtinė, kurios aukščiausias taškas, pagal amplitudę, atitinka rezonansinio dažnio reikšmę.

- Matavimai buvo atliekami tokia tvarka: išmatuojama tuščios talpos generuojamas rezonansinis dažnis, atliekama 30 matavimų ir naudojantis 7 formule apskaičiuojamas tūris. Kadangi pirmieji matavimai atliekami su tuščiu indu, pasinaudojus 7 formule, dydis  $V_p$  – turi gautis artimas 0, šis dydis parodo inde/talpykloje esančios medžiagos užimamą tūrį. Atlikus matavimą su tuščia tara, į indą skirtingais etapais buvo įpilama pasirinktas vandens kiekis ir kartojami tie patys 30 matavimų, tokia pačia tvarka (pirmasis matavimas nustato rezonansinį dažnį, kiti matavimai tikslumui). Vandens įpylimo tikslumui buvo naudojamos paprastos maistinės svarstyklės, kadangi ne distiliuoto vandens tūris  $\rho$  yra artimas  $1000 \text{ kg/cm}^3$ , tai svarstyklėmis išmatuota įpildo 100 g vandens kiekis su nedidele paklaida atitinka 100 ml vandens.

### 3 TŪRIO NUSTATYMO EKSPERIMENTAI

Pirmiesiems eksperimentams atlikti buvo pasirinktas įprastos formos vyno butelis, nes buvo norima įsitikinti, kad tiek duomenų surinkimo sistema, tiek rezonansinio dažnio nustatymo įranga veikia nepriekaištingai. Vyno butelis buvo pasirinktas dėl to, kad jo forma (ilgas siauras kaklelis) lengvai sukuria akustinį rezonansą.

Tiriamuoju objektu buvo pasirinktas įprastas 750 ml vyno butelis. Jis turi ilgą, siaurą kaklelį kurio dėka yra sukuriamas akustinis rezonansas. Kadangi vyno butelis lengvai generuoja akustinį rezonansą, tai jis tiko testuoti duomenų surinkimo sistemai ir atlikti pirmiesiems eksperimentams. Toliau pateikiamas paveikslas su tiriamojo objekto geometriniais matmenimis ir pats tiriamasis objektas.



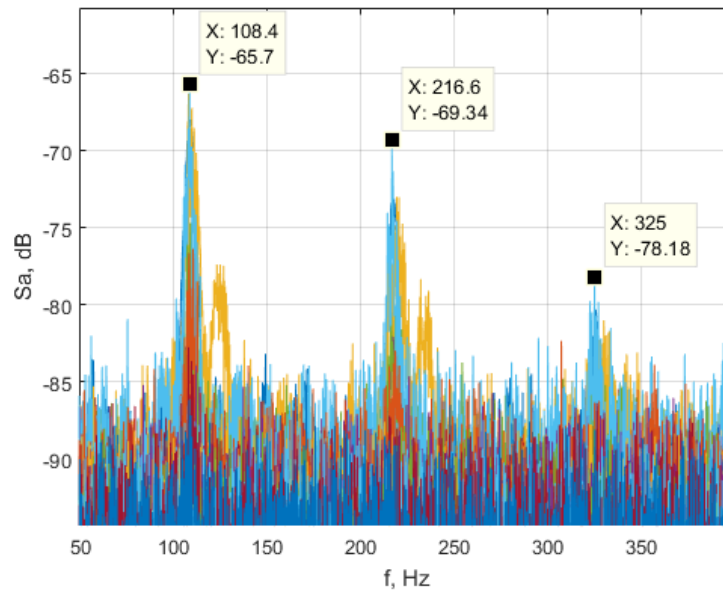
3.1 pav. Tiriamojo objekto matmenys

Pagrindiniai reikalingi parametrai yra indo tūris, tai 750 ml, kaklelio ilgis – 88 mm ir kaklelio diametras – 18,45 mm.

#### 3.1 750 ml talpos tyrimo rezultatai

Atlikti dviejų būdų talpos tūrio įvertinimo eksperimentai. Pirmasis būdas aktyvinis - naudojant harmoninio signalo generatorių, signalų stiprintuvą, garsiakalbį ir mikrofoną, kitas būdas pasyvinis, tai reiškia, kad naudojamas tik mikrofonas ir aplinkoje esantis triukšmas, kaip signalų generatorius.

Pasyvinis metodas pasižymėjo tuo, kad nereikia jokio papildomo harmoninio signalo generatoriaus, todėl visa eksperimento atlikimo sistema supaprastėjo, buvo naudojamas tik mikrofonas, duomenų surinkimo ir apdorojimo sistema. Eksperimentui atlikti buvo daroma 100 matavimų. Vieno matavimo trukmė užtruko 20 sekundžių, taip buvo surenkama pakankamai daug duomenų. Pasyvinio matavimo rezultatai pateikti žemiau esančiame paveiksle.

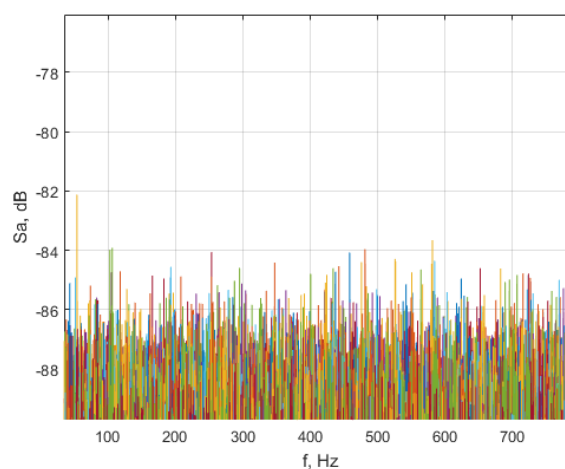


**3.2 pav.** Pasyvinio matavimo rezultatai su 750 ml talpos indu

Kaip matome iš 3.2 paveikslo, pasitelkiant pasyvinį matavimo būdą, gauname rezonansą, kurio dažnis yra 108,4 Hz. Šis rezonansas yra tuščios talpos. Taip pat iš grafiko matome ir kitas dvi pasikartojančias harmonikas. Naudojantis formule (5), buvo apskaičiuotas indo savasis  $V_c = 746,43$  ml.

Tūrio skaičiavime nebuvo įvertinta paklaida kurią sudaro į indas patalpintas mikrofonas, taip pat paklaida gali būti ir nuo blogai išmatuotų parametrų, talpos kaklelio ilgio ir jo vidinio skersmenis.

Didžiausias pasyvinio matavimo trūkumas yra tas, kad jei aplinka nėra pakankamai triukšminga, niekas nekalba, negroja muzika ar nėra kitų pašalinių garsų, gauti akustinių bangų rezonansą nėra įmanoma, nėra kam sukelti oro judėjimo virš indo kaklelio. Tai gerai pavaizduoja toliau esantis 3.3 paveikslas.



**3.3 pav.** Pasyviniai matavimai tylioje aplinkoje



Tyloje patalpoje nėra kas sukeltų indo akustinio rezonanso, todėl, kaip matome iš 3.3 paveikslo, turime tik vidinius sistemos surinkimo triukšmus ir jokios informacijos tai nesuteikia. Norint naudoti pasyvinį matavimą aplinkoje turi būti pašalinio triukšmo. Dėl šios priežasties šis matavimo būdas po pirmųjų eksperimentų buvo atmestas ir pereita prie aktyvinio matavimo.

Aktyvinis matavimas pasižymi tuo, kad naudojama harmoninį signalą skleidžianti grandis, todėl nesvarbu ar aplinkoje yra pašalinio triukšmo ar ne.

Eksperimentai buvo atliekami į talpą įpilus tokius vandens kiekius 100, 250, 300, 400, 500 ir 600 mililitrus ir prie kiekvieno įpilto kiekio buvo atliekami 30 matavimų. Žemiau pateikiama eksperimentinių rezultatų lentelė, teorinių skaičiavimų lentelė ir grafikas, rezonansinio dažnio priklausomybės nuo įpilto skysčio tūrio į indą.

### 3.1 lentelė. Teoriniai rezonansinio dažnio skaičiavimų rezultatai

Įpilto vandens kiekis, ml	Apskaičiuotas rezonansinis dažnis, Hz
0	107,57
100	115,552
250	131,75
300	138,87
400	157,471
500	186,32
600	240,54

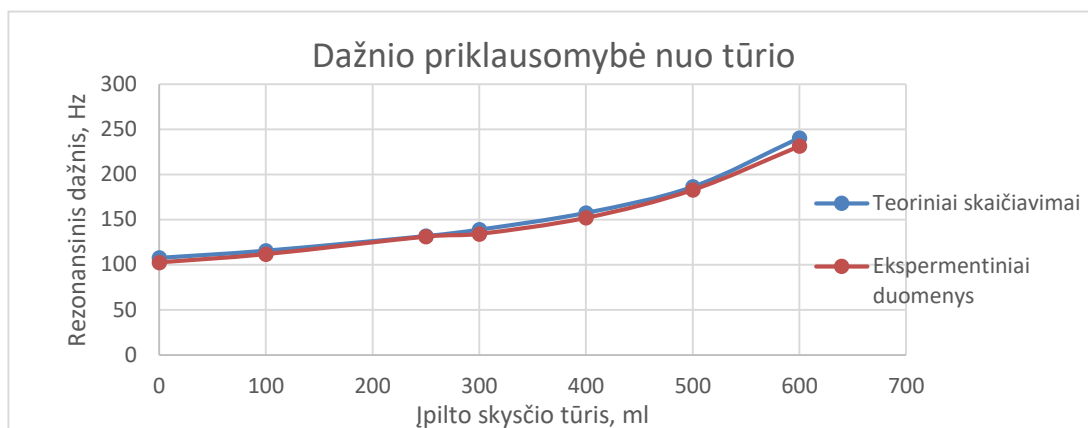
Iš 3.1 lentelės matome, kad didėjant įpiltam kiekiui vandens, rezonansas slenka į aukštesnius dažnius.

### 3.2 lentelė. Gauti eksperimentiniai rezultatai

Įpilto vandens kiekis, ml	Išmatuoto rezonansinio dažnio vidurkis, Hz	Apskaičiuoto įpilto skysčio tūrio vidurkis, ml	Absoliutinė paklaida, ml
0	105,45	0,35	0,35
100	111,63	102,45	2,45
250	131,06	234,62	15,38
300	134,08	301,15	1,15
400	151,93	400,4	0,4
500	182,88	508,7	8,7
600	231,47	599,38	0,62

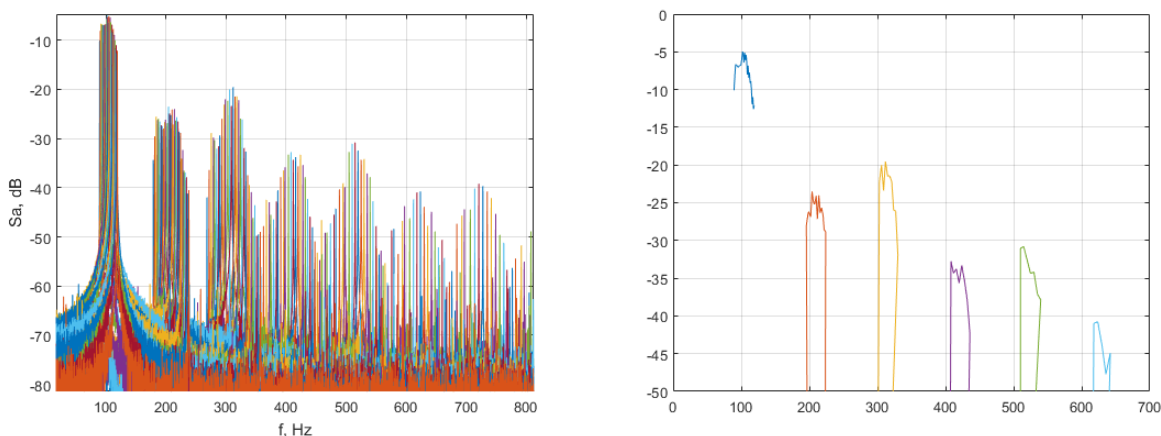
Šioje lentelėje pateikiami eksperimentiniu būdu nustatytas rezonansinis dažnis ir apskaičiuotas įpilto skysčio kiekis. Apskaičiuotas skysčio tūris nežymiai skiriasi nuo vandens kiekio kurį įpylėme į indą. Ši paklaida galėjo atsirasti atliekant skaičiavimus, suapvalinus

rezonansinį dažnį ar netiksliai išmatavus pagrindinius talpos parametrus, kaklelio ilgį ir jo vidinį diametrą. Žemiau pateikiamas dažnio priklausomybės grafikas nuo įpilto skysčio tūrio.

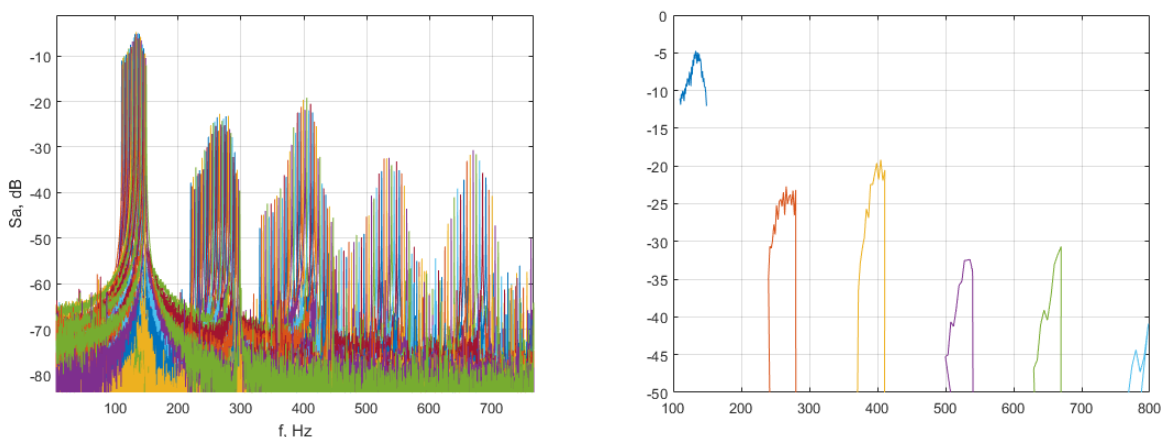


3.4 pav. Dažnio priklausomybė nuo tūrio

Iš grafiko matome, kad skirtumas tarp teorinių skaičiavimų ir rezultatų gautų atliekant eksperimentus yra minimalus. Taip pat, didėjant įpiltam skysčio tūriui dažnis auga proporcingai, tik ties 400 ml riba rezonansinis dažnis pradeda augti eksponentiškai. Žemiau pateikiami eksperimentinių tyrimų grafikai.



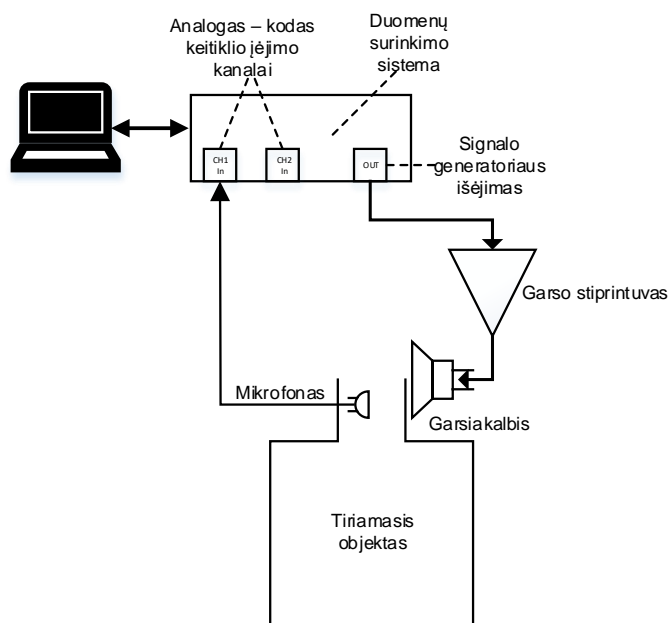
3.5 pav. Signalų spektras ir jo gautinė, kai inde nėra skysčio



3.6 pav. Signalų spektras ir jo gautinė, kai inde įpilta 300 ml vandens

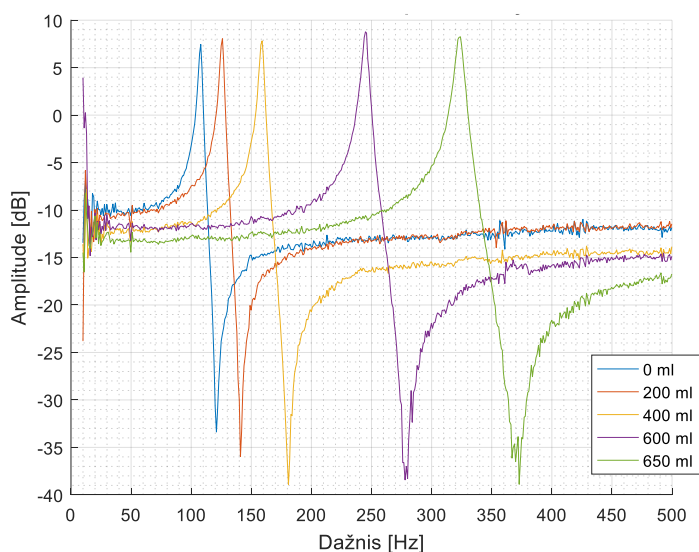
Iš 3.5 ir 3.6 grafikų matome, kaip keičiantis dažniui ir artėjant link indo rezonanso dažnio signalo amplitudė auga. Iš grafikų gražiai matosi, kuriame taške vyksta indo rezonansas. Keičiant skysčio tūrį matome, kaip rezonansas pasislenka į aukštesnius dažnius

Tas pat tiriamasis objektas buvo ištirtas ir kitu signalų apdorojimo metodu, naudojant signalų koreliaciją. Atliekant eksperimentus mikrofonas buvo patalpintas 1 cm į tiriamojo objekto vidų. Garsiakalbis eksperimentų metu buvo statomas prie tiriamojo objekto kaklelio iš šono. Eksperimentų struktūrinė schema pavaizduota paveiksle.



3.7 pav. Eksperimentų atlikimo struktūrinė schema

Atliekant eksperimentus pirmiausiai išmatuotas tuščio butelio rezonansinis dažnis, tada įpilta žinomas kiekis vandens ir matavimai vėl kartojami. Eksperimentai buvo kartojami 30 kartų ir rezonansiniam dažniui skaičiuojamas vidurkis iš gautų rezultatų. Matavimo rezultatai yra pateikti 3.8 paveiksle.



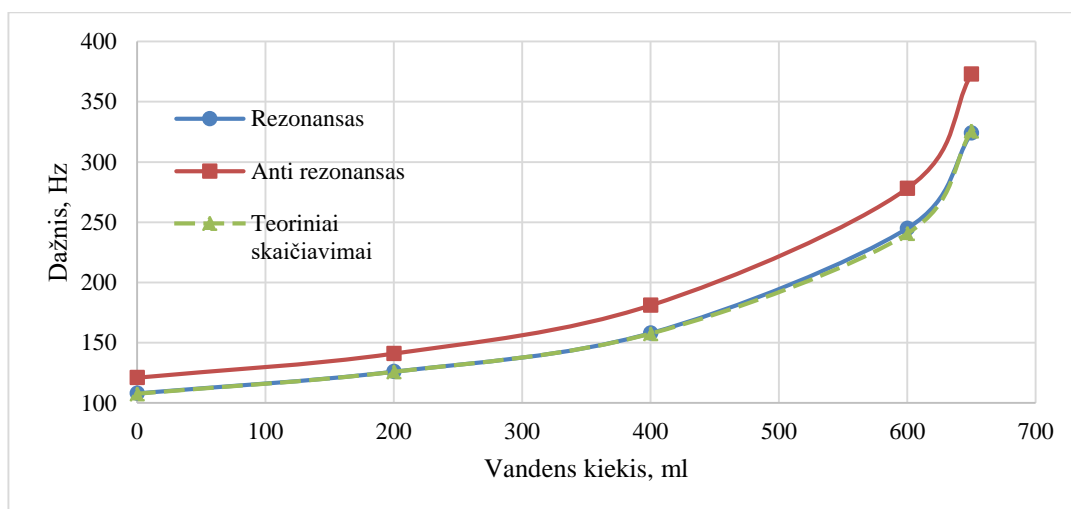
3.8 pav. Matavimo rezultatai

Iš matavimo rezultatų matome, kad rezonansinis dažnis didėja, kai oro tūris inde mažėja, tai yra kuo daugiau įpilta vandens, tuo dažnis yra didesnis. Taip pat matome ir antirezonansą. Rezultatai yra gauti, įvertinus garsiakalbio ir mikrofono dažnines charakteristikas. Žemiau yra pateikiama lentelė ir grafikas su teoriniais, eksperimentiniais ir antirezonansiniais dažniais.

**3.3 lentelė.** 750 ml indo rezonansiniai dažniai

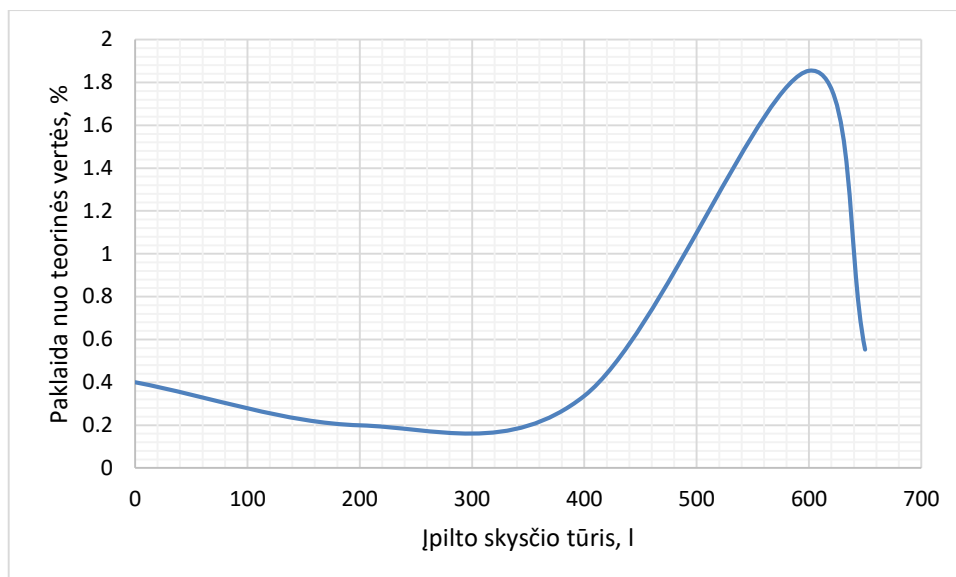
Įpiltas vandens kiekis, ml	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Anti rezonanso dažnis, Hz	Teorinis rezonanso dažnis, Hz	Santykinė paklaida, %
0	108	121	107.57	0.39974
200	126	141	125.75	0.198807
400	158	181	157.47	0.336572
600	245	278	240.54	1.854161
650	324	373	325.8	0.552486

Iš pateiktos lentelės matome, kad gautos eksperimentinio rezonansinio dažnio reikšmės prie kiekvieno įpildo skysčio kiekio yra panašios į teorinio skaičiavimo rezultatą tam tikram įpiltam vandens kiekiui. Antirezonansinis dažnis yra nežymiai didesnis, apie 1,15 karto. Surinktų duomenų grafikas pateikiamas 3.9 paveiksle.



**3.9 pav.** Rezonansinių dažnių priklausomybės nuo įpildo skysčio kiekio

Tūrio nustatymui ar patikslinimui galima naudoti tiek rezonansinį dažnį, tiek antirezonansą. Pastarajam reikia žinoti, kiek kartų jis yra didesnis už rezonansinį dažnį. Iš grafiko matome, kad didėjant įpiltam skysčio tūriui, rezonansinis dažnis kinta eksponentiniu dėsnio. Teoriniai skaičiavimai buvo atliekami pasinaudojus ankščiau aprašyta formule (5).

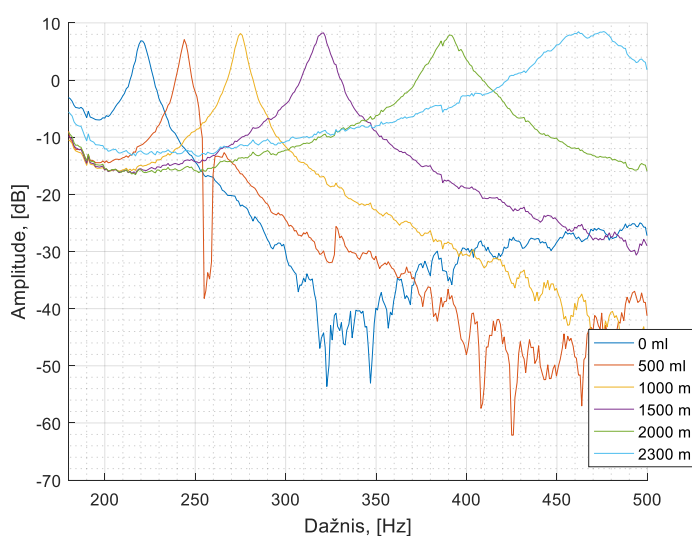


**3.10 pav.** Santykinė eksperimentinio rezonansinio dažnio paklaida

Gauti eksperimento rezonansiniai dažniai nedaug skiriasi nuo teorinių skaičiavimų, nes tiriamojo objekto, tai yra butelio, forma yra nesudėtinga, sienelės yra storos ir galima tiksliai rasti jame esančio skysčio tūrį. Didžiausia eksperimentinio dažnio santykinė paklaida gavosi, tiki apie 1,85 %.

### 3.2 3 l talpos indo tyrimo rezultatai

Kitas tiriamasis objektas buvo trijų litrų stiklainis. Jis buvo pasirinktas todėl, kad jo forma nėra sudėtinga, taip pat jo tūris yra didesnis, nei įprastų butelių, jo kaklelio diametras yra didelis, o kaklelio ilgis mažas, todėl rezonansinis dažnis bus didesnis, nei aukščiau aprašyto eksperimento. Eksperimentai buvo atliekami pagal 3.7 paveikslą ir įpilamas skysčio kiekis būdavo lygus 500 ml. Matavimo diapazonas buvo parinktas nuo 150 Hz iki 500 Hz. Eksperimento metu gautos rezonansinės kreivės pavaizduotos 3.11 paveiksle.



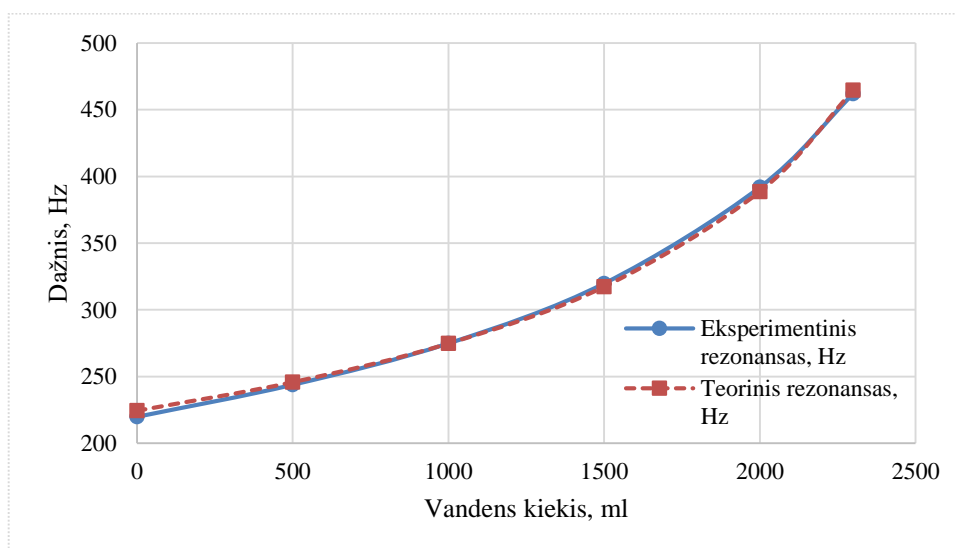
**3.11 pav.** Rezonansinio dažnio priklausomybė nuo įpilto skysčio kiekio

Iš matavimo rezultatų matome, kad rezonansinis dažnis yra didesnis, nei prieš tai darytame eksperimente ir taip pat pastebėjime, kad rezonansinio dažnio kreivė nėra tokia aiški, kaip 4.8 paveiksle. Priežastis yra ta, kad tiriamojo objekto kaklelio vidinis diametras yra didesnis, o tai daro įtaką rezonansinio dažnio juostai, kuo kaklelio vidinis diametras mažesnis, tuo rezonansinio dažnio juosta yra siauresnė. Taip pat iš grafiko matome, kad sunku atrasti antirezonansinį dažnį, nes yra daug suvirpėjimų, o įpylus didesnę kiekį skysčio antirezonansinis dažnis nuslenka į aukštesnius dažnius ir nebetelpa į matavimo diapazoną. Artėjant prie indo maksimalaus skysčio pripylimo tūrio, matome, kad rezonanso kreivė tampa plati, buka ir sunkiai randama maksimali amplitudės vertė. Žemiau yra pateikiama lentelė ir grafikas su rezonansinio dažnio reikšmėmis.

**3.4 lentelė.** Rezonansinių dažnių matavimai trijų litrų talpoje

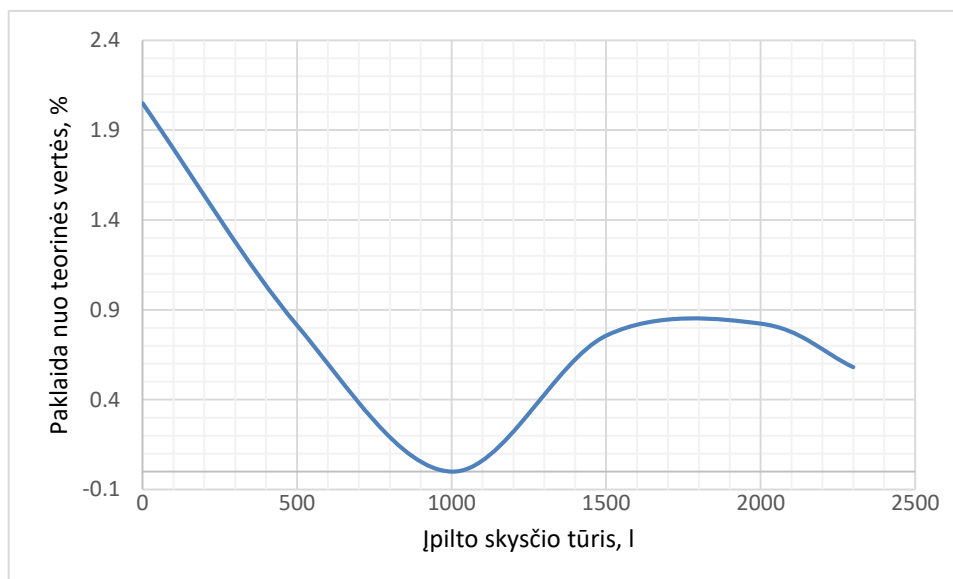
Įpiltas vandens kiekis, ml	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Teorinis rezonansas, Hz	Santykinė paklaida, %
0	219.9	224.5	2.048998
500	243.9	245.9	0.813339
1000	274.9	274.9	0
1500	319.8	317.4	0.756144
2000	391.9	388.7	0.823257
2300	461.9	464.6	0.581145

Iš 3.5 lentelės pateiktų gautų rezonansinio dažnio rezultatų matome, kad tiek eksperimentinis rezonansinis dažnis, tiek apskaičiuotas teorinis rezonansinis dažnis gaunasi artimas vienas kitam. Eksperimentiniu būdu ir teoriniais skaičiavimais gauti rezonansiniai dažniai pavaizduoti 3.12 paveiksle.



**3.12 pav.** Rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo įpilto vandens tūrio

Atlikus matavimą paaiškėjo, kad eksperimentiniu būdu gautas rezonansinis dažnis yra artimas apskaičiuotam teoriniam dažniui, tai galime pamatyti iš aukščiau pateiktos lentelės arba iš 3.12 grafiko.



**3.13 pav.** Santykinė rezonansinio dažnio paklaida gauta trijų litrų inde

Priežastis, kodėl eksperimentiniai rezultatai gaunami artimi teoriniams skaičiavimams yra ta, kad tiriamojo objekto forma yra paprasta ir lengvai gaunamas rezonansinis dažnis. Iš 3.13 paveikslo matome, kad gautų eksperimentinių rezonansinių dažnių santykinė paklaida lyginant su teoriniais skaičiavimais neviršija 2%.

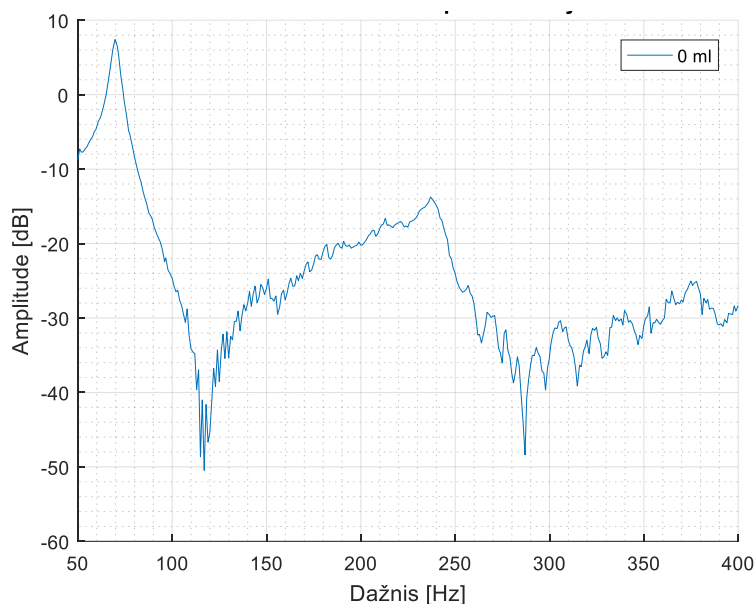
### 3.3 Sudėtingos formos talpos tyrimo rezultatai

Aukščiau aprašyti eksperimentai buvo atlikti naudojant nesudėtingos formos talpas (stiklinis butelis, stiklainis), su storomis stiklinėmis sienelėmis. Nustatinėjant tūrį nesudėtingos formos tiriamuosiuose objektuose nebuvo susidurta su dažnio neatitikimais ar kitais sunkumais, todėl buvo nuspręsta ištirti sudėtingesnės formos talpą. Šiam eksperimentui buvo pasirinktas 3.14 paveiksle pavaizduotas bakelis, kurio talpa yra 4,3 litro. Jo kaklelio skersmuo yra 29 mm, o kaklelio ilgis yra lygus 20 mm



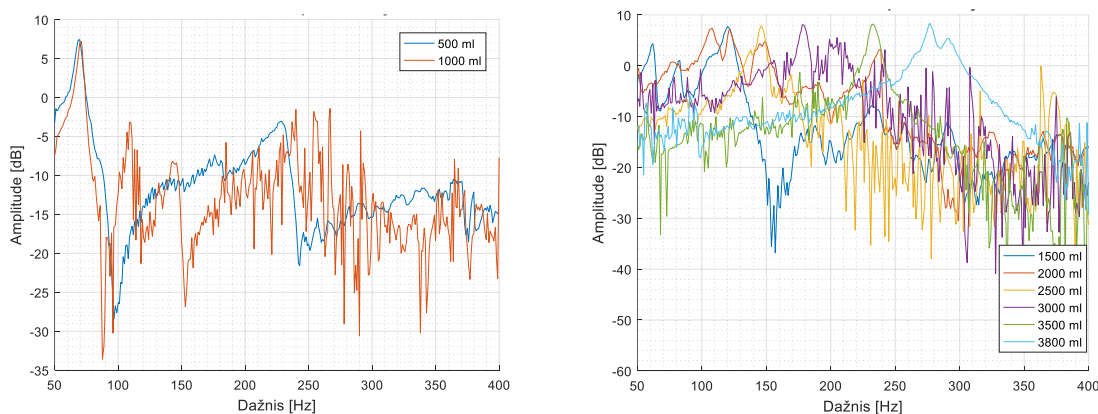
**3.14 pav.** Sudėtingos formos tiriamasis objektas

Iš paveikslo matome, kad tiriamasis objektas yra sudėtingos formos, turi išlinkimų, rankenėlių ir jo kaklelis yra talpos šone, ne centre. Eksperimentai buvo atliekami taip pat, kaip aukščiau aprašytuose, tik dažnių diapazonas buvo parinktas nuo 50 Hz iki 400 Hz. Gauti rezultatai pateikiami toliau esančiuose paveiksluose.



**3.15 pav.** Tuščios talpos matavimo rezultatas

Tuščios talpos rezonansinis dažnis yra lengvai gaunamas, tikslus ir taip pat matomas antirezonansas, grafikas atrodo, kaip ir aukščiau atliktų eksperimentų, rezonansinio dažnio juosta yra ganėtinai siaura, nes bakelio kakliuko vidinis skersmuo nėra didelis. Įpilus skysčio į vidų gaunami visai kitokie rezultatai, nei planuotą.



**3.16 pav.** Sudėtingos talpos su įpiltu skysčiu matavimo rezultatai

Į talpą įpilus 500 ml ar 1000 ml skysčio rezonansinį dažnį gauname tokį patį, kaip ir tuščios talpos. Taip pat matome įvairių atspindžių sukeltus papildomus rezonansus. Didinant įpildo skysčio kiekį talpoje, situacija sąlyginai pagerėja, rezultatai atvaizduoti 3.16 kairiame paveiksle. Iš paveikslo matome, kad rezonansinis dažnis didėjant įpiltam skysčio kiekiui didėja, tačiau vis tiek išlieka įvairių atspindžių, ar pačios talpos formos sukeltų papildomų rezonansų, kurie apsunkina

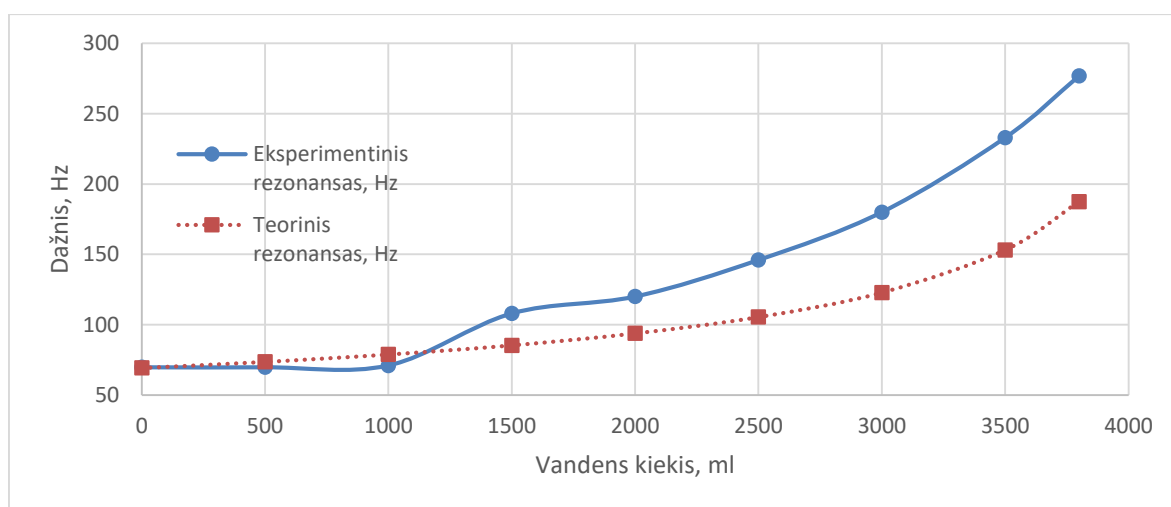


matavimą ir sumažina eksperimentų tikslumą. Toliau yra pateikiama lentelė ir grafikas su rezonansinio dažnio reikšmėmis.

**3.5 lentelė.** Rezonansinių dažnių matavimai sudėtingos formos talpoje

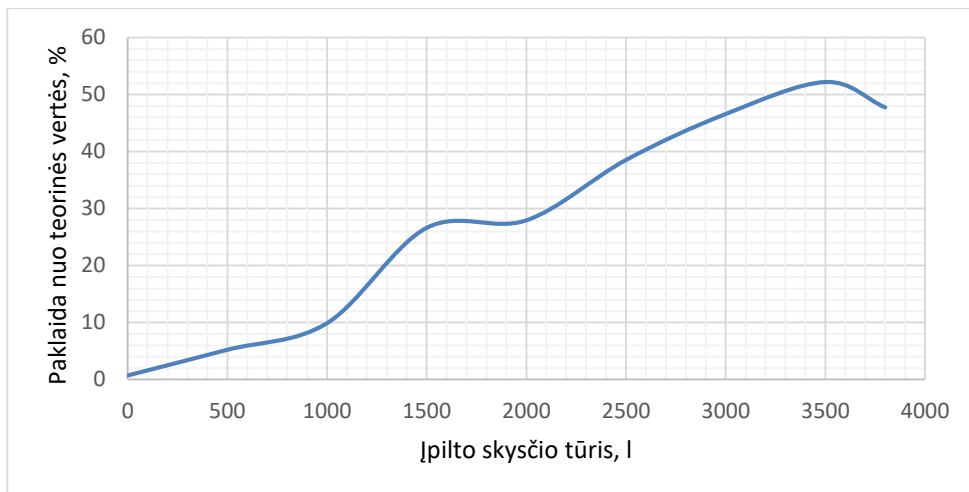
Įpiltas vandens kiekis, ml	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Teorinis rezonansas, Hz	Santykinė paklaida, %
0	69.7	69.2	0.722543
500	69.7	73.54	5.221648
1000	71	78.8	9.898477
1500	108	85.3	26.61196
2000	120	93.8	27.93177
2500	146	105.4	38.51992
3000	180	122.8	46.5798
3500	233	153.1	52.18811
3800	277	187.5	47.73333

Apskaičiavus teorinį rezonansą tiriamajam objektui ir palyginus su eksperimentais gautais rezultatais, gauname didelius netikslumus. Žemiau pateikiamas grafikas, rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo įpildo skysčio kiekio ir gautų eksperimentinių rezultatų.



**3.17 pav.** Rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo įpildo vandens tūrio

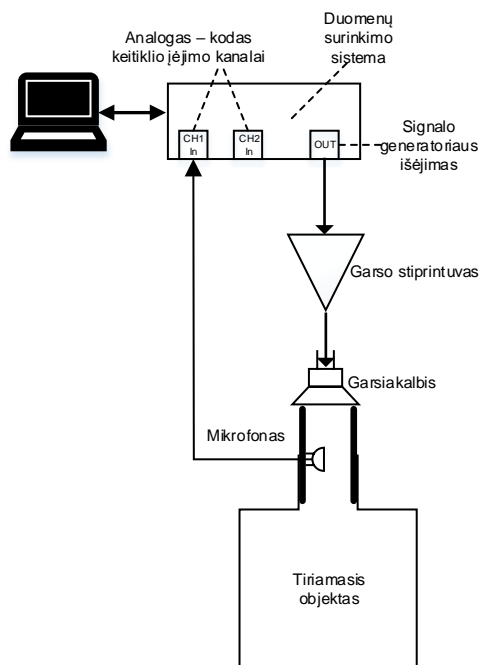
Iš grafiko realiai matome neatkimus tarp eksperimentinių rezultatų ir teorinių. Sudėtingos formos talpose yra daug sunkiau išmatuoti tūri akustinėmis bangomis, dėl papildomų atspindžių ir rezonansų sukeltų talpos formos.



**3.18 pav.** Santykinė rezonansinio dažnio paklaida gauta sudėtingos formos talpoje

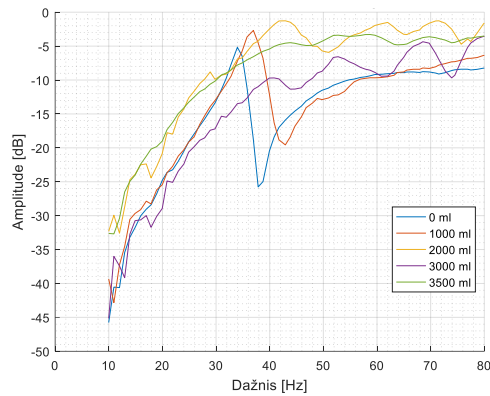
Atlikus tūrio nustatymo eksperimentus pagal 3.7 struktūrinę schemą, kuri pasiteisino su nesudėtingos formos stiklinėmis talpomis, šiuo atveju eksperimentais gauto rezonansinio dažnio paklaidos nuo teorinių verčių gavosi milžiniškos – iki 52%.

Sudėtingos formos tiriamasis objektas buvo tiriamas dar kartą, tik šį kartą garsiakalbis buvo virš talpos kaklelio ir papildomai kaklelis buvo prailgintas, taip rezonansinį dažnį nuleidžiant į žemesnius dažnius. Eksperimentų atlikimo struktūros pakeitimas atliktas, norint sumažinti atspindžius, papildomus rezonansus ir padidinti matavimo tikslumą. Tokia eksperimento struktūra pavaizduota 3.19 paveiksle.



**3.19 pav.** Naujo eksperimento atlikimo struktūrinė schema.

Nauji eksperimento matavimai pateikti 3.20 paveiksle.



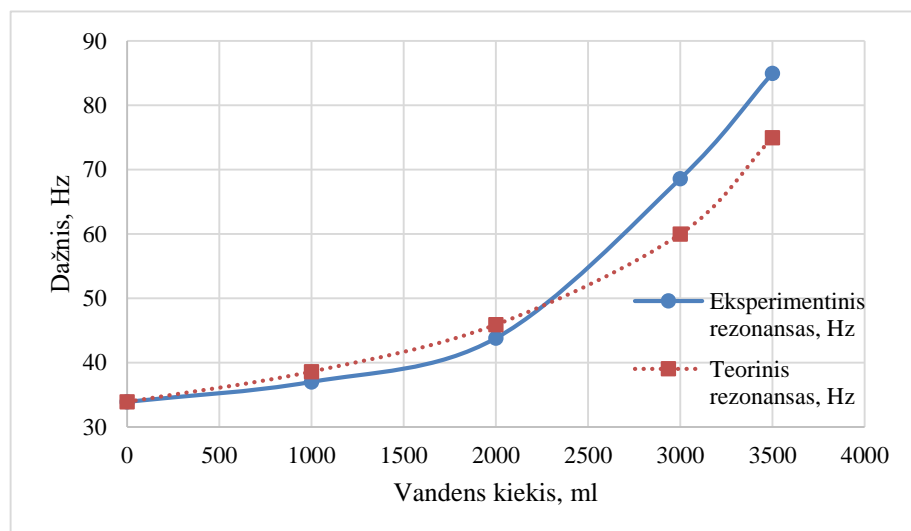
3.20 pav. Nauji eksperimento rezultatai sudėtingos formos inde

Iš gautų matavimo rezultatų matome, kad situacija nežymiai pagerėjo, visi rezonansiniai dažniai buvo nuleisti į žemesnius dažnius, taip pat matoma mažesnė atspindžių ir papildomų talpos formų generuojamų rezonansų įtaka. Įpylus daugiau nei tris litrus skysčio negaunamas anti rezonansas ir rezonansinio dažnio juosta pasidaro plati.

3.6 lentelė. Nauji eksperimento rezultatai su sudėtingos formos talpa

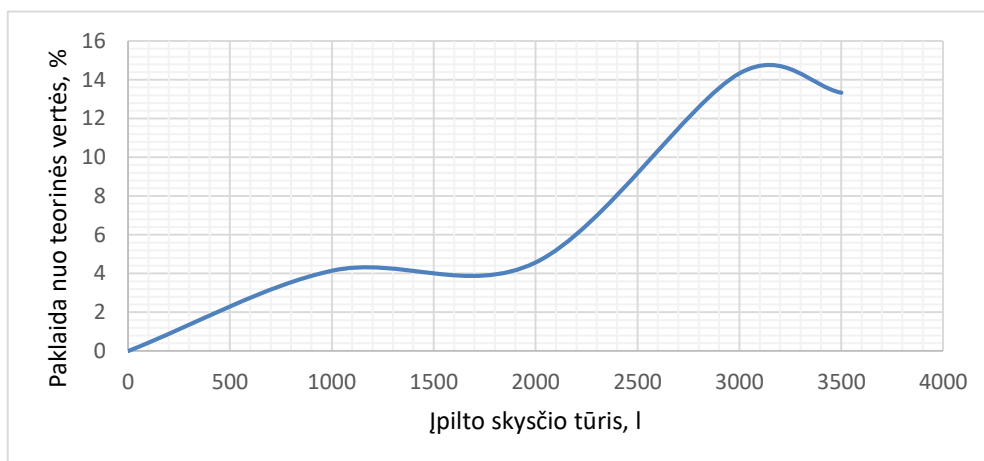
Įpiltas vandens kiekis, ml	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Teorinis rezonansas, Hz	Santykinė paklaida, %
0	33.9	33.9	0
1000	37	38.6	4.145078
2000	43.8	45.9	4.575163
3000	68.6	60	14.33333
3500	85	75	13.33333

Iš 3.7 lentelės matome, kad šiuo tyrimo metu eksperimentiniai rezultatai skiriasi nuo teorinių skaičiavimų, tačiau skirtumas tarp teorinių rezultatų ir eksperimentinių nebėra toks didelis lyginant su lentelėje 3.6 pateiktais duomenimis. Eksperimentinio ir teorinio rezonansinio dažnio priklausomybės grafikas nuo įpilto skysčio kiekio pavaizduotas 3.21 paveiksle.



3.21 pav. Rezonansinio dažnio priklausomybė, nuo įpilto vandens tūrio

Atlikus eksperimentus ir palyginus gautus rezultatus, galima sakyti, kad antruoju atveju gavosi tikslesni matavimai, tiriant sudėtingos formos talpos tūrį akustinėmis bangomis.



**3.22 pav.** Santykinė rezonansinio dažnio paklaida naujų matavimų

Atlikus tūrio nustatymo eksperimentus pagal 3.19 struktūrinę schemą, kurios tikslas buvo rezonansinį dažnį nuleisti į žemesnius dažnius gauti rezonansinio dažnio paklaidos nuo teorinių verčių gavosi daug mažesnės lyginant su prieš tai atliktu matavimu. Šį kartą maksimali paklaida gavosi – iki 13.5%.

Gauti tiksliems rezultatams, reikia įvertinti pačios talpos sukeltus įvairius atspindžius, tačiau tai padaryti yra sunku, nes netikslumai ir atspindžiai prasideda, tik tada, kai įpiltas tam tikras skysčio kiekis ir priklausomai nuo to, kokioje padėtyje yra garsiakalbis ir ar prailgintas indo kaklelis.

### 3.4 Sudėtingos formos 19 litrų talpos tyrimo rezultatai

Tolimesni bandymai buvo atlikti naudojant didesnio tūrio talpas, kurių formos yra sudėtingos, tai yra turi įvairius įlinkimus ar rankenas, kurios taip pat yra užpildomos skysčiu. Sekantis tūrio matavimo bandymas buvo atliktas su žemiau pateikta talpa.



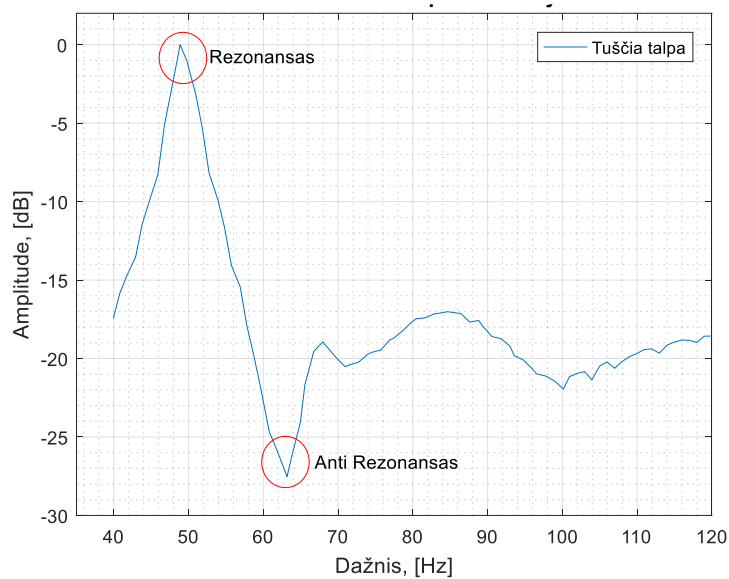
**3.23 pav.** Didesnės talpos tiriamasis objektas

Naudojantis formule (5) galima apskaičiuoti tiriamojo

objekto rezonansinį dažnį tiek jam esant tuščiam, tiek su tam tikru skysčio lygiu. Tiriamojo objekto tūris yra 19 litrų, jo kaklelio diametras  $d = 46$  mm, o kaklelio ilgis  $l = 70$  mm, tai yra pagrindiniai objekto parametrai kurių reikia, kad būtų galima apskaičiuoti rezonansinį dažnį.

Pradžioje eksperimentai buvo atliekami kaip pavaizduota 3.7 paveiksle, kad garsiakalbis yra pastatytas priešais tiriamojo objekto kakliuką, o mikrofonas yra patalpintas kakliuko viduje.

Atliekant eksperimentus pirmiausiai iširta tuščio objekto rezonansinis dažnis. Atliekant tyrimus su tuščiu objektu, tai yra, kai jo viduje nėra jokio skysčio, rezultatai gaunami aiškūs, o rezonansinis dažnis aptinkamas labai lengvai ir jis yra aiškus. Toliau pavaizduota tuščios talpos rezonansinio dažnio kreivė, gauta atliekant tūrio nustatymo eksperimentus.



**3.24 pav.** Tuščios talpos rezonansinio dažnio priklausomybė

Paveiksle matome aiškų rezonansą ir antirezonansą, kuris yra sukuriamas dėl destruktivios interferencijos, tačiau atliekant eksperimentus, kada objekto viduje yra įpilta skysčio, dėl įvairių atspindžių nuo vandens paviršiaus, ar dėl indo formos gaunami papildomi rezonansai, kurie daro įtaką matavimo tikslumui, iškraipo rezultatus, nes aptinkamas atspindžių sukeltas rezonansas. Eksperimentiniai rezonansinio dažnio kreivės, kurios gautos esant skirtingiems skysčio tūriams tiriamajame objekte atvaizduotos. 3.25 paveiksle.



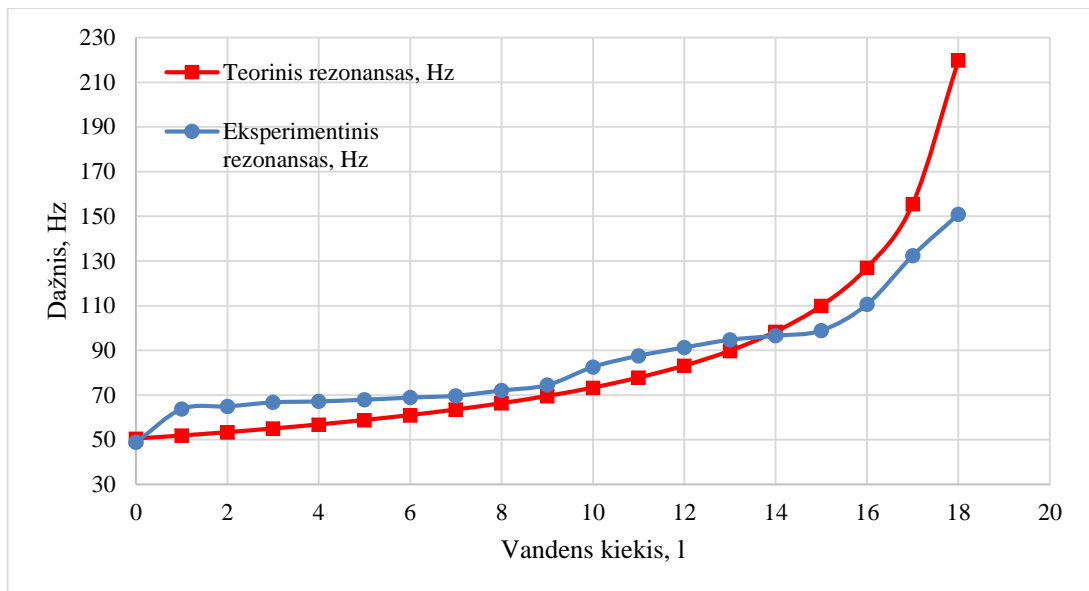
**3.25 pav.** 19-os litrų talpos su skysčiu matavimo rezultatai

Pateiktame grafike pažymėti papildomi rezonansai, kurie yra atsiradę dėl sudėtingos talpos formos, ar dėl susidariusių signalo atspindžių. Toliau lentelėje 3.8 yra pateikiami teoriniai ir eksperimentų metu gauti rezultatai rezonansinio dažnio priklausomybės nuo įpildo skysčio kiekio.

**3.7 lentelė.** Eksperimento ir teorinių skaičiavimų rezultatai

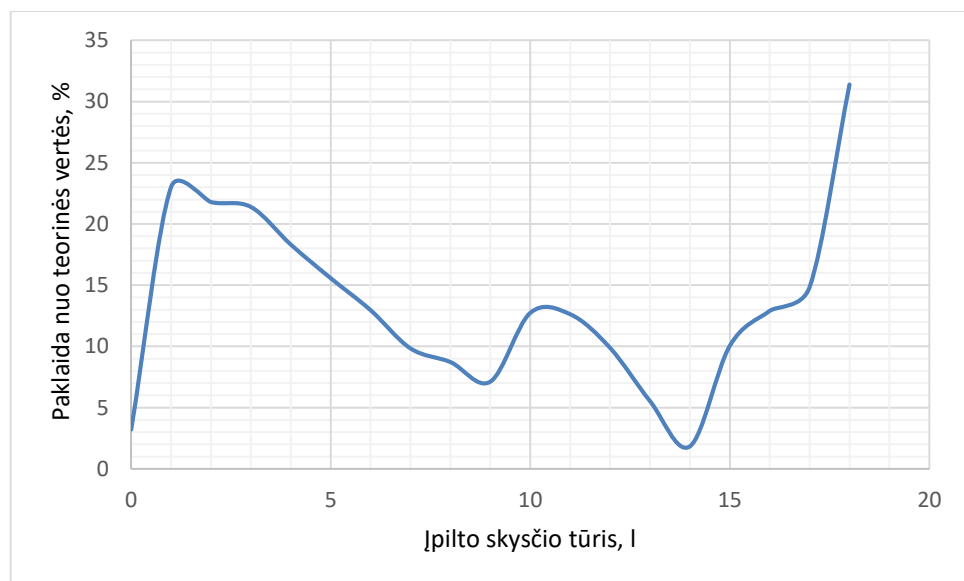
Įpiltas vandens kiekis, l	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Teorinis rezonansas, Hz	Santykinė paklaida, %
0	48.88	50.5	3.207921
1	63.78	51.85	23.00868
2	64.97	53.35	21.78069
3	66.76	55	21.38182
4	67.2	56.8	18.30986
5	67.95	58.8	15.56122
6	68.9	61	12.95082
7	69.74	63.5	9.826772
8	72.1	66.32	8.71532
9	74.51	69.56	7.116159
10	82.63	73.3	12.72851
11	87.62	77.8	12.62211
12	91.35	83.14	9.87491
13	94.77	89.8	5.534521
14	96.6	98.4	1.829268
15	98.94	109.98	10.03819
16	110.63	127	12.88976
17	132.47	155.54	14.8322
18	150.9	219.9	31.3779

Iš 3.8 lentelės matome, kad eksperimentiniai rezultatai skiriasi nuo teorinių skaičiavimų. Toliau pateikiamas eksperimentinio ir teorinio rezonansinio dažnio priklausomybės grafikas nuo įpildo skysčio kiekio.



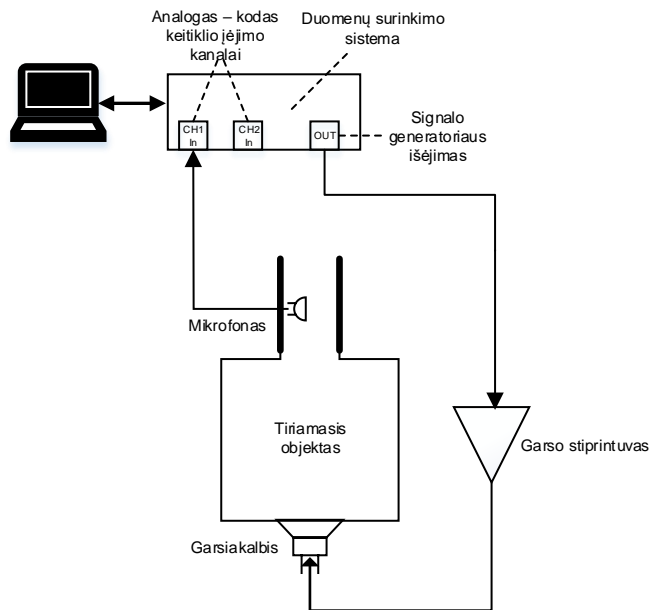
3.26 pav. 19-os litrų talpos su skysčiu eksperimentiniai ir teoriniai matavimo rezultatai

Iš 3.8 lentelės ir 3.26 paveikslu matome, kad gauti eksperimentiniai rezultatai gaunasi su didele paklaida nuo teorinių skaičiavimų.



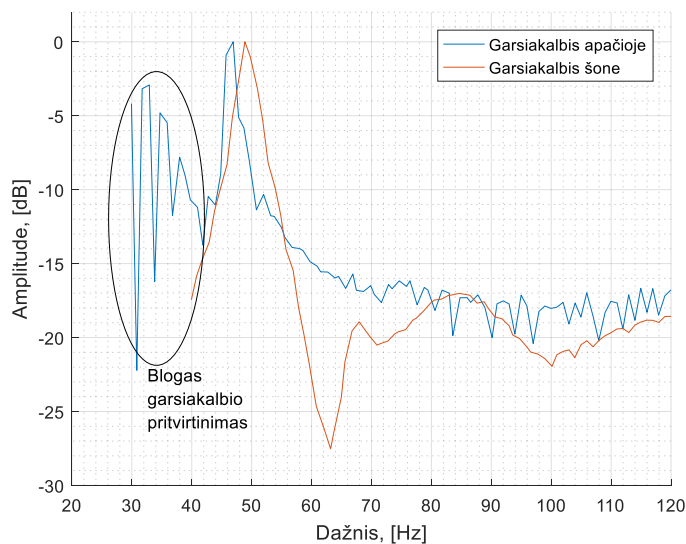
3.27 pav. Santykinė rezonansinio dažnio paklaida 19-os litrų talpoje

Apskaičiavus gautų eksperimentinių rezonansų santykinę paklaidą nuo teorinės vertės gautos didžiausios paklaidos 23% ir 31.3%, kai skysčio lygis talpoje buvo minimalus arba artimas maksimaliam lygiui. Dideli netikslumai galėjo atsirasti dėl indo formos, jo talpos ir kad tik nedidelė signalo dalis virpindavo talpoje esantį orą, todėl buvo nuspręsta pakeisti garsiakalbio padėtį, jį pritvirtinant prie talpos dugno. Naujų eksperimentų struktūrinė schema pavaizduota žemiau esančiame 3.28 paveiksle.



3.28 pav. Eksperimento atlikimo struktūrinę schema

Pritvirtintus garsiakalbį prie tiriamojo objekto dugno virpinamas pats objektas kartu su jame esančiu skysčiu ir oru. Dar vienas tokio eksperimento atlikimo būdo privalumas yra tas, kad nereikia aukštos generuojamo signalo amplitudės. Toliau yra pateikiamas rezonansinio dažnio signalų palyginimo grafikas, kada garsiakalbis yra tiriamojo objekto šone ir kai jis yra pritvirtintas apačioje.



3.29 pav. Rezultatų palyginimas, kai garsiakalbio padėtis skirtinga

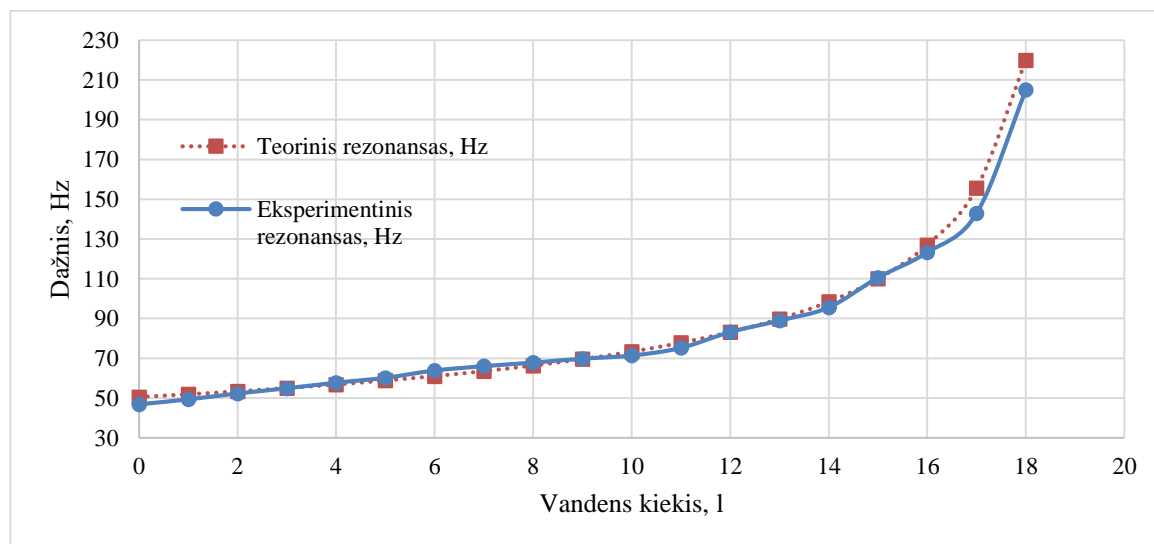
Iš 3.29 paveikslo matome, kad kai garsiakalbis yra pritvirtintas iš tiriamojo objekto apačios, antirezonansas pranyksta. Blogai pritvirtintus garsiakalbį, kai yra tarpas tarp jo ir objekto dugno žemuose dažniuose atsiranda daug triukšmų ir rezonansinio dažnio kreivė nėra tokia glotni, turi įvairius virpėjimus. Atliktų eksperimentų ir teorinių skaičiavimų rezultatai pateikiami lentelėje ir rezonansinio dažnio priklausomybės grafike.



### 3.8. lentelė. Nauji eksperimento ir teorinių skaičiavimų rezultatai 19-os litrų talpoje

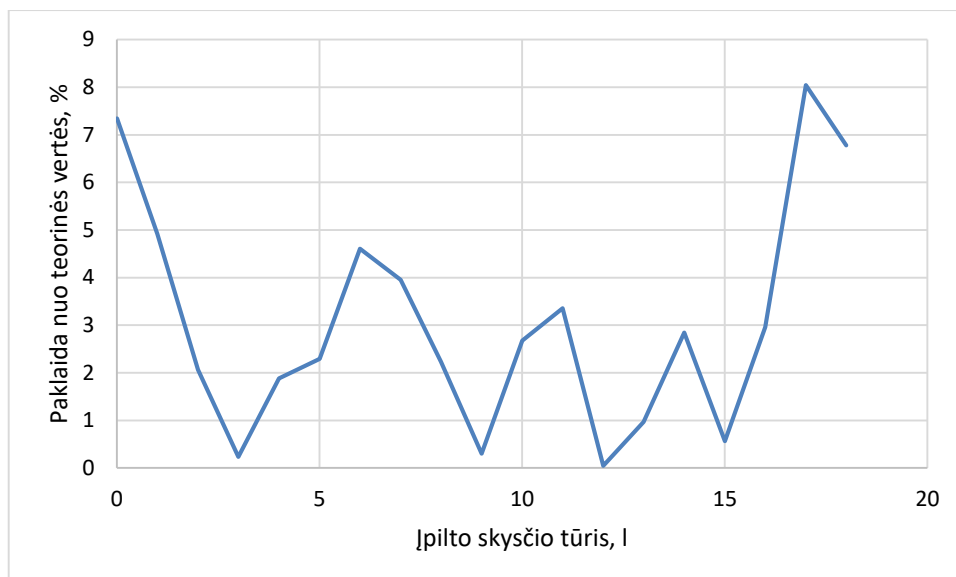
Įpiltas vandens kiekis, l	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Teorinis rezonansas, Hz	Santykinė paklaida, %
0	46.79	50.5	7.346535
1	49.3	51.85	4.918033
2	52.25	53.35	2.061856
3	54.87	55	0.236364
4	57.87	56.8	1.883803
5	60.15	58.8	2.295918
6	63.81	61	4.606557
7	66.01	63.5	3.952756
8	67.8	66.32	2.231604
9	69.77	69.56	0.301898
10	71.34	73.3	2.673943
11	75.19	77.8	3.354756
12	83.18	83.14	0.048112
13	88.93	89.8	0.96882
14	95.6	98.4	2.845528
15	110.6	109.98	0.563739
16	123.24	127	2.96063
17	142.9	155.4	8.043758
18	205	219.9	6.775807

Iš 3.9 lentelės galime matyti, kad rezultatai gauti eksperimentiniu būdu yra artimi teoriniams skaičiavimams. Toliau pateikiamas eksperimentinių matavimų ir teorinių skaičiavimų rezultatų grafikas.



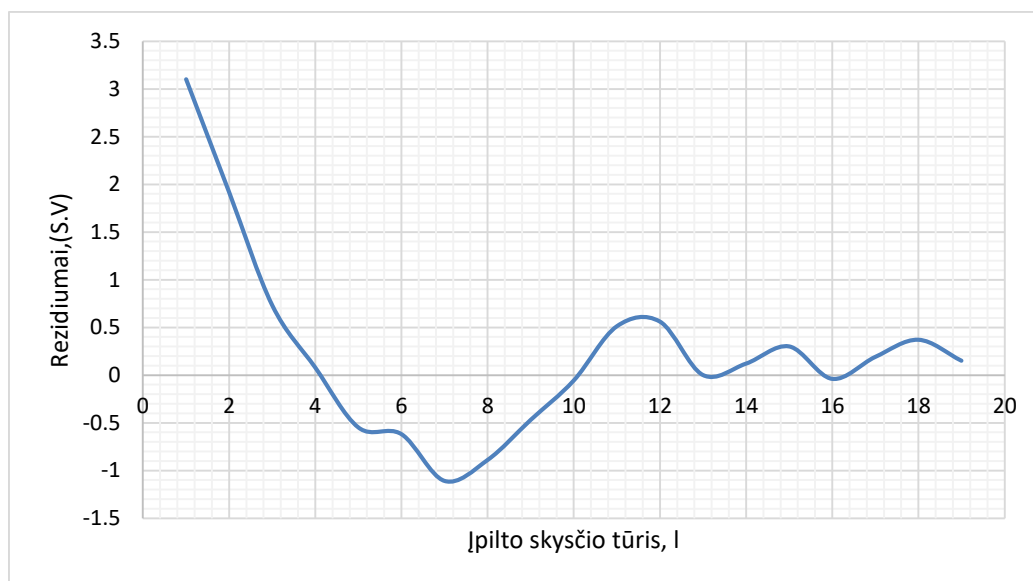
3.30 pav. Rezonansinio dažnio priklausomybė nuo įpildo skysčio tūrio

Iš grafiko matome, kad eksperimentiniu būdu nustatius tūrį talpoje rezultatai gavosi artimi teoriniams skaičiavimams. Toliau yra pateikiamas eksperimentinio rezonanso santykinės paklaidos grafikas.



**3.31 pav.** Santykinė rezonansinio dažnio paklaida, kai garsiakalbis iš apačios

Didžiausia paklaida gavosi esant tuščiai talpai ir esant talpai arti pilnos. Grafike matome, kad didžiausias eksperimentinio rezonanso nuokrypis nuo teorinių skaičiavimų gavosi apie 8%, tačiau ties tam tikrais dažniais santykinė paklaida gavosi tik – 0.048%, ar 0.24%. Palyginus su prieš tai darytais eksperimentais šiuo atveju maksimali paklaida gavosi apie 4 kartus mažesnė.



**3.32 pav.** Eksperimentiniu būdu nustatyto įpilto skysčio kiekio reziduumai nuo praktinio skysčio tūrio talpoje

Eksperimentiniu būdu nustatytus talpos rezonansinius dažnius apskaičiuotas, koks skysčio tūris talpoje gaunamas. Aukščiau pavaizduotame 3.32 paveiksle atvaizduotas reziduumai gauto skysčio kiekio nuo realiai įpilto kiekio Kadangi rezonansinis dažnis eksperimentų metu gaunamas nukrypęs, su tam tikra paklaida (0,2 – 17%), nuo teorinių verčių, tai ir talpoje esančio skysčio tūris gaunamas irgi nukrypęs nuo realaus įpilto skysčio kiekio. Didžiausias skirtumas yra gautas esant mažam skysčio lygiui tiriamajame objekte.

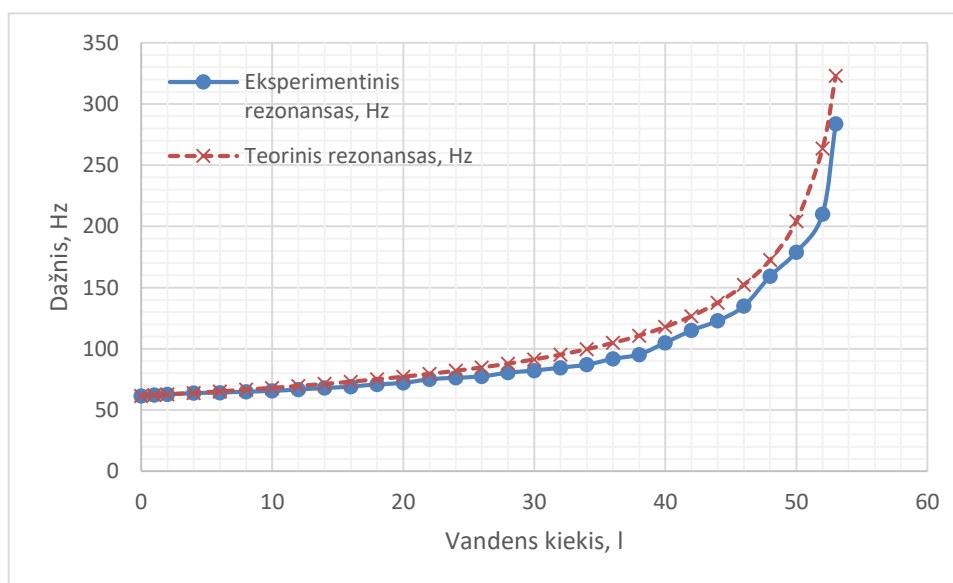
### 3.5 55 litrų talpos tyrimo rezultatai

Norint įsitikinti ar naujas tūrio nustatymo būdas, kuris pavaizduotas 3.28 paveiksle, pasiteisina buvo nuspręsta ištirti tūrį 55 litrų talpyklos. Žemiau pateikiamas tiriamojo objekto paveikslas.



3.33 pav. 55-ių litrų tiriamasis objektas

Tiriamojo objekto forma nėra sudėtinga, tik jo kaklelis yra formos šone. Tiriamojo objekto tūris yra 55 litrai, jo kaklelio diametras  $d = 100$  mm, o kaklelio ilgis  $l = 40$  mm, tai yra pagrindiniai objekto parametrai kurių reikia, kad būtų galima apskaičiuoti rezonansinį dažnį. Eksperimentiniai tūrio nustatymo rezultatai ir teoriniai skaičiavimai yra pateikiami Priede 1, nes buvo atliekama daug matavimų. Iš gautų eksperimentinių ir teorinių rezultatų nubraižomas grafikas, kuris yra pavaizduotas 3.34 paveiksle.



3.34 pav. 55-ių litrų talpos su skysčiu eksperimentiniai ir teoriniai matavimo rezultatai

Iš pateikto 3.34 paveikslo matome, kad eksperimentiniai rezultatai gavosi su tam tikra paklaida lyginant su teoriniais skaičiavimais.



**3.35 pav.** Santykinė rezonansinio dažnio paklaida 55-ių litrų talpai

Didžiausia paklaida gavosi esant skysčio lygiui arti maksimalios ribos. Grafike matome, kad didžiausias eksperimentinio rezonanso nuokrypis nuo teorinių skaičiavimų gavosi apie 20%, tačiau ties tam tikrais dažniais santykinė paklaida gavosi tik – 0.01%, ar 0.3%. Didėjant įpiltam skysčio kiekiui paklaida taip pat auga, nes rezonansinį dažnį pasidaro vis sunkiau nustatyti, jis nesigauna „aštrus“ ir atsiranda atspindžių sukelti papildomi rezonansai



**3.36 pav.** Eksperimentiniu būdu nustatyto įpilto skysčio kiekio reziduumai nuo praktinio skysčio kiekio talpoje

Eksperimentiniu būdu nustačius talpos rezonansinius dažnius apskaičiuotas, koks skysčio tūris talpoje gaunamas. Aukščiau pavaizduotame 3.36 paveiksle atvaizduotas reziduumai gauto skysčio kiekio nuo realiai įpilto kiekio. Kadangi rezonansinis dažnis eksperimentų metu gaunamas nukrypęs, su tam tikra paklaida (0,01 – 20%), nuo teorinių verčių, tai ir talpoje esančio skysčio tūris gaunamas irgi nukrypęs nuo realaus įpilto skysčio kiekio. Didžiausi skirtumai yra gauti kai į tiriamąją talpą įpilta nuo 8 litrų iki 46 litrų. Tokie netikslumai atsirado dėl išmatuoto rezonansinio dažnio nuokrypio nuo teorinių reikšmių.

## IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Skysčio tūriui nustatyti talpoje pasirinktas Helmhloco principu paremtas skysčio įvertinimo metodas, parinkta įranga, bei metodika neinvazinio skysčio tūrio įvertinimui. Sukurta eksperimentams atlikti sistema ir iširta jos dažninės charakteristikos, taip įvertinamas sistemos netiesiškumas.

Atlikus analizę tūrio nustatymo metodus buvo pasiūlytas Helmhloco principu paremtas metodas, kuris yra paprastai realizuojamas ir pakankamai tikslus apie 1 – 0.1%.

Atlikus eksperimentus su pasyviu žaidinimu, nustatyta, kad tik esant triukšmingai aplinkai gaunami aiškūs rezonansai.

Eksperimentų metu nustatyta, kad esant nesudėtingai tiriamosios talpos formai su ilgu kakleliu (tipinis stiklinis butelis) išmatuoti rezonansiniai dažniai gauti su nedidele paklaida (iki 2%) lyginant su teoriniais skaičiavimais.

Sudėtingos formos talpai, kurios sienelės yra plastiškos, gautos paklaidos buvo didžiulės (iki 52%) lyginant su teoriniais skaičiavimais, todėl buvo pasiūlyta prailginti kaklelį, taip eksperimentų metu gautos rezonansinio dažnio paklaidos buvo sumažintos apie 4 kartus.

Tiriant 19 litrų talpą įprastu metodu, kaip ir nesudėtingos formos talpoms, gautų rezultatų paklaida siekė (32%). Tobulinat matavimusi nustatyta, kad geriausi rezultatai gaunasi, kai akustinio signalo zondavimas taikomas iš dugno. Rezonansinio dažnio paklaidos neviršijo (8%). Didžiausi netikslumai gauti, kai talpoje skysčio lygis yra minimalus, ar artimas maksimaliam lygiui.

Ištyrus 55 litrų talpyklą pastebėta, kad didžiausios paklaidos gautos iki 20%, kai skysčio lygis artimas maksimaliam. Dėl sudėtingos indo formos – kaklelis ne per centrą, jo diametras yra didelis ir trumpas sunku gauti rezonansus, todėl naudotinos tokios priemonės, kaip kaklelio prailginimas ir zonduojančio impulso įvedimas į tam tikrą talpos vietą.

Talpos tūrį išmatuoja per 24 sekundes, todėl tobulinant sistemą ir optimizuojant signalo apdorojimo algoritmą, tūrio nustatymo laikas sutrumpėtų kelis kartus. Išanalizavus kaip tiksliais žadinti rezonansą, tai yra kurioje vietoje geriau statyti garsiakalbį būtų įmanoma sumažinti eksperimentų metu gauto rezonansinio dažnio paklaidas.

## INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. FLOAT LEVEL GAUGE METHODS [interaktyvus]. Prieiga prie interneto <http://park-science.blogspot.lt/2015/05/float-level-gauge-methods.html> žiūrėta [2016-12-08]
2. Tarun Agarwal. Liquid Level Sensor – Different Types of Level Sensors and their Workings [interaktyvus]. Prieiga prie interneto <https://www.efxkits.co.uk/liquid-level-sensor-and-types-of-level-sensors/> žiūrėta [2016-12-08]
3. Jiayuan Wang. Liquid Level Sensing Using Capacitive-to-Digital Converters [interaktyvus]. Prieiga prie interneto <http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/liquid-level-sensing-using-cdcs.html> žiūrėta [2016-12-08]
4. R. Brunnader and G. Holler. Electroacoustic Model Based Pneumatic Fill-Level Measurement for Fluids and Bulk Solids. *Graz University of Technology, Graz, Austria. Oct 12, 1993*
5. Kajiuro WATANABE, Rinzo SUZUKI and Koushi YAMADA. Volume Measurement of Liquid in a Deformed Tank.
6. Kenn S. Bates, David B. Chang. Low frequency acoustic fuel sensor. *Hughes Aircraft Company*.
7. Ultrasonic level sensor [interaktyvus]. Prieiga prie interneto: <http://www.directindustry.com/prod/magnetrol/product-6020-1633245.html> žiūrėta [2016-12-08]
8. Brian J. Tucker, Aaron A. Diaz, and Brian A. Eckenrode. Advanced ultrasonic measurement methodology for non-invasive interrogation and identification of fluids in sealed containers. *Pacific Northwest National Laboratory*
9. A.B. Gillespie, M.O. Deighton, R.B. Pike, R.D. Watkins A new ultrasonic technique for the measurement of liquid level. *Oxfordshire, UK. 1981*.
10. Jenny Christensen and Todd Peterson. A Practical Approach to Selecting Continuous Level Sensors. 2014.
11. Marek Jaskuła, Witold Mickiewicz. The effect of lowering the resonant frequency of the loudspeaker during impedance measurement as a function of the signal power. *West Pomeranian University of Technology*
12. John Coffey. The Air Cavity, f -holes and Helmholtz Resonance of a Violin or Viola. *Cheshire, UK. 2013*.
13. Darrell Megli. AIR RESONANCE IN A PLASTIC BOTTLE. *University of Evansville, Evansville,*
14. Emile S. Webster and Clive E. Davies. The Use of Helmholtz Resonance for Measuring the Volume of Liquids and Solids. *Sensors 2010*.
15. K.-L. Koai, T. Yang, J. Chen, Yuan-Ze Institute. The Muffling Effect of Helmholtz Resonator Attachments to a Gas Flow Path. 1996.
16. Helmholtz Resonators - Basic Analytic Devices [interaktyvus]. Prieiga prie interneto [https://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu\\_lectures/lecture3%20%20helmholtz/helmholtz.html](https://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture3%20%20helmholtz/helmholtz.html).
17. John L. Murphy .Neutralizing L(e) with a Zobel [interaktyvus]. Prieiga prie interneto [https://trueaudio.com/st\\_zobel.htm](https://trueaudio.com/st_zobel.htm) žiūrėta [2018-01-19]
18. Mikrofono dažninė charakteristika [interaktyvus]. Prieiga prie interneto <http://www.rcl.lt/data/Aprasymai/IMIK01.jpg>
19. George N. Gibson, Ph.D. - Constructive and Destructive Interference [interaktyvus]. Prieiga prie interneto: [http://www.phys.uconn.edu/~gibson/Notes/Section5\\_2/Sec5\\_2.htm](http://www.phys.uconn.edu/~gibson/Notes/Section5_2/Sec5_2.htm) žiūrėta [2018-01-19]

# PRIEDAS

## Priedas 1. 55-ių litrų tiriamojo objekto rezultatų lentelė

### 4. Lentelė 55-ių litrų tiriamojo objekto eksperimentinių matavimų ir teorinių skaičiavimų rezultatai

Vandens kiekis, l	Eksperimentinis rezonansas, Hz	Teorinis rezonansas, Hz	Santykinė paklaida, %
0	61.6	61.6	0
1	62.36	62.16	0.32175
2	62.75	62.74	0.015939
4	63.78	63.96	0.281426
6	64.24	65.25	1.547893
8	64.97	66.63	2.49137
10	65.57	68.1	3.715125
12	66.76	69.66	4.163078
14	67.95	71.34	4.751892
16	69.14	73.14	5.468964
18	70.93	75.1	5.552597
20	72.12	77.21	6.59241
22	75.1	79.51	5.546472
24	76.29	82.04	7.008776
26	77.49	84.82	8.64183
28	80.47	87.9	8.452787
30	82.25	91.36	9.971541
32	84.64	95.25	11.13911
34	87.02	99.68	12.70064
36	91.79	104.79	12.40576
38	95.37	110.8	13.92599
40	105	117.95	10.97923
42	115	126.7	9.234412
44	122.9	137.7	10.748
46	134.9	152.3	11.42482
48	159.34	172.7	7.735958
50	179	204.3	12.38375
52	210	263.7	20.36405
53	283.69	323	12.17028

## Priedas 2. Signalo generavimo ir priėmimo kodas

```
clc;
clear all;
close all;
if verLessThan('matlab', '8')
    error('Matlab 8.0 (R2012b) or higher is required.');
```

```
end

% Open LibTiePie and display library info if not yet opened:
import LibTiePie.Const.*
import LibTiePie.Enum.*

if ~exist('LibTiePie', 'var')
    % Open LibTiePie:
    LibTiePie = LibTiePie.Library
end

% Search for devices:
LibTiePie.DeviceList.update();

% Try to open an oscilloscope with block measurement support and a generator in the same device:
clear scp;
clear gen;
for k = 0 : LibTiePie.DeviceList.Count - 1
    item = LibTiePie.DeviceList.getItemByIndex(k);
    if item.canOpen(DEVICETYPE.OSCILLOSCOPE) && item.canOpen(DEVICETYPE.GENERATOR)
        scp = item.openOscilloscope();
        if ismember(MM.BLOCK, scp.MeasureModes)
            gen = item.openGenerator();
            break;
        else
            clear scp;
        end
    end
end
clear item

if exist('scp', 'var') && exist('gen', 'var')
    % Oscilloscope settings:

    % Set measure mode:
    scp.MeasureMode = MM.BLOCK;

    % Set sample frequency:
    scp.SampleFrequency = 5e4; % 50 kHz

    % Set record length:
    scp.RecordLength = 100000; % 100000 Samples

    % Set pre sample ratio:
    scp.PreSampleRatio = 0; % 0 %

    % For all channels:
    for ch = scp.Channels
        % Enable channel to measure it:
        ch.Enabled = true;

        % Set range:
        ch.Range = 8; % 8 V
        % Set coupling:
```



```

    ch.Coupling = CK.DCV; % DC Volt
    % Release reference:
    clear ch;
end
% Set trigger timeout:
scp.TriggerTimeOut = 1; % 1 s
% Disable all channel trigger sources:
for ch = scp.Channels
    ch.Trigger.Enabled = false;
    clear ch;
end
% Locate trigger input:
triggerInput = scp.getTriggerInputById(TIID.GENERATOR_NEW_PERIOD); % or
TIID.GENERATOR_START or TIID.GENERATOR_STOP
if triggerInput == false
    clear triggerInput;
    clear scp;
    clear gen;
    error('Unknown trigger input!');
end
% Enable trigger input:
triggerInput.Enabled = true;
% Release reference to trigger input:
clear triggerInput;
% Generator settings:
% Set signal type:
gen.SignalType = ST.SINE;
% Set amplitude:
gen.Amplitude = 0.03; % 200 mV
% Set offset:
gen.Offset = 0; % 0 V
% Enable output:
gen.OutputOn = true;
startFrequency = 40;
stopFrequency = 210;
zingsnis = 0.01;
frequency = startFrequency:zingsnis:stopFrequency;
for index = 1:length(frequency)
    % Set frequency:
    if frequency(index) == 63
        frequency(index) = 63.2;
    end
    if frequency(index) == 100
        frequency(index) = 100.2;
    end
    gen.Frequency = frequency(index); % 1 kHz
    % Stop generator:
    gen.start();
    pause(50e-2)
    % Start measurement:
    scp.start();

    % Wait for measurement to complete:
    while ~scp.IsDataReady
        pause(10e-3) % 10 ms delay, to save CPU time.
    end
    % Get data:
    arData = scp.getData();
    data1(index,:) = arData(:,1);
    data2(index,:) = arData(:,2);

    % Get all channel data value ranges (which are compensated for probe gain/offset):
    clear darRangeMin;

```

```

clear darRangeMax;
for i = 1 : length(scp.Channels)
    [darRangeMin(i), darRangeMax(i)] = scp.Channels(i).getDataValueRange();
end
trueFrequency = gen.Frequency
trueFrequencyArray(index) = trueFrequency;
    acqTime = ((1:scp.RecordLength)/scp.SampleFrequency);
% acqTime = ((1:scp.RecordLength)/scp.SampleFrequency)';
Wtrue = 2*pi*trueFrequency;

    swcCH1 = SWC(acqTime, Wtrue, data1(index,:));
    garsiakalbis(index) = swcCH1;
    figure();
    plot(acqTime,data1(59,:),acqTime,abs(swcCH1)*cos(Wtrue.*acqTime+angle(swcCH1)));
    axis tight
    title('Signlo atk?rimas');
    garsiakalbioAtraminis(index)=swcCH1;
    grid on
    grid minor
    legend('Triukšmingas signalas', 'Atkurtas signalas')
    swcCH2 = SWCtruncated(acqTime, Wtrue, data2(index,:));
    mikrofonas(index) = swcCH2;

    figure(2);
    mikrofonoAtraminis(index) = swcCH2;
scp.SampleFrequency =(scp.RecordLength/25)*trueFrequency; % vienodas
% periodu sk.
% CH1(index) = garsiakalbis(index)/garsiakalbioAtraminis(index);
% CH2(index) = mikrofonas(index)/mikrofonoAtraminis(index);
% CH3(index) = mikrofonas(index)/ garsiakalbis(index);
CH1(index) = garsiakalbis(index);
CH2(index) = mikrofonas(index);
ampCH1(index) = 20*log10(abs(CH1(index)));
ampCH2(index) = 20*log10(abs(CH2(index)));
    % Stop generator:
    gen.stop();
end
    % Stop generator:
    gen.stop();
    % Disable output:
    gen.OutputOn = false;
end
b1 = (ampCH1)';
c1 = b1(1:end);
figure;
plot(trueFrequencyArray,c1);

grid on
grid minor
    b2 = (ampCH2)';
    b1 = b2(1:end);
    b1=b1-(max(b1));
    figure;
    plot(trueFrequencyArray,b1);
    load('backa0l');
    backa1l= c2;
    %save('backa0l.mat ','backa0l');

    figure(4)
    % hold on
    plot(trueFrequencyArray,backa1l)
    load('C:\Users\Edvinas\Desktop\TiePie\matvimai\Garsiaklabio dazinine.fig');

```