

# Mjerenje koeficijenta prigušenja ultrazvučnih valova u čvrstom tijelu

---

Škarica, Jelena

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Science / Sveučilište u Splitu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:166:601895>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-25**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Science](#)



Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet

**Mjerenje koeficijenta prigušenja ultrazvučnih  
valova u čvrstom tijelu**

Završni rad

Jelena Škarica

Split, rujan 2023.

## Temeljna dokumentacijska kartica

Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Odjel za fiziku  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Hrvatska

Završni rad

### Mjerenje koeficijenta prigušenja ultrazvučnih valova u čvrstom tijelu

Jelena Škarica

Sveučilišni prijediplomski studij Fizika

#### Sažetak:

Ultrazvuk se koristi u razne svrhe u različitim granama industrije zbog svoje preciznosti, brzine i mogućnosti nenarušavanja svojstava materijala koji se ispituju. U ovom radu se analizira koeficijent prigušenja ultrazvučnih valova u čvrstom tijelu. Ultrazvučnim ehoskopom se odredi amplituda reflektiranog ultrazvučnog vala koji prolazi kroz akril. Mjerenja se vrše na tri uzorka akrila različitih duljina kroz koja se reflektiraju ultrazvučni valovi s tri različite frekvencije. Obradom i usporedbom podataka se uočava da porastom frekvencije ultrazvučnog vala raste koeficijent prigušenja istog uz manja odstupanja. Do odstupanja je moglo doći zbog nepreciznog izmjenjivanja uzoraka akrila, očitavanja amplitude s grafa te zbog moguće nepreciznosti mjernih uređaja.

- Ključne riječi:** ultrazvuk, ultrazvučni ehoskop, koeficijent prigušenja, frekvencija, reflektirani val
- Rad sadrži:** 11 stranica, 6 slika, 4 tablica, 7 literaturnih navoda. Izvornik je na hrvatskom jeziku
- Mentor:** prof. dr. sc. Mile Dželalija
- Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Mile Dželalija  
izv. prof. dr. sc. Petar Stipanović  
Josipa Šćurla, mag. phys.
- Rad prihvaćen:** 21. rujan 2023.

Rad je pohranjen u knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilišta u Splitu.

|                                 |
|---------------------------------|
| <b>Basic documentation card</b> |
|---------------------------------|

University of Split  
Faculty of Science  
Department of Physics  
Ruđera Boškovića 33, 21000 Split, Croatia

Bachelor thesis

**Measurement of the attenuation coefficient of ultrasonic waves in a solid**

Jelena Škarica

University undergraduate study Physics

**Abstract:**

Ultrasound is used for various purposes in different branches of industry due to its precision, speed and the ability to non-destructively examine material properties. This study analyses the attenuation coefficient of ultrasonic waves in a solid body. The amplitude of the reflected ultrasonic wave passing through acrylic is determined using an ultrasonic echoscope. Measurements are conducted on three acrylic samples of different lengths through which ultrasonic waves of three different frequencies are reflected. By processing and comparing the data, it is observed that as frequency of ultrasonic wave increases, its attenuation coefficient also increases with minor deviations. Deviations may have occurred due to imprecise handling of acrylic samples, amplitude readings from the graph, and potential inaccuracies in measurement instruments.

**Keywords:** ultrasound, ultrasonic echoscope, attenuation coefficient, frequency, reflected wave

**Thesis consists of:** 11 pages, 6 figures, 4 tables, 7 references. Original language: Croatian

**Supervisor:** Prof. Dr. Mile Dželalija

**Reviewers:** Prof. Dr. Mile Dželalija  
Asoc. Prof. Dr. Petar Stipanović  
Josipa Šćurla, MSc. Phys.

**Thesis accepted:** September 21, 2023.

Thesis is deposited in the library of the Faculty of Science, University of Split.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Mili Dželaliji na stručnom vodstvu kroz završni rad, savjetima i podršci. Zahvaljujem i dr. sc. Krešimiru Dželaliji na pomoći pri vršenju mjerenja.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na razumijevanju, motivaciji i podršci tijekom prijediplomskog studija.

## Sadržaj

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Uvod .....</b>                        | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Metoda mjerenja .....</b>             | <b>2</b>  |
| 2.1      | Ekperimentalni postav .....              | 2         |
| 2.1.1    | Ultrazvučni ehoskop GS2000 .....         | 3         |
| 2.1.2    | Softverski program GS-Echo View .....    | 4         |
| 2.2      | Opis mjerenja .....                      | 5         |
| <b>3</b> | <b>Rezultati mjerenja .....</b>          | <b>6</b>  |
| <b>4</b> | <b>Obrada podataka i diskusija .....</b> | <b>7</b>  |
| <b>5</b> | <b>Zaključak .....</b>                   | <b>10</b> |
| <b>6</b> | <b>Literatura .....</b>                  | <b>11</b> |

## 1 Uvod

Zvuk je mehanički val frekvencija od 16 Hz do 20 kHz, odnosno unutar raspona čujnosti ljudskog uha. Kada je frekvencija zvuka niža od 16 Hz, on se naziva infrazvukom, a kada mu je frekvencija viša od 20 kHz naziva se ultrazvukom [1].

Ultrazvuk je longitudinalni mehanički val frekvencija u rasponu od 20 kHz do 1 GHz, valnih duljina u zraku do 0.5  $\mu\text{m}$ , dok su u tekućinama i čvrstim tijelima oko 4 do 12 puta veće zbog bržeg širenja vala. Određen je vlastitom amplitudom  $A$ , frekvencijom  $f$ , valnom duljinom  $\lambda$  i koeficijentom prigušenja  $\alpha$ . Prigušenje nastaje pri prijenosu ultrazvučnog vala kroz različite medije, a uzrokuje smanjenje amplitude s porastom udaljenosti. Koeficijent prigušenja  $\alpha$  definira se izrazom:

$$A = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (1)$$

gdje je  $A_0$  početna amplituda vala, a  $x$  udaljenost koju je prešao val [2,3].

Postojanje ultrazvučnih valova u prirodi je uočio Lazzaro Spallanzani 1794. godine promatrajući kako se šišmiši pri kretanju koriste visokofrekventnim odzivima postignutima nečujnim zvukom. Nedugo nakon je otkrivena sonografija koristeći se podvodnim zvonom, a daljnji razvoj primjene ultrazvuka bio je obilježen otkrivanjem piezoelektričnog efekta. Prva praktična primjena ultrazvuka je zabilježena tijekom Prvog svjetskog rata, a značajan razvoj je uslijedio nakon Drugog svjetskog rata [3].

Ultrazvučni valovi se proizvode piezoelektričnim, magnetostriksijskim, elektrostriksijskim, mehaničkim, elektrostatičkim i elektrodinamičkim pretvaračima. Primjena određenog pretvarača ovisi o vrsti ispitivanja koje se provodi. U ovom radu se koristi piezoelektrični pretvarač čiji se rad zasniva na piezoelektričnom učinku. Ultrazvučne valove proizvode piezoelektrični kristali kada se stave u izmjenično električno polje [2].

Danas se ultrazvuk primjenjuje u razne svrhe. U industriji se ultrazvučnim testiranjem materijala detektiraju mikropukotine, provjerava se kvaliteta te se ispituju složene konstrukcije. U medicini se primjenjuje u dijagnostici, opstetriciji, kardiologiji te u liječenju različitih reumatskih bolesti. U prehrambenoj industriji se koristi za sušenje voća i povrća, dezinfekciju i obradu. Ultrazvuk se koristi za mjerenje dubine i svojstava vode, istraživanje geoloških formacija i za čišćenje materijala. Za široku primjenu je zaslužno nerazorno svojstvo ultrazvučnih valova kojim prodiru kroz materijal, a pri tom ga ne oštećuju [3,4].

Ultrazvučni valovi se u ovom radu koriste kako bi se odredio koeficijent prigušenja valova u čvrstom tijelu. Prigušenje se promatra za tri različite frekvencije vala.

## 2 Metoda mjerenja

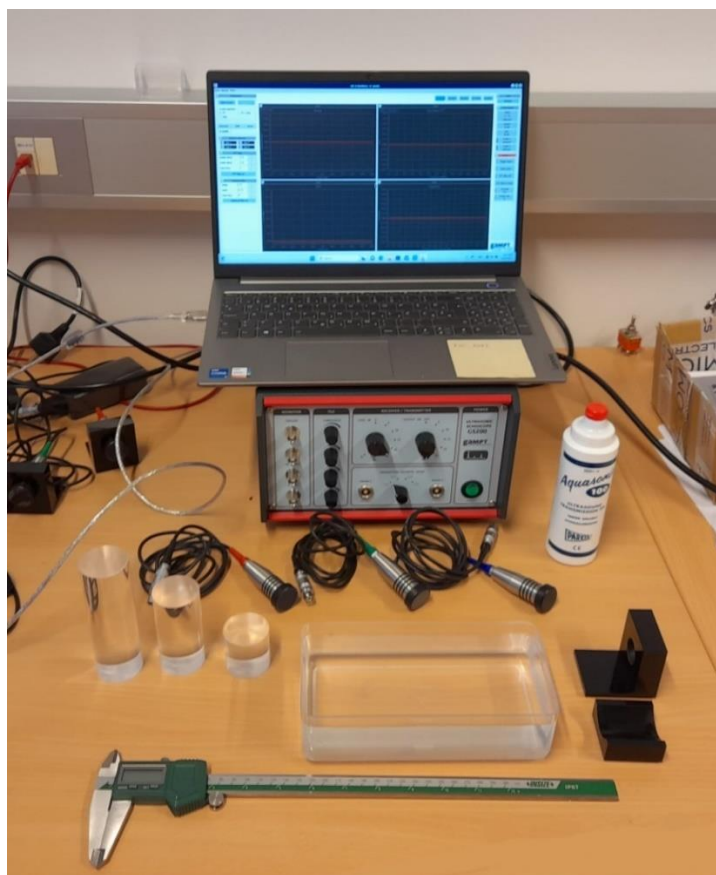
U ovom poglavlju je opisan eksperimentalni postav i postupak mjerenja.

### 2.1 Eksperimentalni postav

Kako bi se obavilo mjerenje potrebno je imati:

- ultrazvučni ehoskop GS2000,
- ultrazvučne sonde od 1MHz, 2 MHz i 4 MHz,
- držač za sondu,
- akrilne cilindre od 40 mm, 80 mm i 120 mm,
- držač za cilindar,
- gel za ultrazvuk,
- posudu,
- vodu,
- pomičnu mjerku i
- računalo s instaliranim softverskim programom GS-EchoView.

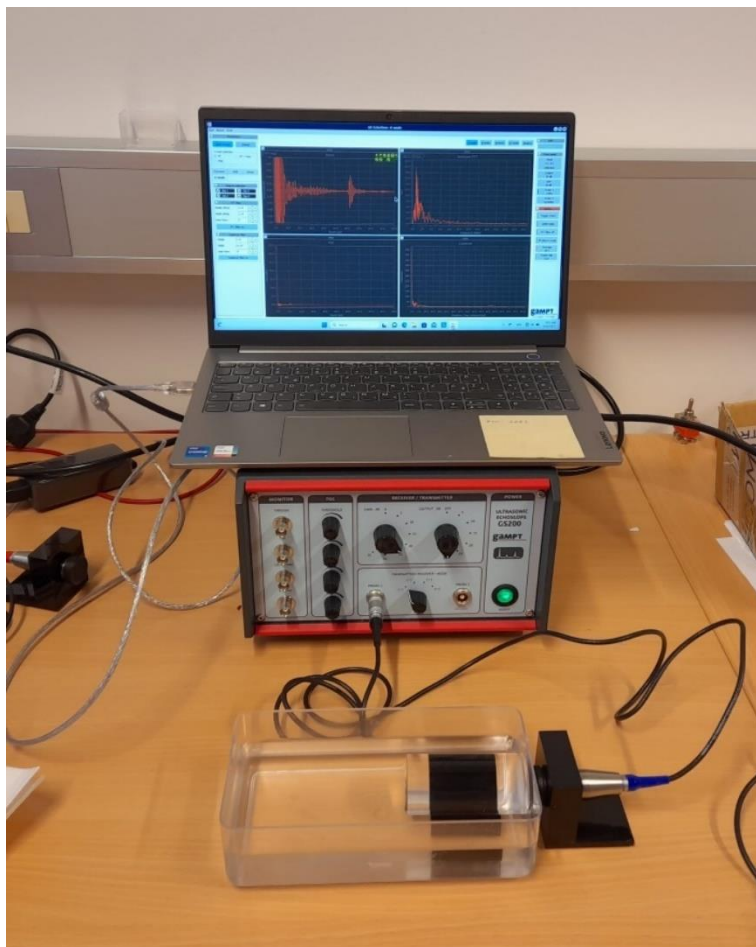
Elementi eksperimentalnog postava su prikazani na slici (*Slika 1.*).



*Slika 1. Elementi eksperimentalnog postava*



Za obavljanje mjerenja elemente treba postaviti kao što je prikazano na slici ispod (*Slika 2.*).



*Slika 2. Eksperimentalni postav*

### **2.1.1 Ultrazvučni ehoskop GS2000**

Ultrazvučnim ehoskopom se ispituju materijali, a njegov rad se temelji na odzivu ultrazvučnih valova. Vrijeme koje je potrebno ultrazvučnom valu da se transmitira ili reflektira kroz materijal daje nam informacije o strukturi materijala. Pri vršenju mjerenja koristi se ultrazvučni ehoskop GS2000, A-sken uređaj visoke rezolucije. Na slici (*Slika 3.*) se nalazi upravljačka ploča uređaja s kontrolnim elementima od kojih se za mjerenje koriste rotacijski prekidač pomoću kojeg se podešava funkcija sonde, njime se odabire koja će sonda biti transmitter, a koja prijemnik uz opcije da bude i transmitter i prijemnik te se koristi rotacijski prekidač gain funkcije kojim se povećava osjetljivost prijemnika u svrhu optimiziranja slike. Uređaj se priključuje na računalo putem USB kabela [5].



Slika 3. Upravljačka ploča ultrazvučnog ehoskopa GS2000

### 2.1.2 Softverski program GS-Echo View

Ultrazvučnim ehoskopom se upravlja pomoću softvera GS-Echo View koji je potrebno instalirati na računalo. Program se pokreće u A-modu što predstavlja mjerenje amplitude signala. Pokretanjem programa se dobije prikaz kao na slici (Slika 4.) gdje se s gornjeg lijevog grafa očita primljena amplituda signala [5].



Slika 4. Slika prikazuje pokrenut program pri mjerenju. Amplituda reflektiranog ultrazvučnog vala se očitava iz gornjeg lijevog grafa.

## 2.2 Opis mjerenja

Mjerenje se vrši tako da se izmjeri duljina akrilnog cilindra pomoću pomične mjerke, zatim se cilindar postavi na držač za cilindar te se stavi u posudu. Posuda se napuni vodom tako da prekriva cilindar. Ehoskop se priključi na računalo, zatim se ehoskop uključi u struju te se pokrene program na računalu. Na ehoskop se priključi sonda koja se prethodno postavi na držač te se pomoću rotacijskog prekidača na upravljačkoj ploči ehoskopa odabirom 1/1 ili 2/2 opcije sonda postavlja kao i emiter i prijemnik signala. Sonda i posuda se zatim spoje pomoću ultrazvučnog gela te se u programu pokrene A-sken. S računala se očita amplituda reflektiranog vala. Ako amplituda nije jasno vidljiva, potrebno je pomoću rotacijskog prekidača gain funkcije mijenjati osjetljivost prijemnika dok se slika ne optimizira. Mjerenje se ponavlja za tri duljine akrilnih cilindara i tri frekvencije sonde.

### 3 Rezultati mjerenja

Tablice sadrže podatke mjerenja za frekvencije 1 MHz (*Tablica 1.*), 2 MHz (*Tablica 2.*) i 4 MHz (*Tablica 3.*). Duljina  $L$  predstavlja duljinu cilindričnog akrila, a amplituda  $A$  amplitudu reflektiranog ultrazvučnog vala.

*Tablica 1.* Tablica prikazuje rezultate mjerenja ultrazvučnog vala frekvencije  $f = 1$  MHz. Za tri različite duljine akrilnih cilindara dobivene su amplitude reflektiranog ultrazvučnog vala. Amplituda je mjerena u voltima zbog proporcionalnosti napona sonde i amplitude ultrazvučnog vala.

| Duljina $L$ [mm] | Amplituda $A$ [V] |
|------------------|-------------------|
| 40               | 0.43              |
| 80               | 0.086             |
| 120              | 0.024             |

*Tablica 2.* Tablica prikazuje rezultate mjerenja ultrazvučnog vala frekvencije  $f = 2$  MHz. Za tri različite duljine akrilnih cilindara dobivene su amplitude reflektiranog ultrazvučnog vala. Amplituda je mjerena u voltima zbog proporcionalnosti napona sonde i amplitude ultrazvučnog vala.

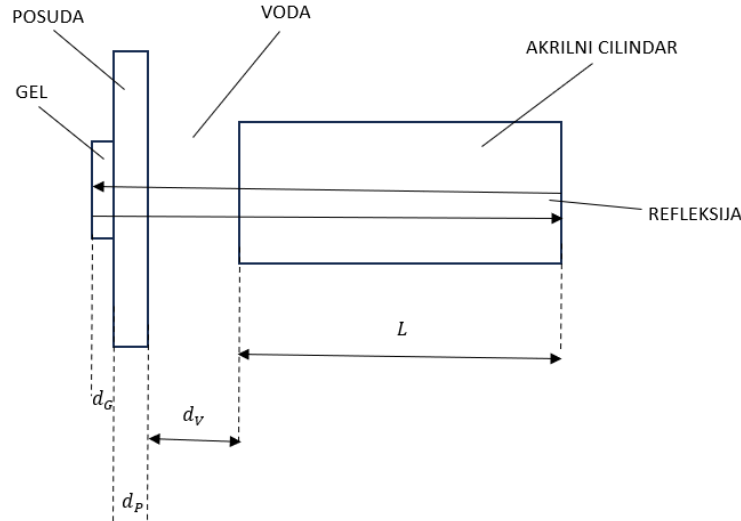
| Duljina $L$ [mm] | Amplituda $A$ [V] |
|------------------|-------------------|
| 40               | 0.64              |
| 80               | 0.119             |
| 120              | 0.02              |

*Tablica 3.* Tablica prikazuje rezultate mjerenja ultrazvučnog vala frekvencije  $f = 4$  MHz. Za tri različite duljine akrilnih cilindara dobivene su amplitude reflektiranog ultrazvučnog vala. Amplituda je mjerena u voltima zbog proporcionalnosti napona sonde i amplitude ultrazvučnog vala.

| Duljina $L$ [mm] | Amplituda $A$ [V] |
|------------------|-------------------|
| 40               | 0.92              |
| 80               | 0.031             |
| 120              | 0.002             |

## 4 Obrada podataka i diskusija

Pomoću rezultata mjerenja potrebno je odrediti koeficijent prigušenja. Prema eksperimentalnom postavu val prolazi kroz gel, stijenke posude, vodu te dolazi do akrilnog cilindra gdje se reflektira kao što je prikazano na slici (*Slika 5.*).



*Slika 5. Shematski prikaz refleksije ultrazvučnog vala prema eksperimentalnom postavi*

Reflektirani signal se promatra prema izrazu:

$$A_R(L) = A_0 e^{-\alpha_G d_G} (1 - R_{PG}) e^{-\alpha_P d_P} (1 - R_{VP}) e^{-\alpha_V d_V} (1 - R_{AV}) e^{-\alpha_A L} R_{VA} e^{-\alpha_A L} (1 - R_{VA}) e^{-\alpha_V d_V} (1 - R_{PV}) e^{-\alpha_P d_P} (1 - R_{GP}) e^{-\alpha_G d_G} \quad (2)$$

gdje je  $A_R$  amplituda detektiranog reflektiranog pulsa,  $A_0$  izlazna amplituda,  $G, P, V, A$  redom oznake za gel, posudu, vodu i akril,  $\alpha_G, \alpha_P, \alpha_V, \alpha_A$  koeficijenti prigušenja kroz označeni medij  $d_G, d_P, d_V$  duljine označenog medija,  $L$  duljina uzorka akrila,  $R_{ij}$  koeficijent refleksije pulsa koji prolazi kroz medij  $j$  te se reflektira na granici s medijem  $i$  [6].

Kako bi se došlo do koeficijenta prigušenja, u omjer se uzimaju izmjereni reflektirani signali za različite duljine uzorka:

$$\frac{A_R(L_1)}{A_R(L_2)} = e^{2\alpha_A (L_2 - L_1)} \quad (3)$$

Intenzitet zvuka je proporcionalan s kvadratom amplitude vala i s kvadratom tlaka zvuka, što dovodi do proporcionalnosti amplitude i tlaka [7]. Pri mjerenju se koristi ultrazvučna sonda koja proizvodi napon koji je proporcionalan tlaku zvuka pa time i amplitudi vala [3], stoga vrijedi:

$$\frac{A_R(L_1)}{A_R(L_2)} \sim \frac{V_R(L_1)}{V_R(L_2)} = e^{2\alpha_A (L_2 - L_1)} \quad (4)$$

Logaritmiranjem izraza (4) te pretvorbom nepera u decibele dobije se izraz za prigušenje izraženo u decibelima po duljini:

$$\alpha = \frac{1}{2(L_2 - L_1)} 20 \log \left( \frac{V_1}{V_2} \right). \quad (5)$$

Uvrštavanjem rezultata mjerenja u izraz (5) dobiju se koeficijenti prigušenja za tri različite frekvencije u akrilu. Srednja vrijednost koeficijenta prigušenja i pripadna standardna devijacija se dobiju prema formulama:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n}, \quad (6)$$

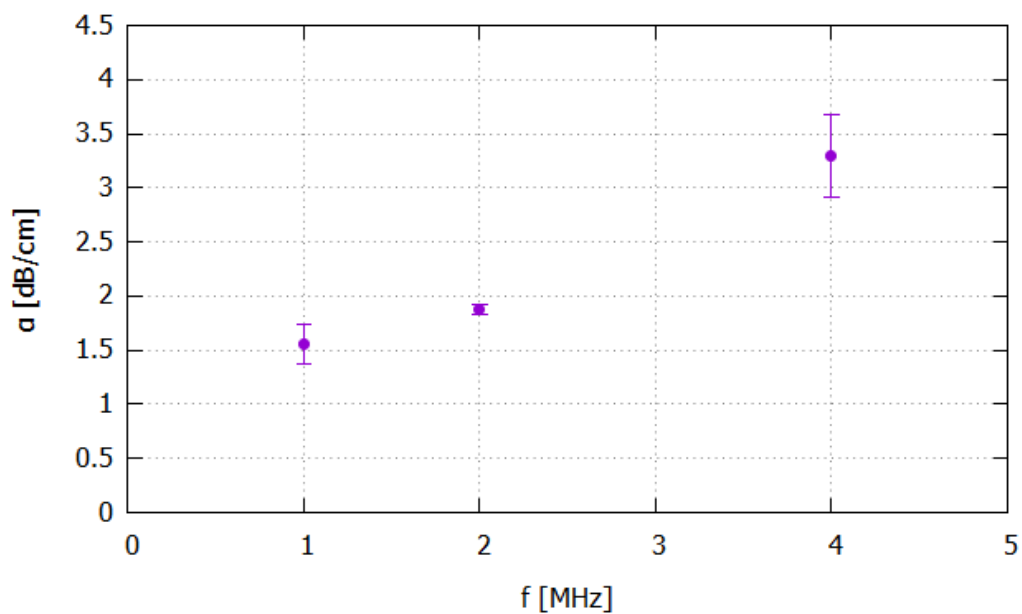
$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n(n+1)}}. \quad (7)$$

Tablica (**Tablica 4.**) prikazuje vrijednost koeficijenta prigušenja uz pripadne standardne devijacije ultrazvučnog vala u akrilu za tri različite frekvencije.

**Tablica 4.** Tablica prikazuje rezultate obrade izmjerenih podataka. Koeficijent prigušenja ultrazvučnih valova se povećava s porastom frekvencije vala.

| Frekvencija $f$ [MHz] | Koeficijent prigušenja $\alpha$ [dB/cm] |
|-----------------------|---|
| 1                     | $1.56 \pm 0.18$                         |
| 2                     | $1.88 \pm 0.05$                         |
| 4                     | $3.3 \pm 0.38$                          |

Na slici (**Slika 6.**) se nalazi graf ovisnosti koeficijenta prigušenja s pripadnim standardnim devijacijama o različitim frekvencijama. Ispunjeni krug na grafu predstavlja srednju vrijednost koeficijenta. Najveće odstupanje se bilježi za frekvenciju 4 MHz, dok je najmanje pri mjerenju s frekvencijom 2 MHz. Prilikom mjerenja pri promjeni akrilnih cilindara različitih duljina potrebno je postaviti svaki u identičan položaj prethodnom u odnosu na sondu koja je gelom priljubljena na posudu. Zabilježena odstupanja posljedica su nepreciznosti postavljanja akrilnih cilindara pri njihovom mijenjanju. Iznos koeficijenta prigušenja u akrilu raste s povećanjem frekvencije.



*Slika 6. Graf prikazuje ovisnost koeficijenta prigušenja ultrazvučnih valova u akrilu o različitim frekvencijama*

## 5 Zaključak

Mjerenja koeficijenata prigušenja su obavljena sa zadovoljavajućom preciznosti, zbog čega bi se moglo zaključiti da koeficijent prigušenja ultrazvučnih valova u akrilu raste s porastom frekvencije. Za preciznije određivanje ovisnosti potrebno je obaviti mjerenja s više sondi različitih frekvencija i više različitih duljina uzoraka akrila. Odstupanja koja su nastala u radu mogu biti uzrokovana ljudskim faktorom što se očituje kroz neprecizno mijenjanje cilindara te očitavanje amplituda s grafa na A-skenu. Greške su mogle nastati i zbog moguće nepreciznosti mjernih instrumenata.

Mjerenja su se vršila na uzorcima akrila različitih duljina, stoga se mogu primijeniti na razna druga čvrsta tijela. Istraživanja se dalje mogu vršiti usporedbom koeficijenata prigušenja čvrstih tijela različitih materijala i istih dimenzija. Mogu se promatrati čvrsta tijela koja u sebi sadrže pukotinu pa se može odrediti položaj pukotine i koeficijent prigušenja takvog tijela usporediti s onim bez pukotine. Daljnjim radom se uz primjenu više različitih frekvencija može doći do precizne ovisnosti koeficijenta prigušenja o frekvenciji za razna tijela. Prema istom principu moguće je izvesti mjerenja za koeficijent prigušenja ultrazvučnih valova u tekućinama, stoga se opisanom načinom mjerenja mogu opisati razna svojstva čvrstih tijela i tekućina.



## 6 Literatura

- [1] Zvuk, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=67594> (10.9.2023.)
- [2] Ultrazvuk, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=63120> (10.9.2023.)
- [3] Dale Ensminger: *Ultrasonics*, Marcel Dekker, New York, 1988.
- [4] A. Režek Jambrak, V. Lelas, Z. Herceg, M. Badanjak, Z. Werner: *Primjena ultrazvuka visoke snage u sušenju voća i povrća*, *Kemija u industriji*, **59 (4)**, 167-177, 2010. URL: <https://hrcak.srce.hr/50494> (10.9.2023.)
- [5] Dr. Michael Schultz, Dr. Grit Oblonczek: *Catalogue education: Ultrasound in Physics, Medicine and Technique*
- [6] Krešimir Dželalija: *Mjerenje brzine ultrazvuka u krutini*
- [7] F.J.Fahy: *Sound intensity*, London, 1995.