

# Analiza ovisnosti brzine širenja ultrazvučnog vala u tekućinama

---

**Pavić, Marijana**

**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:166:781984>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Science](#)



Sveučilište u Splitu  
Prirodoslovno-matematički fakultet

**ANALIZA OVISNOSTI BRZINE ŠIRENJA  
ULTRAZVUČNOG VALA U TEKUĆINAMA**

Završni rad

Marijana Pavić

Split, rujan 2023.



## Temeljna dokumentacijska kartica

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

Završni rad

### Analiza ovisnosti brzine širenja ultrazvučnog vala u tekućinama

Marijana Pavić

Sveučilišni preddiplomski studij Fizika

#### Sažetak:

Ultrazvučna tehnologija izrazito je primjenjiva, ponajviše u medicini te se često koristi u znanstvenim istraživanjima. Pomoću nje mogu se opisati svojstva različitih materijala. U ovom radu analiziramo ovisnost brzine širenja ultrazvučnog vala u tekućinama. Pomoću ultrazvučnog ehoskopa određujemo vrijeme potrebno ultrazvučnom valu da prođe kroz tekućinu. Iz izmjenjenog vremena i duljine posude računamo brzinu vala za različite masene koncentracije šećera u destiliranoj vodi. Mjerenja se rade za tri različite frekvencije te se iz istih primjećuje približno linearna ovisnost uz manje greške. Greške su mogle nastati zbog nepreciznog očitavanja vremena s grafa na monitoru, neprecizne koncentracije šećera u destiliranoj vodi te nepreciznosti uređaja. Istraživanje provedeno u radu može se primijeniti i na kruta tijela.

**Ključne riječi:** ultrazvuk, ultrazvučni ehoskop, brzina, frekvencija, transmitirani val, reflektirani val

**Rad sadrži:** 12 stranica, 4 slika, 5 tablica, 5 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  
mag. phys. Josipa Šćurla

**Rad prihvaćen:** 11. rujana, 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

**Analysis of the dependence of the ultrasonic speed in liquids**

Marijana Pavić

University undergraduate study programme Physics

**Abstract:**

Ultrasound technology is extremely applicable, mostly in medicine and is often used in scientific research. It can be used to describe the properties of different materials. In this paper we analyse the dependence on the speed of propagation of the ultrasonic wave in liquids. Using an ultrasonic echoscope, we determine the time it takes the ultrasonic wave to cross the liquid. From the measured time and length of the vessel, we calculate the wave rate for different mass concentrations of sugar in distilled water. The measurements are done for three different frequencies, from which we observe approximately linear dependence with minor errors. The errors could have occurred due to imprecise reading of time from the graph on the monitor and concentration of sugar in distilled water or imprecision of the device. The research carried out in the paper can also be applied to solid bodies.

**Keywords:** ultrasound, ultrasonic echoscope, speed, frequency, transmitted wave, reflected wave

**Thesis consists of:** 12 pages, 4 figures, 5 tables, 5 references. Original language: Croatian

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

**Reviewers:** Prof. Dr. Mile Dželalija  
Asoc. Prof. Dr. Petar Stipanović  
mag. phys. Josipa Šćurla

**Thesis accepted:** September 11, 2023.

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

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Mili Dželaliji na mentorstvu te pomoći i podršci pri pisanju završnog rada. Zahvaljujem i dr. sc. Krešimiru Dželaliji na pomoći pri vršenju mjerenja.

Zahvaljujem svim profesorima Prirodoslovno-matematičkog fakulteta koji su imali ulogu u stjecanju mog znanja te se ophodili prijateljski. Zahvalila bih i „tetama u referadi“ koje su uvijek strpljive i pristupačne te su uvijek studentima pri pomoći.

Najviše bih zahvalila svojoj obitelji i prijateljima na ljubavi i podršci koju su mi pružali tijekom ovog preddiplomskog studija, bez kojih smatram da ne bih bila ovdje gdje jesam.

## Sadržaj

<b>1</b>	<b>Uvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metode mjerenja .....</b>	<b>3</b>
2.1	Mjerni postav .....	3
2.1.1	Softver .....	4
2.1.2	Ultrazvučni ehoskop GS200.....	4
2.2	Postupak mjerenja.....	5
<b>3</b>	<b>Rezultati mjerenja .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Obrada podataka i diskusija.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Zaključak .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>12</b>

# 1 Uvod

Ultrazvuk se počeo razvijati još u doba Prvog svjetskog rata te se značajno razvio tek nakon Drugog svjetskog rata. Njegovo korištenje nije ograničeno samo na ljude, nego ga možemo uočiti i u prirodi. Poznato je kako šišmiši koriste ultrazvuk kao navigaciju i za potragu plijena, dupinima služi za komunikaciju te moljcima za sustav samoobrane [1].

Zvučni valovi su valovi koji se šire kroz materijal oscilacijama čestica tog materijala. Oni se mogu prenositi kroz plinove, tekućine i krutine. Nastaju kada izvor vibrira i uzrokuje oscilacije okolnih čestica. Te oscilacije se šire materijalom u obliku zgušnjavanja i razrjeđenja čestica stvarajući val. Zvučne valove opisujemo njihovom frekvencijom, amplitudom i brzinom širenja. Ultrazvuk se odnosi na zvučne valove čije su frekvencije iznad onih koje „čuje“ prosječna osoba što je otprilike 20 kHz. U zraku valne duljine ultrazvučnih valova iznose do 0,5  $\mu\text{m}$ , a u tekućinama i čvrstim tijelima su 4-12 puta veće zbog veće brzine širenja ultrazvuka. Ultrazvučni valovi su longitudinalni mehanički valovi koje karakteriziraju čestice koje se šire u smjeru gibanja vala, a kažemo da su i elastični jer je elastično svojstvo medija odgovorno za vibracije potrebne za propagaciju vala. Ultrazvučni valovi mogu se generirati različitim tehnikama a najčešće korištena je piezoelektrični efekt. Piezoelektrični kristali generiraju ultrazvučne valove kada se podvrgnu električnoj struji. Ovisno o primjeni mogu se koristiti razni uređaji za generiranje zvuka, ali u ovome radu generirali su se pomoću piezoelektrika [1,2].

Izvor ultrazvučnih valova je transmitter čiji signal prima prijemnik. Ultrazvučni transmitter je uređaj koji generira poremećaj od kojeg proizlazi ultrazvučni val. To može biti zviždaljka, piezoelektrična ploča, sirena vozila ili neki drugi mehanički uređaj magnetostriktivne prirode. Ultrazvučni prijemnici su uređaji koji primaju ultrazvučni signal. Najjednostavniji primjer bi bile naše uši koje pasivno primaju signal koji se kao informacija bilježi u mozgu te mikrofoni, neki prijemnici piezoelektričnog tipa te prijemnici magnetostriktivne prirode [1].

Ultrazvučna tehnologija je danas izrazito primjenjiva u različitim industrijama. U medicini se primjenjuje kod ultrazvučne dijagnostike za pregled unutarnjih organa i tkiva te terapijske svrhe. Metoda ne koristi zračenje pa se često primjenjuje na trudnice kako bi se pratila trudnoća i razvoj fetusa. U industriji služi za kontrolu kvalitete i za obradu materijala. Korisna je u znanstvenim istraživanjima kod proučavanja svojstava materijala i na nekim drugim područjima te je raširena i na industriju hrane i pića gdje se koristi u svrhu sprječavanja oštećenja hrane te za dezinfekciju i obradu. U ekologiji je ultrazvuk koristan za mjerenje dubine i svojstava vode te za praćenje ekosustava, npr. kretanje i brojnost morskih životinja, te se u informatici ultrazvučni senzori koriste za detekciju i mjerenja udaljenosti objekata. U geofizičkim istraživanjima, ultrazvukom se istražuju podzemne strukture, geološke formacije i mineralna nalazišta. Pomoću ultrazvuka se čiste osjetljivi predmeti kao što su optičke



komponente i nakit. Ovakva široka primjena očituje se i zbog sposobnosti da ultrazvučni valovi prodiru kroz različite materijale bez oštećenja istih [1,3].

U ovom radu ultrazvučni valovi služili su kako bi se odredila brzina valova u tekućinama različitih koncentracija odabrane tvari (ovdje šećera). Brzinu valova promatrali smo u ovisnosti o tri različite frekvencije.

## 2 Metode mjerenja

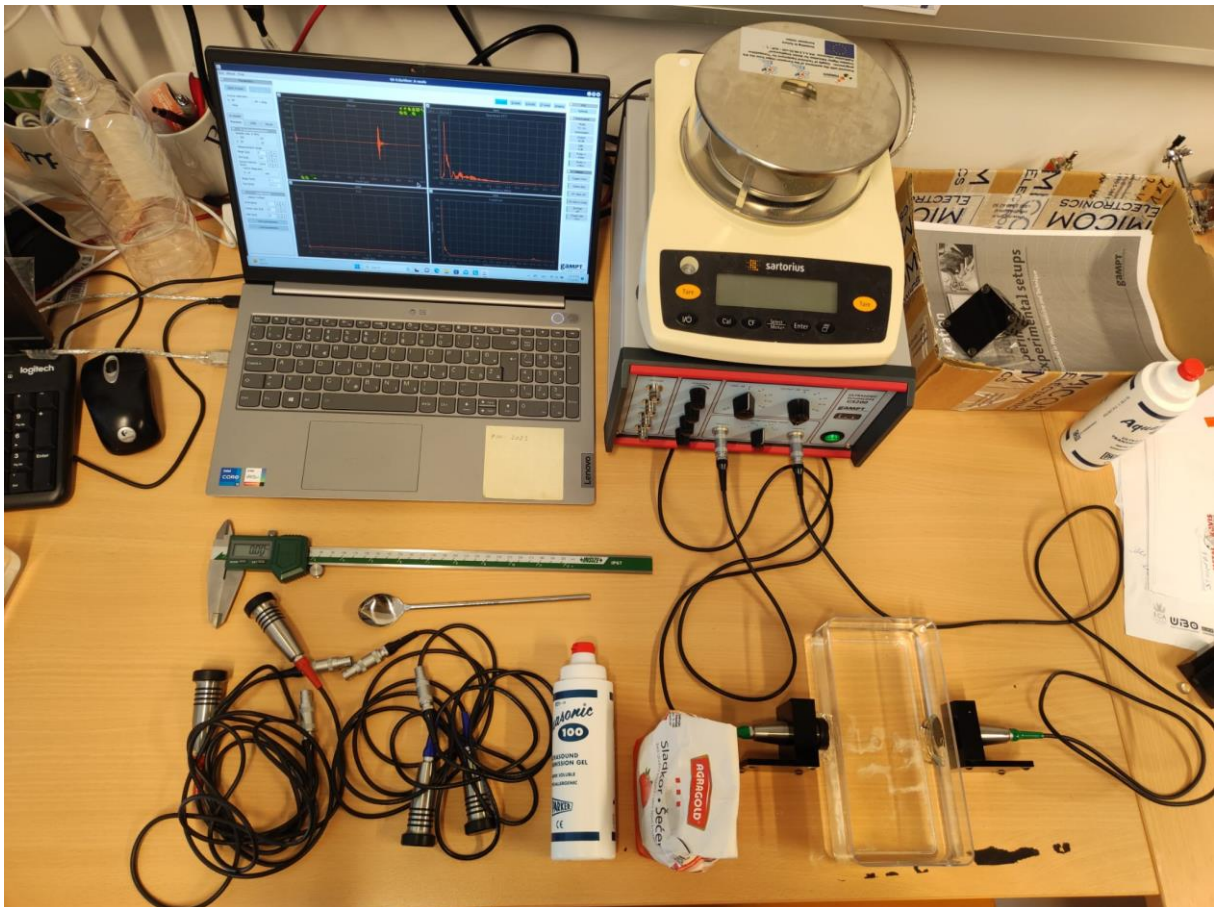
U ovome dijelu rada bit će opisani mjerni postav i mjerni uređaj koji smo koristili pri mjerenju te postupak kojim smo mjerili.

### 2.1 Mjerni postav

Za mjerenje su nam potrebni:

- Ultrazvučni ehoskop GS200 s tri različite sonde frekvencija 1 MHz, 2 MHz i 4 MHz
- Vaga
- Šećer
- Destilirana voda
- Gel za ultrazvuk
- Posuda
- Žlica
- Računalo s instaliranim programom
- Pomična mjerka

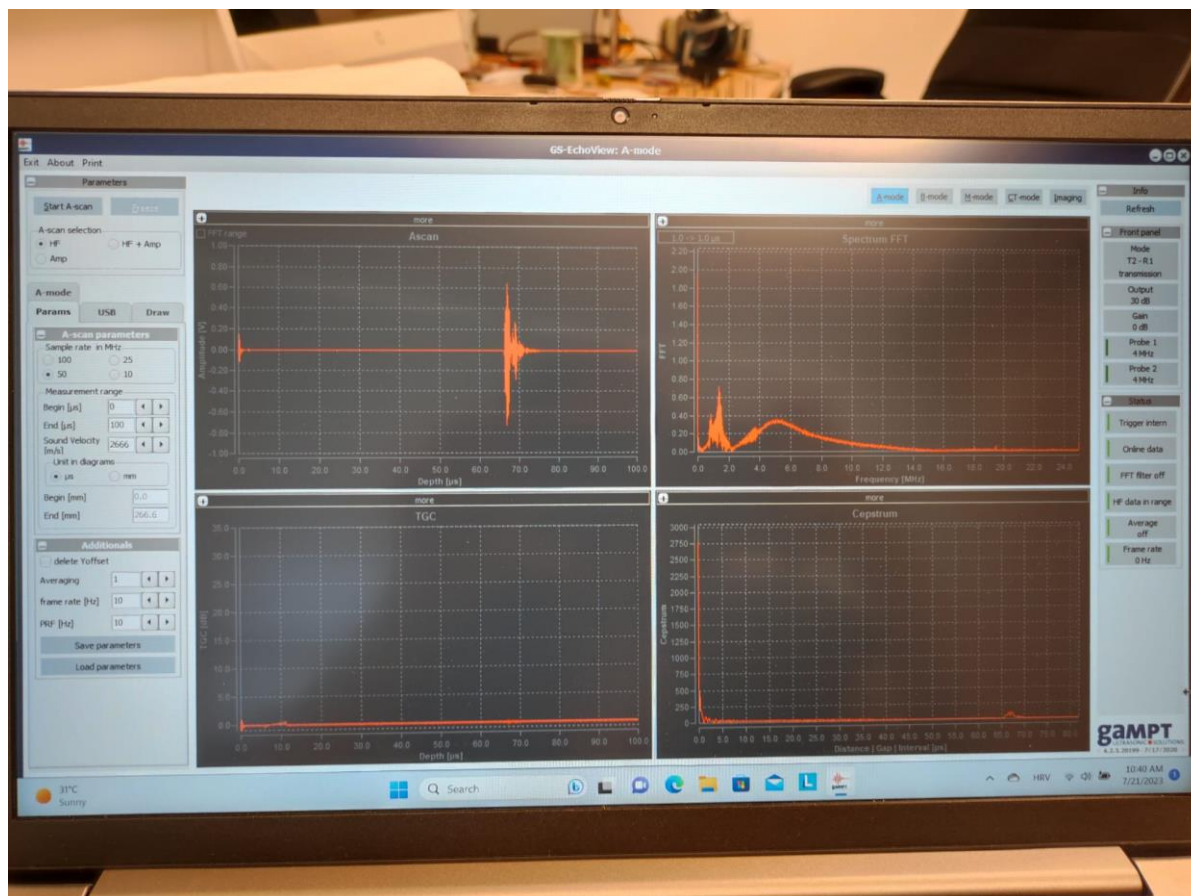
Navedene stavke potrebno je postaviti kao što je prikazano na slici (*Slika 1.*).



*Slika 1. Mjerni postav*

## 2.1.1 Softver

Program<sup>1</sup> se koristi za upravljanje, bilježenje, procjenu i prikaz izmjerenih podataka dohvaćenih ehoskopom te ga je potrebno prethodno instalirati na računalo. Program pokrećemo u A-modu koji označava amplitudni signal te njegovim pokretanjem i mjerenjem signala dobivamo prikaz kao na slici (*Slika 2.*). Na istoj slici lijevo možemo mijenjati postavke po potrebi ako želimo proširiti  $x$  ili  $y$  os grafa, povećati dijelove koje promatramo i tomu slično [4].



*Slika 2.* Pri pokretanju programa vidimo prikaz sa slike. U gornjem lijevom kutu se nalazi graf s kojega očitavamo vrijeme potrebno da ultrazvučni val dođe od transmitera do prijemnika.

## 2.1.2 Ultrazvučni ehoskop GS200

Ultrazvučni ehoskop služi za ispitivanje materijala i stvaranje slika temeljem odraza ultrazvučnih valova. Na temelju vremena potrebnog da se ultrazvučni val reflektira ili transmitira možemo saznati informacije o strukturi materijala te možemo ispitati razne ovisnosti (npr. ovisnost brzine o frekvenciji ultrazvučnog vala kroz neki materijal). Za mjerenja se koristi ultrazvučni ehoskop GS200 koji je A-mod uređaj visoke rezolucije. Većina kontrolnih

<sup>1</sup> Program se instalira na [www.gampt.de](http://www.gampt.de).

elementa uređaja nalazi se na prednjoj strani uređaja kao što je prikazano na slici (*Slika 3.*). Među njima su rotacijski prekidači pomoću kojih podešavamo transmisiju ili refleksiju sonde, odnosno želimo li da nam jedna sonda i transmitira i prima val (refleksija) ili da nam jedna transmitira val a druga prima (transmisija). Mjerenja smo vršili promatrajući tri različite frekvencije: 1 MHz, 2 MHz i 4 MHz kojima odgovaraju tri različita kabela na slici (*Slika 1.*) [4].



*Slika 3.* Na slici je prikazan ultrazvučni ehoskop GS200. Sa prednje strane se nalaze kontrolni elementi uređaja.

## 2.2 Postupak mjerenja

Na početku mjerenja prvo priključimo računalo na ehoskop te ehoskop uključimo u struju i pokrenemo program na računalo. Zatim je potrebno uliti vodu u posudu i spojiti sondu s posudom pomoću gela za ultrazvuk. Na računalo pokrećemo A-sken. Pomoću rotacijskog prekidača (*Slika 3.*) mijenjamo funkciju sonde tako da nam obe sonde mogu biti i transmitter i primatelj te da nam jedna sonda može biti transmitter, a druga primatelj i obratno. S računala očitamo početak vremena primanja signala primatelja za sve navedene opcije. Postupak

ponavljamo za sve tri frekvencije. Zatim dodajemo šećer u vodu pomoću vage tako da nam maseni udio šećera u vodi bude 1 % i ponavljamo postupak. Mjerenja smo ponovili za masene koncentracije 2 %, 10 % i 15 % gdje je trebalo paziti da se šećer u potpunosti otopi u vodi što smo postigli miješajući žlicom.

### 3 Rezultati mjerenja

Duljina posude u koju smo ulili vodu je  $d = 97,34$  mm. U tablicama ispod prikazani su rezultati mjerenja za različite masene udjele;  $n = 0 \%$ ,  $n = 1 \%$ ,  $n = 2 \%$ ,  $n = 10 \%$  i  $n = 15 \%$ . U tablicama, 1/1 govori da je prva sonda i transponder i prijemnik, 2/2 da je druga sonda i transponder i prijemnik, 1/2 da je prva sonda transponder, a druga prijemnik te 2/1 da je druga sonda transponder, a prva prijemnik. Bilo je potrebno kod svake masene koncentracije za svaku frekvenciju izmjeriti svako potrebno vrijeme za sve navedene moguće kombinacije transpondera i prijemnika sonde kako bismo mogli najpreciznije odrediti vrijeme što će biti detaljnije opisano u idućem poglavlju.

**Tablica 1.** U ovoj tablici prikazani su rezultati mjerenja za maseni udio  $n=0 \%$ . Za tri različite frekvencije dobili smo vrijeme potrebno da ultrazvučni val prevali put od transpondera do prijemnika. Za svaku frekvenciju dobili smo četiri različita vremena ovisno o tome koja je sonda transponder, a koja prijemnik.

	frekvencija $f$ [MHz]		
	1	2	4
	vrijeme $t$ [ $\mu$ s]		
1/1	130,6	130,5	130,9
1/2	66,4	66,3	66,6
2/1	66,4	66,3	66,6
2/2	130,6	130,7	130,9

**Tablica 2.** U ovoj tablici prikazani su rezultati mjerenja za maseni udio  $n=1 \%$ . Za tri različite frekvencije dobili smo vrijeme potrebno da ultrazvučni val prevali put od transpondera do prijemnika. Za svaku frekvenciju dobili smo četiri različita vremena ovisno o tome koja je sonda transponder, a koja prijemnik.

	frekvencija $f$ [MHz]		
	1	2	4
	vrijeme $t$ [ $\mu$ s]		
1/1	130,6	130,3	130,4
1/2	66,3	66,2	66,2
2/1	66,3	66,2	66,2
2/2	130,6	130,5	130,5

**Tablica 3.** U ovoj tablici prikazani su rezultati mjerenja za maseni udio  $n=2 \%$ . Za tri različite frekvencije dobili smo vrijeme potrebno da ultrazvučni val prevali put od transpondera do prijemnika. Za svaku frekvenciju dobili smo četiri različita vremena ovisno o tome koja je sonda transponder, a koja prijemnik.



	frekvencija $f$ [MHz]		
	1	2	4
	vrijeme $t$ [ $\mu$ s]		
1/1	130,2	130,2	130,3
1/2	66	66	66,2
2/1	66,1	66	66,3
2/2	130,4	130,1	130,5

**Tablica 4.** U ovoj tablici prikazani su rezultati mjerenja za maseni udio  $n=10$  %. Za tri različite frekvencije dobili smo vrijeme potrebno da ultrazvučni val prevali put od transmitera do prijemnika. Za svaku frekvenciju dobili smo četiri različita vremena ovisno o tome koja je sonda transmieter, a koja prijemnik.

	frekvencija $f$ [MHz]		
	1	2	4
	vrijeme $t$ [ $\mu$ s]		
1/1	128,7	128,7	128,6
1/2	65,4	65,7	65,3
2/1	65,4	65,6	65,3
2/2	128,9	129	128,6

**Tablica 5.** U ovoj tablici prikazani su rezultati mjerenja za maseni udio  $n=15$  %. Za tri različite frekvencije dobili smo vrijeme potrebno da ultrazvučni val prevali put od transmitera do prijemnika. Za svaku frekvenciju dobili smo četiri različita vremena ovisno o tome koja je sonda transmieter, a koja prijemnik.

	frekvencija $f$ [MHz]		
	1	2	4
	vrijeme $t$ [ $\mu$ s]		
1/1	127,5	127,5	127,6
1/2	64,9	64,9	64,9
2/1	64,9	64,9	64,9
2/2	127,6	127,5	127,7

## 4 Obrada podataka i diskusija

Temeljem rezultata mjerenja potrebno je obraditi podatke i promotriti ovisnost brzine o masenoj koncentraciji šećera u tekućini. Promatrajući val primjećujemo kako prvo prolazi kroz gel, zatim kroz stijenke posude i tek onda dolazi do tekućine pa je prvo potrebno izračunati vrijeme koje val provede u uzorku (tekućini). Vrijeme za koje se val zadržao u svakoj stijenci ne mora biti jednako jer stijenke mogu biti različitih debljina, stoga radimo usrednjenje mjerenja transmitiranog vala i reflektiranog vala od prve do druge sonde i obratno:

$$t = \frac{t_{1/1} + t_{2/2}}{2} \quad i \quad t = \frac{t_{1/2} + t_{2/1}}{1} \quad (1)$$

Kod transmisije (*Slika 4.*) ukupno vrijeme  $t_1$  zapisujemo kao zbroj vremena koje je val proveo u stijenka posude  $\delta t$  i u uzorku  $t_d$ :

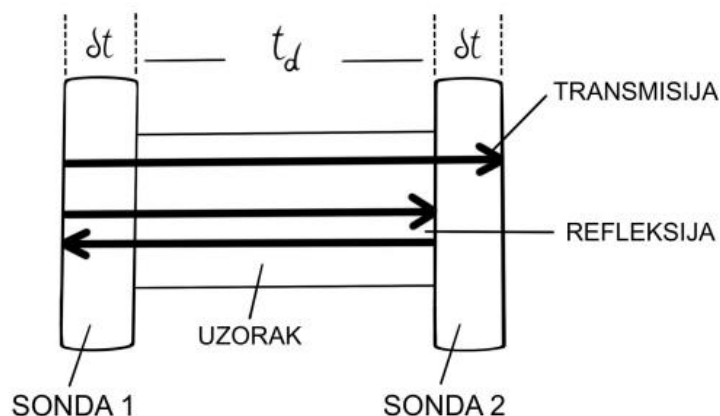
$$t_1 = 2\delta t + t_d. \quad (2)$$

Kod refleksije (*Slika 4.*) ukupno vrijeme  $t_2$  može se zapisati kao:

$$t_2 = 2\delta t + 2t_d. \quad (3)$$

Oduzimanjem jednadžbi (2) i (3) dobije se vrijeme koje val provede u uzorku:

$$t_d = t_2 - t_1. \quad (4)$$



*Slika 4. Slika prikazuje transmisiju i refleksiju među dvjema sondama [5]*

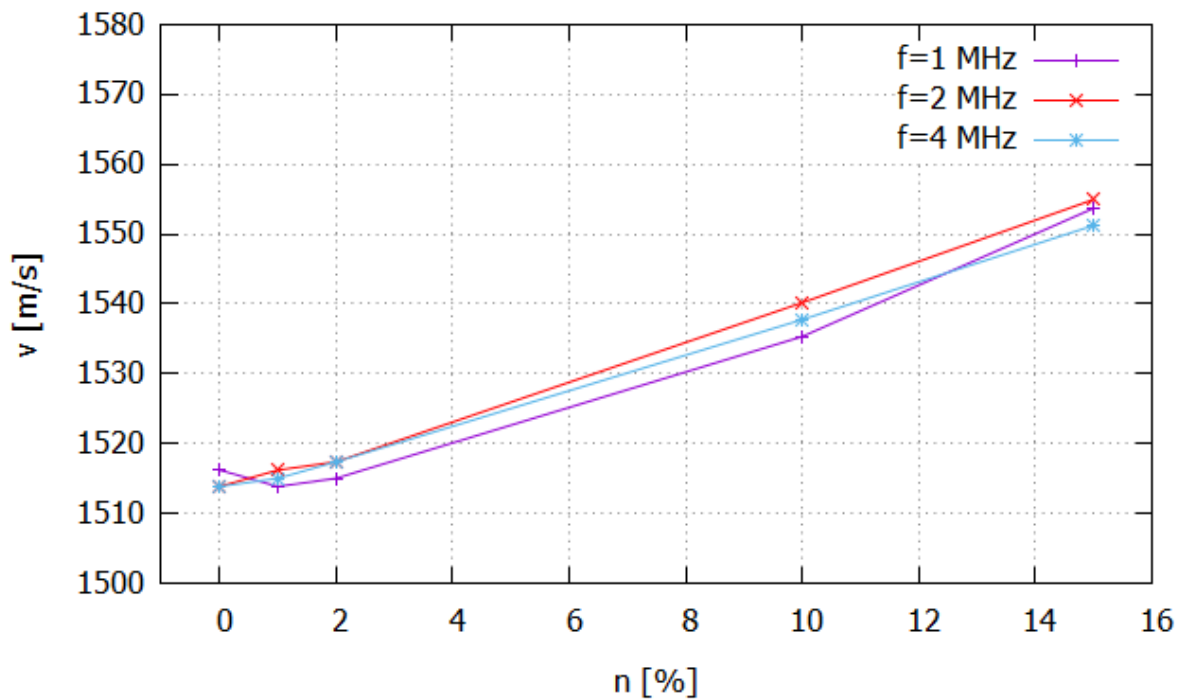
Nakon što smo pronašli vrijeme određujemo brzinu vala pomoću jednadžbe:



$$v = \frac{d}{t_d}, \quad (5)$$

gdje je  $v$  brzina vala a  $d$  duljina posude. Kada smo dobili tražene brzine možemo pogledati rješenja koja smo dobili na grafu koji prikazuje ovisnost brzine o masenoj koncentraciji  $n$  za tri različite frekvencije (**Graf 1.**).

Promatrajući graf (**Graf 1.**) vidimo kako je ovisnost brzine o masenoj koncentraciji za sve tri frekvencije približno linearna uz najveća odstupanja kod najnižih koncentracija ( $n = 0$ ,  $n = 1$  i  $n = 2$ ). Do toga je moglo doći jer su za sve te tri koncentracije vremena bila jako slična pa je i najmanja greška u očitavanju mogla dovesti do vidljivije nepreciznosti. Loše očitano vrijeme dovelo je do greške kod računanja vremena koje je val proveo u sredstvu te nadalje do neprecizno izračunate brzine. Rezultati mjerenja su gotovo invarijantni na frekvencije.



**Graf 1.** Graf prikazuje ovisnost brzine o masenoj koncentraciji za tri različite frekvencije

## 5 Zaključak

Mjerenja su dovoljno precizno obavljena da bi se moglo zaključiti da brzina o masenoj koncentraciji ovisi približno linearno. Kako bi rezultat ispao što precizniji trebalo bi se pažljivo očitati vrijeme koje vidimo na A-skenu. Pokus bi mogli poboljšati tako da bismo mogli uvesti više koncentracija pa bismo na grafu vidjeli precizniju ovisnost. Do greške u radu može doći zbog nepreciznog vaganja šećera za masenu koncentraciju ili ako se šećer nije dobro otopio u vodi. Također mjerni instrumenti možda nisu dovoljno precizni (vrijeme se mjeri u mikrosekundama [4]). Pri računanju brzina najbolje je zaokruživati na što veći broj decimala kako bi rezultat ispao što precizniji.

Mjerenja smo radili na primjeru tekućine koja je mješavina vode i šećera te ih možemo primijeniti na bilo koje druge tekućine. Ovaj rad mogao bi se raditi i pomoću krutih tijela pa bismo mogli promatrati kruta tijela različitih sastava ili dimenzija. Daljnjim radom i istraživanjem mogli bismo napraviti pokus za kruto tijelo koje u sebi ima pukotinu pa pomoću ultrazvučnih valova pronaći gdje je pukotina te proučiti rezultate koje dobijemo na A-skenu. Na ovakav način možemo opisati svojstva raznih tekućina i krutih tijela, što može biti od interesa za različita temeljna i primijenjena istraživanja.

## 6 Literatura

- [1] Dale Ensminger: *Ultrasonics*, Marcel Dekker, New York, 1988.
- [2] *Ultrazvuk*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža,  
URL: [ultrazvuk | Hrvatska enciklopedija](#), 3. rujna 2023.
- [3] *Dive and Discover, Mapping the Ocean Floor with Echo Sounding*,  
<http://www.divediscover.whoi.edu/tools/sonar-singlebeam.html>, 3. rujna 2023.
- [4] Dr. Michael Schultz, Dr. Grit Oblonczek: *Catalogue education: Ultrasound in Physics, Medicine and Technique*
- [5] Krešimir Dželalija: *Mjerenje brzine ultrazvuka u krutini*